

УДК 631.6.02

**ВОПРОСЫ ЗАЩИТЫ ПОЧВ В СИСТЕМЕ АГРОЛАНДШАФТА**

Белюченко Иван Степанович  
д.б.н., профессор  
ФГБОУ «Кубанский государственный аграрный университет», Краснодар, Россия

Баланс тяжелых металлов в верхнем слое почвы характеризует их содержание при поступлении и выносе за конкретный период времени. Источником тяжелых металлов в почве является их поступление с атмосферными осадками, посевным материалом, пылью, органическими и минеральными удобрениями, а также другими составляющими. Вынос элементов из почвы учитывается с урожаем (зерно, урожай зеленой массы, корнеплоды и т.д.), а также с выносом ветровой и водной эрозией

Ключевые слова: ТЯЖЕЛЫЕ МЕТАЛЛЫ, ЗАЩИТА ПОЧВ, ИСТОЧНИКИ ПОСТУПЛЕНИЯ, ВЫНОС, УРОЖАЙ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР

UDC 631.6.02

**QUESTIONS OF PROTECTION OF SOIL IN THE AGROLANDSCAPES**

Belyuchenko Ivan Stepanovich  
Dr.Sci.Biol., professor  
Kuban State Agrarian University, Krasnodar, Russia

Balance of heavy metals in the topsoil describes their content at admission and take-out for a specific period of time. Sources of heavy metals in the soil are their admission with atmospheric precipitation, sowing material, dust, organic and mineral fertilizers, as well as other components. Take-out of elements from the soil is taken into account with a crop (grain yield of green mass, roots, etc.), as well as with the removal of water and wind erosion

Keywords: HEAVY METALS, PROTECTION OF SOIL, SOURCES OF RECEIPT, TAKE-OUT, HARVEST OF AGRICULTURAL CROPS

**Мониторинг загрязнения почв тяжелыми металлами.** При поступлении больших количеств тяжелых металлов (ТМ) в почву её биологические, химические и физические свойства заметно меняются, что ведет к ухудшению почвенного плодородия [51]. Помимо этого, тяжелые металлы прямо воздействуют на растения и, поступая в них, нарушают обмен веществ, снижают их продуктивность и качество продукции. О влиянии загрязнения на свойства почв известно много исследований. Некоторые авторы указывают на снижение биологической активности почв [2, 20], другие отмечают нарастание численности отдельных групп микроорганизмов, а также изменение ферментативной активности почв [53].

С изменением биологических свойств почв, как правило, усиливается их фитотоксичность. Влияние отдельных тяжелых металлов в малых количествах (на уровне микроэлементов) исследуется в литературе давно и широко [27]. Тем не менее работ, посвященных изучению влияния больших количеств тяжелых металлов в почве (до 10 ПДК и более), к сожалению,

очень мало. Изменение физических свойств почв отмечается при их загрязнении тяжелыми металлами на уровне 10 ПДК и более [29]. При загрязнении тяжелыми металлами свойства почвы ухудшаются: нарушается структура почвы, повышается её плотность, снижается общая порозность, водопроницаемость, ухудшается водно-воздушный режим [21]. Загрязнение почв тяжелыми металлами снижает в гумусе почв содержание гуминовых кислот и повышает содержание фульвокислот [40]. Например, при увеличении доли цинка в почве усиливаются процессы аммонификации, нитрификации, минерализации, азотфиксации [29].

Мало исследований посвящено также одновременному воздействию на почвы и растения тяжелых металлов при их комплексном внесении [32]. В понятие токсичности почвы вкладывается снижение показателей роста растений на исследуемой почве по сравнению с контролем; это касается накопления в почве вредных химических веществ (сложные органические соединения, образуемые микрофлорой, фитотоксины и простые неорганические вещества, включая тяжелые металлы). В качестве тест-объекта могут служить различные живые организмы. Например, большое практическое значение имеет изучение влияния разных доз тяжелых металлов на токсичность чернозема обыкновенного по отношению к озимой пшенице в силу ее широкого использования.

При проведении исследований в ОПХ «Газырское» (Выселковский район, Краснодарский край) в качестве комплекса загрязнителей использовали свинец, медь, ртуть, кадмий, цинк в лабораторном модельном опыте на черноземе обыкновенном [16]. Установлено, что влияние тяжелых металлов на характер прорастания семян и рост проростков озимой пшеницы зависит от их доз, природы металла, его содержания в почве и продолжительности воздействия. Установлено также, что чернозем обыкновенный при высокой емкости ППК, нейтральности среды и высоком содержании гумуса переводит металлы в неподвижные и нетоксичные для растений

формы, и потому даже при больших дозах загрязнения ТМ зачастую не оказывают на организмы вредного действия [33].

При значительных поступлениях тяжелых металлов (на уровне 10 ПДК и более) иногда наблюдается изменение кислотности чернозема обыкновенного. Подкисление среды с накоплением загрязнителей отмечается чаще, чем подщелачивание [45]. Окислительно-восстановительный потенциал (Eh) почвы при загрязнении тяжелыми металлами практически полностью зависит от изменения её кислотности [31].

При ухудшении состояния любого из составляющих агроландшафта (почва, вода и т.д.) получать качественный урожай и незагрязненную продукцию объективно нельзя. Очень важно установить нормы поступления из почвы в растения таких элементов, как свинец, кадмий и другие, при постоянном применении удобрений. К сожалению, очень мало информации о загрязненности целым рядом тяжелых металлов таких важных культур, как пшеница и др. Имеющиеся в литературе сведения нередко носят противоречивый характер и весьма ограничены во временном аспекте проведенных исследований. В опытах на табачных плантациях в почве установлены значительные концентрации меди и цинка. В отдельных хозяйствах Северского района Краснодарского края медь и цинк обнаруживали в концентрации до 7 ПДК, хотя в табачном сырье их содержание было незначительное [44].

Тяжелые металлы, наряду с другими микро- и макроэлементами, формируют свои круговороты в отдельных ландшафтах и биосфере в целом. Установлено, что растения одного вида, произрастающие на разных почвах, накапливают разное количество тяжелых металлов. В условиях западного Забайкалья в урожае растений содержание тяжелых металлов убывало в следующем порядке: Ni>Pb>Cd. Основная масса тяжелых металлов накапливается в корневой массе, многократно увеличивая свои показатели и в надземных органах. Многие авторы, изучающие распределение химических элементов по профилю почв, указывают на равномерность их разме-

щения с определенной аккумуляцией в верхнем слое. Подвижность металлов зависит от почвенного слоя, рельефа местности, состава материнской породы, химического состава почв и многих других условий [28].

При поступлении в почву в больших количествах тяжелые металлы оказывают влияние на биологические и биохимические свойства почв, на изменение в них количества подвижных форм питательных веществ. Загрязнение почвы тяжелыми металлами влияет на трансформацию азотсодержащих веществ, подавляет активность азотфиксации и т.д. [30]. Наибольшее давление на эти процессы оказывает кадмий, несколько меньше медь, затем цинк и свинец.

Исследованиями М.М. Умарова и Е.Е. Азиевой (1980) установлено, что снижение в почве дозы свинца стимулирует в ней азотфиксирующую активность. Процессы аммонификации и нитрификации относительно менее чувствительны к тяжелым металлам, хотя повышенные их концентрации ведут к снижению интенсивности этих процессов. Невысокие дозы тяжелых металлов иногда стимулируют процессы аммонификации и нитрификации [42, 21]. Уровень подвижных форм азота и минеральных веществ заметно снижается при повышенных концентрациях тяжелых металлов [56].

На накопление в почве тяжелых металлов существенное влияние оказывает ее гранулометрический состав, особенно содержание илистой фракции. Многими исследователями установлена корреляция между содержанием многих тяжелых металлов в почве и долей в ней илистой фракции, в которой концентрируется больше микроэлементов, чем в почве в целом. На глинистых и суглинистых (тяжелых) почвах подвижность многих тяжелых металлов проявляется слабее, чем на легких песчаных и супесчаных [19]. При оценке количества кобальта во фракциях песка, крупной и мелкой пыли и ила установлено, что с уменьшением размера частиц увеличивается содержание элемента, причем в илистой фракции его в 7 раз больше, чем в

песчаной. Аналогичные связи с минеральной частью почвы установлены для свинца, кадмия и других тяжелых металлов. Концентрация тяжелых металлов в основном свойственна илистой и пылевой фракциям. Накопление металлов в этих фракциях меняется в зависимости от типа почвы и состава почвообразующей породы. Например, в карбонатном черноземе концентрация кобальта в пылевой фракции выше, чем в илистой.

На распределение тяжелых металлов по фракциям заметное влияние оказывает минералогический состав почв. Трехслойные минералы с расширяющейся решеткой, обнаруженные в илистой фракции почв, удерживают ионы тяжелых металлов в межплоскостных промежутках и весьма прочно на сколах кристаллов минералов. Достаточно прочная связь отмечена между некоторыми тяжелыми металлами и минералами полуторных окислов. Например, повышенное содержание кобальта и других элементов в пылевых частицах связано с тем, что в них концентрируется большая часть продуктов химического и биологического выветривания и аккумуляции.

Значение органического вещества в накоплении микроэлементов отмечается многими исследователями. Весьма активно ионы многих тяжелых металлов поглощаются органическим веществом почвы, представляющим отмершие части растений, животных и микробную биомассу [22]. Органическое вещество под действием микроорганизмов претерпевает ряд превращений, образуя гумус (обычно темноокрашенная часть почвы), в состав которого входят гуминовые и фульвокислоты [1]. Гумусовые вещества в коллоидно-дисперсной системе почвы занимают важное место, так как их сорбционная емкость во много раз выше, чем у минеральных соединений. Поэтому сильногумусированные почвы характеризуются повышенным накоплением металлов, в частности кобальта, который способен образовывать с рядом органических веществ комплексные соединения, растворимые в воде. Стабильное органическое вещество почвы связывает кобальт и мно-

гие тяжелые металлы, превращая их в недоступную для растений форму; растения усваивают больше металлов из слабогумусированных почв с легким механическим составом, чем из богатых органическим веществом. Считается, что многие металлы (например, кобальт, цинк, свинец и др.) вообще малоподвижны в почве вследствие сильной сорбируемости.

Железо наряду с марганцем и другими металлами играет важную роль при катализе биохимических окислительно-восстановительных реакций в почве; по своей активности железо отличается от марганца; в биохимических реакциях, протекающих в почве, железо легко подвергается процессам окисления, а марганец, наоборот, – процессам восстановления [49]. Марганцевокислые соединения легко окисляют двухвалентное железо до трехвалентного. При избытке марганца как окислителя железо может быстро перейти в легкоосаждаемые и труднодоступные растениям трехвалентные окиси и гидраты окисей. Однако при недостатке в почве марганца как окислителя двухвалентное железо может накапливаться в почве уже в избыточных для растений количествах. Важно, чтобы в почве соотношение между железом и марганцем составляло 2:1. При избытке марганца, иногда и на кислых почвах, растения могут испытывать недостаток в железе.

Важное место занимает соотношение гуминовых кислот, входящих в состав почвенного органического вещества, поскольку комплексы тяжелых металлов с этими кислотами более устойчивы (органический запас тяжелых металлов в почве), чем комплексы с фульвокислотами, в которых тяжелые металлы более подвижны, а потому и легко доступны для корней растений и почвенной биоты. Формирование в почве гуминовых кислот и дисперсность почвенных частиц приводят к значительной иммобилизации металла, что негативно сказывается на поступление кобальта в растения. Реакция среды в такой ситуации играет существенную роль. Комплексообразующая способность органических соединений по отношению к некото-

рым металлам зависит от рН среды: гуминовые кислоты образуют комплексы в кислой области, а фульвокислоты - при рН 6,5-8,0.

Особое влияние на содержание в почве минерального азота оказывает медь и значительно меньше - кадмий и свинец на бедных почвах, а на богатых почвах тяжелые металлы способствует сохранению подвижных форм азота на определенном уровне. В опытах, выполненных в Выселковском районе Краснодарского края, загрязнение чернозема обыкновенного тяжелыми металлами как уменьшало, так и увеличивало содержание в нем подвижных форм азота и фосфора. Действие тяжелых металлов определяется свойствами самого металла и его соединений, уровнем его содержания в почве и сроками экспозиции.

**Технологии восстановления почв от загрязнения тяжелыми металлами.** Очищение загрязненных почв за счет естественных процессов (в основном через вымывание с инфильтрационными водами) проходит очень медленно. Внесение водорастворимых солей тяжелых металлов в почву усиливает их миграцию только в первый год, а в последующий период они трансформируются в менее подвижные соединения и их вымывание из корнеобитаемого слоя резко снижается. Передвижение тяжелых металлов в системе почва-растение регулируется рядом факторов [23, 41]. Исследования такого рода способствуют разработке систем нормирования, защитных мер по снижению загрязнения сельскохозяйственной продукции, а также деконтаминации (очищению) почв. Однако не всегда установленные при моделировании закономерности, миграции и транслокации отдельных металлов можно полностью перенести на реальную основу в природной среде. Это связано с селективностью отдельных почв, антагонистически-синергическими отношениями микро- и макроэлементов при их транслокации, различиями в толерантности растений к отдельным загрязнителям и их сочетаниям [43].

Почвы по-разному поглощают отдельные тяжелые металлы (различия в интенсивности поглощения, количественных нормах поглощения и т.д.), что связано с различиями в способности катионов металлов к формированию нерастворимых соединений, специфической адсорбции, комплексообразованию. Весьма высокой степенью вымывания тяжелых металлов отличаются дерново-подзолистые супесчаные почвы, имеющие низкую степень поглощения. Другие почвы, близкие по гранулометрическому составу и емкости поглощения, но различающиеся по содержанию гумуса, кальция и кислотности, заметно отличаются по вымыванию тяжелых металлов, особенно свинца. Так, суммарное количество вымытых из дерново-подзолистых почв Zn, Cd, Ni и Pb составило 0,29 мг-экв./100 г почвы, а из черноземов - всего 0,005 мг-экв./100 г почвы. Иными словами, почвенный фактор имеет большое значение в определении вертикальной миграции тяжелых металлов.

Органическое вещество оказывает определенное влияние на адсорбцию тяжелых металлов [54, 47]. В ряде работ рассматривается связь с ионным составом почв, составом и свойствами жидкой фазы некоторых катионов тяжелых металлов в ней. Ряд работ посвящен взаимосвязи между поглощением  $Pb^{2+}$ ,  $Co^{2+}$ ,  $Cd^{2+}$  и других тяжелых металлов и содержанием высокодисперсных минералов в почвенном поглощающем комплексе (ППК) [55]. Установлены ряды минералов, характеризующиеся определенной величиной адсорбции тяжелых металлов. Способностью аккумулировать тяжелые металлы обладают оксиды железа [50]. Накопление свинца связано с высокой обменной емкостью его соединений, но больше всего это происходит в силу их высокой избирательной способности по отношению к катионам тяжелых металлов.

Взаимосвязи коэффициентов избирательной способности и максимальных адсорбций с показателями состава и свойств почв важны для понимания механизмов взаимодействия катионов тяжелых металлов с эле-



ментами почвенно-поглощающего комплекса. Они позволяют установить влияние состава и свойств почв на сложные процессы, происходящие в почвенных экосистемах. Формы тяжелых металлов в почвах определяют их поведение и характер доступности растениям. Механизмам поглощения свинца почвами и их составляющими посвящено немало работ, однако оценка этих механизмов у разных авторов весьма противоречива.

Растения являются вторым важным фактором на пути перемещения тяжелых металлов. Корневые системы способны удерживать достаточно большие количества ионов, что связано с совокупным действием морфологических структур и химических реакций неспецифической природы, к которым относятся обменная емкость корней, концентрация металлов в вакуолях, химическая инактивация конкретных соединений [26]. Накопление в почвах тяжелых металлов вызывает определенные изменения в растениях, связанные с возникновением в них защитных механизмов и усилением антагонизма ионов. Так, значительное превышение ПДК Cd, Pb, Ni и Cr не привело к достоверному понижению урожая редиса и моркови, но способствовало увеличению содержания в корнеплодах фосфора и калия, которые, по всей видимости, являются элементами-антагонистами.

Устойчивость растений к тяжелым металлам определяется также типом возделывания культур и составом загрязнителя. Считается, что из всех сельхозкультур пшеница является весьма устойчивой к тяжелым металлам, тогда как овес менее устойчив. Взаимодействия различных компонентов тяжелых металлов могут быть и синергическими, и антагонистическими. Например, в суданской траве отмечено снижение поступления кадмия до 40% в варианте со свинцовым загрязнителем. Изменчивость характера взаимодействия между тяжелыми металлами [27] объясняют тем, что синергизм кадмия со свинцом и никелем может быть артефактом, который возникает вследствие разрушения физиологического барьера у организмов под действием стресса из-за избыточного воздействия тяжелых металлов. Осо-

бенности взаимовлияния элементов и их антагонизм или синергизм обуславливаются обеими составляющими системы почва-растение.

При загрязнении почвы рядом тяжелых металлов способность последних поступать в растения определяется свойствами пахотного слоя почвы и биологическими особенностями самих растений, а также составом загрязнителей. Загрязнение растениеводческой продукции и снижение урожайности культур вызывается в основном дисбалансом, возникающим в системе почва-растение.

По отношению к тяжелым металлам как загрязнителям большое значение имеет буферность почв. Она определяется химическими и электростатическими свойствами, долей органических веществ и глинистых комплексов, ионообменными, окислительно-восстановительными, кислотными или щелочными и сорбционными свойствами почв, которые под влиянием тяжелых металлов изменяются, что ведет к ухудшению среды обитания растений и животных.

Буферность почв, влияющая на степень загрязнения, определяется также химическими свойствами, влияющими на подвижность загрязнителей, поступающих в почву, способность последних вступать в ионный обмен и закрепляться в почвенных коллоидах в процессах хемосорбции, комплексообразования и осаждения. Параметры концентрации любого элемента раствора и устойчивости к загрязнению разных типов почв зависят от содержания в почвах тонкодисперсных минералов, их количества и качества, органических веществ, уровня кислотности или щелочности почв. Большое значение в подвижности свинца, например, имеют процессы осаждения-растворения, регулирующие в определенной степени распределение тяжелых металлов между твердыми фазами и почвенным раствором.

Перспективными являются также развиваемые в последние годы представления о взаимозависимости многих процессов, происходящих в

почве, и их количественная оценка на основе термодинамических уравнений химических равновесий, нередко позволяющих заменить трудоемкое определение конкретных соединений (валовое содержание и концентрация подвижных форм) на весьма легко определяемые показатели содержания органического вещества, рН, Eh, ЕКО и др. Пока не все названные факторы поддаются такому анализу.

Большое и разнообразное влияние на поглощение почвами тяжелых металлов оказывают кислотно-щелочные свойства, определяющие форму нахождения в почве соединений отдельных элементов, величину и знак заряда их частиц (катион, анион, нейтральная частица), прочность связи и количество удерживаемых почвой частиц. С понижением рН ионообменная абсорбция катионных форм попадающих в почву загрязнителей (металлы, неметаллы) заметно нарастает; у анионных форм проявляется обратная зависимость - основная их масса сорбируется в слабощелочной среде, в которой преобладают анионы в двузарядной форме. Зависимость поглощения ртути почвами от величины рН также установлена: максимум ртути удерживается почвой при рН 4,8-6,5.

В степной зоне края подвижность металлов ограничена недостатком влаги, нейтральной реакцией почвенного раствора, устойчивостью гумуса, поэтому они накапливаются в верхних горизонтах почвы. При карбонатной аккумуляции накапливаются осадки, обогащенные стронцием и барием, тогда как В, Ag, Мо, V, As весьма подвижны в форме истинных растворов по всему почвенному профилю и по рельефу ландшафта. Миграция всех элементов в аридных районах весьма низка, и при испарении идет аккумуляция Ag, Hg, В, Мо. Весьма подвижны Mn, Fe, Cu, Мо, V в форме комплексов с органическими и минеральными веществами, а в коллоидном состоянии - в форме простых солей при щелочной реакции в засоленных почвах.

При оценке экологической обстановки целесообразно учитывать буферные свойства почв в отношении тяжелых металлов, поскольку переход подвижных форм тяжелых металлов в малоподвижные сопряжен с содержанием в почве тонкодисперсных частиц оксидов железа и алюминия, содержанием и типом гумуса. С повышением рН подвижность тяжелых металлов понижается [38]. Способность почв инактивировать тяжелые металлы связывают с содержанием в них гумуса и глины и величиной актуальной кислотности [52, 17, 25]. Кроме того, буферная способность почв оценивается по емкости катионного обмена, представляющей собой интегральную характеристику содержания гумуса, глины и актуальную кислотность почвы. Указанные свойства почв берутся за основу разработки нормирования при оценке территории по степени опасности для здоровья человека, при проектировании новых и вновь создаваемых сельскохозяйственных предприятий и т.д. [24].

Используя нормирующие характеристики, можно оценить буферные особенности загрязненных сельскохозяйственных земель при выращивании отдельных культур, способных давать гигиенически безопасную продукцию. В нашем хозяйстве ведется работа по оценке активности тяжелых металлов на отдельных участках для сохранения экологической безопасности растительной продукции. Нами установлена высокая степень связи между содержанием в почве тяжелых металлов и определенной степенью загрязнения зерновых, овощных и кормовых культур. На почвах, загрязненных тяжелыми металлами до уровня ПДК, установлено загрязнение продукции кадмием и никелем. В хозяйстве ведутся работы по нормированию концентрации тяжелых металлов в почвах для оптимизации участков, наиболее благоприятных для выращивания конкретных культур.

С помощью нормирующих прямых можно оценить буферные особенности загрязненных, но еще использующихся в сельском хозяйстве почв для подбора культур, способных давать гигиенически безопасную

продукцию. В нашей стране ведется работа по оценке активности тяжелых металлов в почве для сохранения экологического качества растительной продукции. Установлена прямая связь между содержанием тяжелых металлов в почве и встречаемостью загрязненных выше гигиенической нормы огородных культур. На почвах, загрязненных тяжелыми металлами свыше ОДК-95, отмечено 100% загрязнение огородных культур кадмием и очень редко цинком, а свинец остается в допустимых пределах. Работы по нормированию содержания химических соединений в почвах в настоящее время проводятся в различных районах нашей страны достаточно широко.

В институте физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН установлено, что поглощение свинца разными типами почв при колебании рН от 4,5 до 6,0 происходит параллельно вытеснению ионов кальция и водорода. И сам этот процесс представляет трехкатионный ионный обмен и является обратимым. При  $\text{pH} > 6,0$  преобладает другой механизм поглощения свинца – осаждение его карбоната. Установлено, что с увеличением рН поглощение почвами свинца обычно увеличивается. Обменный процесс свинца в глинисто-перегнойных комплексах на кальций и водород является процессом обратимым. Осаждение малодисперсного карбоната свинца наблюдается при  $\text{pH} > 6,0$  и при наличии углекислого газа атмосферного воздуха. Иными словами, связывание свинца из кислых растворов идет по механизму трехкатионного обмена, а при высоких показателях рН и ближе к нейтральным идет выпадение его карбонатов.

В целом почва выступает важным накопителем поллютантов в биосфере, защищая тем самым от загрязнения атмосферу и гидросферу. Поскольку почва представляет собой основной субстрат производства пищи для всех уровней жизни на планете, то загрязненная почва является весьма опасным источником токсического воздействия на все организмы. Нередко поднимается вопрос о возможностях самоочищения почвы от загрязнителей, что связывается с прекращением их поступления в агроланд-

шафты. Сегодня такая постановка вопроса практически нереальна. Под самоочищением можно понимать только исключение загрязняющих веществ из биологического круговорота, что возможно только при переводе их в нетоксические соединения, а также их переходе из почвы через испарение в атмосферу, выносе растениями с урожаем, вымывании в гидросферу и т.д.

Проблема очистки почв от тяжелых металлов весьма сложная, поскольку они относятся к весьма стойким загрязнителям. Например, исследованиями установлено, что концентрации свинца и цинка только через 50 лет начинают сокращаться в верхних горизонтах почв, перемещаясь в элювиальную часть почвенного профиля при сохранении иллювиального максимума. Из этого примера видно, что даже при кислой реакции почв, в которых миграция металлов повышенная, степень самоочищения почв от тяжелых металлов очень низкая. Высокую стабильность загрязнения почв металлами демонстрирует их содержание в неиспользуемых почвах вблизи предприятий-загрязнителей. Известны примеры высокого содержания Cu, As, Pb, Zn на территориях заводов, давно не эксплуатируемых и даже закрытых на сегодня, с превышением ПДК или фоновых концентраций в несколько раз.

Экологический мониторинг загрязненности почв не определяет возможности управления этим процессом, но он дает основу для разработки мероприятий, направленных на снижение влияния загрязнителей на почву. Среди таких мероприятий следует выделить технологические, химические и механические.

1. Технологические мероприятия представляют собой современные технологии производства основной продукции, очистку отходов и промышленных стоков, перевод промышленного производства на малоотходное (еще лучше на безотходное, что маловероятно). Внесение минеральных, органических и органоминеральных удобрений оптимизирует

условия вегетации растений и снижает токсичность загрязнителей. На загрязненных площадях необходимо культивировать устойчивые к тяжелым металлам культуры – например, картофель, выращивать культуры, у которых используются в пищу плоды (зерно, например), накапливающие мало загрязнителей в силу более короткого времени их развития по сравнению с вегетативными органами, и т.д. Следует иметь также в виду выведение устойчивых к загрязнению сортов культурных растений, не накапливающих значительные количества ТМ в своих органах.

2. Химические мероприятия представляют собой инактивацию загрязнителей и базируются на их переводе в малоподвижные формы. Например, ограничение подвижности и снижение токсичности ряда тяжелых металлов (Cd, Ni, Cu, Mn, Co, Pb, Zn, As) для растений осуществимо при известковании кислых почв. Так, в вегетационных опытах при внесении на кислой почве (рН 5,2) 5 мг/кг извести содержание кадмия (его подвижных форм) в растениях ячменя (зерно и солома) повысилось. Подвижность кадмия, никеля, кобальта снижается путем заправки зеленого удобрения, навоза и сложных органоминеральных компостов. Промывка почв разбавленной соляной кислотой с последующим внесением фосфорно-магниевых удобрений и силиката кальция снижает загрязнение промышленных почв.

3. К механическим мероприятиям следует отнести удаление и захоронение наиболее загрязненного верхнего слоя почвы и завоз чистой плодородной почвы (высотой до 10-12 см) на поверхность загрязненной, что может быть весьма эффективным в условиях промышленного режима. При выпадении небольшого количества осадков закрытие чистой почвой загрязненной территории дает эффект первые 4-5 лет, а затем наблюдается загрязнение и этого слоя тяжелыми металлами через засоление ими. Насыпка двухслойного покрова на загрязненном участке слоем до 15 см оказывало благоприятное влияние на развитие растительности.

Определенный интерес проявляется к развитию технологии восстановления почв, известной как фиторемедиация, которая включает фитостабилизацию и фитоэкстракцию. Фиторемедиация важна для восстановления сельскохозяйственных земель в районах с перекрывающейся промышленной и сельскохозяйственной деятельностью, где содержание в почве тяжелых металлов повышено. Фиторемедиация загрязненных почв является относительно "мягким" и недорогим способом по сравнению с рекультивацией. Она включает следующие этапы:

1 – экскавация загрязненного слоя почв и её транспортировка на специальные свалки с последующим землеванием участка;

2 – химическая обработка почвы с обработкой поверхности участка для устранения просачивания воды;

3 – выщелачивание из почв тяжелых металлов с помощью кислых растворов и возвращение чистых почв на участок;

4 – электрокинетическая чистка почв и т.д.

Под фитостабилизацией понимается технология, при которой устойчивые к тяжелым металлам растения выращиваются на загрязненных почвах с целью снижения подвижности металлов и тем самым дальнейшего снижения загрязнения окружающей среды через выщелачивание этих загрязнителей в грунтовые воды или предотвращение их распространения ветровой и водной эрозией почв.

Под фитоэкстракцией понимается технология возделывания подобранных растений на загрязненных площадях для извлечения из почв тяжелых металлов и их концентрирование в надземной массе с последующей ее переработкой. Растения достаточно активно извлекают из загрязненных почв свинец, и поэтому методы фитоэкстракции свинца, как и других тяжелых металлов, представляют, несомненно, большое значение для целей детоксикации почв. Одним из ограничений эффективности фитоэкстракции является доступность растениям металлов. Например, свинец раство-



рим в почвенном растворе относительно мало и мало доступен растениям, что связано с его комплексообразованием с органическим веществом, сорбцией на оксидах и глинах, осаждением в форме карбонатов, гидроксидов, фосфатов [48].

Повышение концентрации металлов в почвенном растворе с помощью синтетических хелатообразующих агентов, которые обладают адаптивным действием на поглощение свинца растениями, является основным способом фитоэкстракции свинца. В опытах, проведенных в Катовицком воеводстве Польши, установлено, что обработка почвы веществами, повышающими эффективность фитоэкстракции, влияет на динамику каталазной, дегидрогеназной и целлюлазной активности почв, загрязненных свинцом, кадмием и цинком. Подтверждено влияние различных концентраций хелатообразующего агента ЭДТА (этилендиаминтетрауксусной кислоты) и ее комбинаций на ферментативную активность почв, загрязненных тяжелыми металлами. Причем различная концентрация по-разному сказывается на ферментативной активности почв, загрязненных тяжелыми металлами [46, 18].

**Сложные компосты и охрана почвенного плодородия.** Условно период исследований тяжелых металлов в верхнем слое почвы мы разделили на 2 части: 2001-2006 гг. – основу технологии составили старые методы обработки почвы (практически ежегодная пахота всех площадей и частые культивации междурядий пропашных культур) и внесения в почву минеральных удобрений; в 2007-2011 гг. – перешли на пятипольный севооборот с пахотой только под сахарную свёклу и разовым внесением сложного компоста (в основном под кукурузу или озимую пшеницу), а также ежегодным внесением минеральных удобрений. Сравнили показатели баланса тяжелых металлов при разных технологиях выращивания культур.

Содержание тяжелых металлов в верхнем слое чернозема обыкновенного при технологии выращивания сельскохозяйственных культур в се-

вообороте с внесением минеральных удобрений (2001-2006 гг.) доля отдельных элементов в почве заметно превышает их вынос. Наоборот, доля цинка и марганца снижается, что, очевидно, связано с тем, что указанные элементы выступают важными источниками питания, особенно технических культур [35, 36]. Концентрация тяжелых металлов в верхнем слое почвы определяется уровнем содержания в нем гумуса, гранулометрического состава, емкостью поглощения и другими свойствами. Для значительной части металлов «минеральный» вариант их технологии превышает вынос, способствуя их аккумуляции в верхнем слое почвы за относительно короткий период (2001-2006 гг.) (табл. 1.).

Таблица 1 – Баланс тяжелых металлов в агроландшафте зерново-пропашного севооборота на черноземе обыкновенном с внесением в почву минеральных удобрений в ОАО «Заветы Ильича», кг/га, 2006 г.

Показатели	Co	Zn	Cu	Mn	Pb	Cd	Ni
Поступление элементов в почву, кг/га							
С атмосферными осадками (550 мл/год)	0,0002	0,012	0,0012	0,008	0,00011	0,00003	0,00003
С ГМС, кг/га	0,03	0,15	0,0015	0,075	0,082	0,00012	0,0014
С органическими удобрениями (5 т/га)	0,002	0,38	0,05	0,68	0,005	0,021	0,02
С фосфорными удобрениями, (80 кг/га)	0,011	1,34	0,27	1,17	0,095	0,012	0,17
С азотными удобрениями (50 кг/га)	0,0063	0,45	0,12	0,32	0,15	0,0011	0,12
С калийными удобрениями (20 кг/га)	0,0001	0,20	0,007	0,74	0,0083	0,0012	0,017
С пылью (143 кг/га в год)	0,024	2,04	0,54	3,15	0,082	0,15	0,66
С посевным материалом (45-50 ц/га)	0,00009	0,11	0,10	0,14	0,0025	0,00005	0,0094
С соломой (22 ц/га)	0,00004	0,12	0,002	1,07	0,0019	0,00007	0,012
С корнями растений, (35 ц/га)	0,0015	0,12	0,0095	0,68	0,0092	0,00084	0,13
Почва, кг/га	27,04	160,17	54,975	1520,17	45,18	0,840	115,49
Всего поступило, кг/га	27,11523	165,092	56,0762	1528,203	45,61601	1,02641	16,62983
Вынос элементов из почвы, кг/га							
С пшеницей на зерно (50 ц/га) – 40%	0,022	0,535	0,325	0,570	0,195	0,0068	0,315
С кукурузой на зерно (70 ц/га) – 10%	0,021	0,412	0,137	0,410	0,120	0,0021	0,135
Свёкла, корнеплоды (350 ц/га) – 15%	0,020	0,470	0,247	0,410	0,143	0,0022	0,164
С подсолнечником на семена (22 ц/га) – 25%	0,0146	0,710	0,119	1,105	0,158	0,0016	0,022
С люцерной на зеленую массу (180 ц/га) – 15%	0,094	0,594	0,136	1,312	0,290	0,005	0,143
С ветровой и водной эрозией (150 кг/га)	0,132	2,240	1,454	3,710	0,210	0,127	0,138
Всего вынос, кг/га	0,3036	4,961	2,418	7,517	1,116	0,1447	0,917
Баланс, кг/га	26,81163	160,131	53,6582	1520,686	44,50001	0,88171	115,7128

При сравнении тяжелых металлов в верхнем слое почвы установлено, что в течение 5 лет минерального варианта происходит ежегодное увеличение меди, свинца, кадмия и никеля; остальные металлы к пятому году несколько снижают уровень своего содержания в верхнем слое почвы. Главным источником поступления тяжелых металлов в агроландшафте являются в основном минеральные удобрения, с которыми в почву поступало их около 90%, включая Zn – 91, Cd – 87, Cu – 89, Pb – 84, Mn – 92, Ni – 86, Co – 8%. Важной статьей баланса тяжелых металлов является их вынос с отчуждаемым урожаем. Ежегодное накопление в почве ТМ составляют десятые или сотые доли от их фоновое содержание в черноземе обыкновенном и большого негативного значения не оказывают.

Относительно большое поступление тяжелых металлов в почву в общем составляют медь, кадмий, свинец и никель. Внесение органических удобрений за период 2001-2006 год особого значения не имеет поскольку их поступление за этот период было незначительным (5-7 т/га). Значительное поступление ряда тяжелых металлов отмечено при внесении фосфорных удобрений, у которых их содержание в примесях (особенно цинка, марганца, никеля и меди) было сравнительно высоким. Обработка почвы, особенно пахота, культивации, а также посев и уборка культур оказали существенное влияние на увеличение в почве цинка (свыше 0,15 кг/га), марганца (до 0,07), свинца (до 0,08 кг/га). Определенный привнос ТМ с использованием азотных удобрений сказался на увеличении цинка (0,45), меди (свыше 0,1), марганца (0,3), никеля (0,12) и свинца (0,15 кг/га). Калийные удобрения в среднем на 1 га составили 30 кг/га и их привнос отразился в основном на внесении цинка (свыше 0,2) и марганца (0,74 кг/га).

Значительным поступлением ТМ в почву выделяется пыль, доля которой с 2001 по 2006 год составила в среднем 143 кг/га в год. По содержанию в ней ТМ следует отметить высокую концентрацию цинка (свыше 2

кг/га) и марганца (свыше 3), а меди (свыше 0,5), никеля (0,6), кадмия (0,15), свинца (0,08) и кобальта (0,02 кг/га) было ниже. Привнос ТМ с посевным материалом был незначительным. Можно отметить только цинк, марганец и медь, увеличение которых превысило 0,1 кг/га. В почву поступило определенное количество ТМ с соломой (около 22 ц/га): марганца около 1 кг/га и цинка до 0,1 кг/га. Поступление остальных ТМ было весьма незначительным. С корнями растений в среднем поступило в почву до 0,6 кг/га марганца, до 0,1 цинка и никеля. Остальные металлы поступили на уровне сотых и тысячных долей кг/га. В целом содержание ТМ в почве широко варьировало по отдельным элементам. Поступление в почву с удобрениями, атмосферными осадками и другими составляющими по разным элементам варьировало в весьма больших пределах.

Важное значение представляют выносы элементов из почвы, что в значительной степени зависит от урожая отдельных культур. Основную часть выноса занимает пшеница, посеvy которой на зерно составили 40% при урожае 50 ц/га, подсолнечник, площади под которым составили 25% при сборе урожая 22 ц/га, кукурузой на зерно, площади которой занимали 10% с урожаем 70 ц/га, корнеплоды свеклы, площадь которой составляет 15% при урожае 350 ц/га. Площади, занимаемые люцерной на зеленую массу в среднем составили 15%, а урожай её зеленой массы 180 ц/га. Значительная часть выноса тяжелых металлов приходится на ветровую и водную эрозии.

В 2006 г. нами начаты экспериментальные исследования по приготовлению компоста на 2007 г. с включением навоза КРС и свиней, фосфогипса и других промышленных и сельскохозяйственных отходов для получения сложной смеси, обогащенной макроэлементами, серой, кальцием, фосфором и многими микроэлементами. Полученные результаты показали перспективность получения эффективного удобрения, обогащенного органическим веществом, с одной стороны, и комплексным набором мине-

ральных элементов, их смешанным коллоидным составом, с другой [37, 34, 10, 13]. Ряд элементов (Ca, S, P) и микроэлементов (особенно Co, Mn, Ni, Zn и другие) и значительное содержание азота благоприятствуют улучшению водного и воздушного режимов почвы, переходу в труднодоступное состояние основных ТМ и неметаллов. Периодически отбирались образцы верхнего слоя почвы на полигоне мониторинга [7]..

С внедрением севооборота на основе использования упрощенной технологии подготовки почвы по типу посев – уборка с использованием внесения сложного компоста. Полученные данные (табл. 2) показывают, что по сравнению с 2006 накопление к 2011 г. кобальта, свинца и меди было незначительным. Несколько повысились запасы марганца, цинка и никеля. Сравнительное изучение тяжелых металлов в верхнем слое почвы указывает на возможности поиска условий снижения их концентрации.

Таблица 2 – Валовые запасы ТМ в верхнем слое почвы в 2001-2011 гг. (кг/га), Гукалов, 2013

Показатели	Co	Zn	Cu	Mn	Pb	Cd	Ni
2001 г.	22,46	155,90	47,08	1461,66	40,58	0,23	98,66
2006 г.	25,54	145,30	54,00	1454,10	45,38	0,44	104,02
2011 г.	26,81	158,40	55,08	1509,00	43,80	0,70	115,00
Среднее за год 2001-2006 гг.	0,60	-2,10	1,38	-1,51	0,96	0,04	1,07
Среднее за год 2006-2011 гг.	0,25	2,62	0,22	10,92	-0,32	0,05	2,19

Результаты практического испытания сложных компостов показали перспективность использования различных органических и минеральных отходов в качестве сырья для получения удобрения, сдерживающего накопление валовых запасов ТМ, снижающего их накопление растениями и заметно улучшающего физические свойства почвы [4].

Сложный компост, в котором регулируются кислотность и уровень содержания органического вещества, можно получить при смешивании определенного количества навоза, отходов растениеводства, а также отходов химического производства (например, фосфогипса) и вносить в почву

в позднелетний и раннеосенний периоды [ 12, 9, 11]. Такой компост способен поддерживать влажность в верхнем слое до 12% и выше, чем на контроле, что определенным образом сказывается на переводе растворенных форм ТМ в труднодоступные (табл. 3).

Таблица 3 – Баланс тяжелых металлов в агроландшафте зерново-пропашного севооборота на черноземе обыкновенном с использованием сложного компоста в ОАО «Заветы Ильича», кг/га, 2011 г.

Показатели	Co	Zn	Cu	Mn	Pb	Cd	Ni
Поступление элементов в почву, кг/га							
С атмосферными осадками (500 мл/год)	0,0001	0,009	0,0002	0,001	0,00001	0,00002	0,00002
С ГМС, кг/га	0,002	0,080	0,0007	0,030	0,006	0,00005	0,0007
С органическими удобрениями (25 т/га)	0,045	2,240	0,310	3,420	0,027	0,120	0,101
С фосфорными удобрениями (80 кг/га)	0,004	0,950	0,090	0,750	0,040	0,006	0,080
С азотными удобрениями (30 кг/га)	0,0007	0,280	0,070	0,150	0,007	0,0005	0,006
С калийными удобрениями (20 кг/га)	0,00005	0,170	0,009	0,620	0,007	0,001	0,008
С пылью (120 кг/га в год)	0,012	2,140	0,400	2,970	0,024	0,012	0,400
С посевным материалом (45-50 ц/га)	0,00008	0,080	0,006	0,084	0,0027	0,00006	0,009
С соломой (20 ц/га)	0,00003	0,070	0,002	0,670	0,0017	0,00005	0,011
С корнями растений, (30 ц/га)	0,0014	0,054	0,0092	0,470	0,009	0,0008	0,045
Почва, кг/га	26,81	158,350	55,080	1509,00	43,800	0,700	115,00
Всего поступило, кг/га	26,875	164,420	55,980	1518,65	43,920	0,840	115,720
Вынос элементов из почвы, кг/га							
С пшеницей на зерно (50 ц/га) – 35%	0,0108	0,481	0,226	0,485	0,120	0,0036	0,225
С кукурузой на зерно (75 ц/га) – 15%	0,0252	0,322	0,163	0,343	0,048	0,0014	0,126
Свёкла, корнеплоды(400 ц/га) – 15%	0,018	0,456	0,252	0,384	0,128	0,0018	0,136
С подсолнечником на семена (25 ц/га) – 20%	0,0132	0,567	0,123	1,022	0,150	0,0012	0,010
С люцерной на зеленую массу (200 ц/га) – 15%	0,120	0,668	0,124	1,246	0,350	0,004	0,124
С ветровой и водной эрозией, кг/га	0,112	1,940	1,250	2,670	0,160	0,144	0,130
Всего вынос, кг/га	0,300	4,430	2,140	6,150	0,960	0,156	0,750
Баланс, кг/га	26,580	159,960	53,840	1512,50	42,960	0,684	114,970

С учетом вышеизложенного при весьма заметной трансформации верхнего слоя почвы под влиянием человека возможна организация научно-обоснованной системы по борьбе с их загрязнением ТМ. Переход на подготовку органоминеральных компостов и их использование в севообороте по 5-летнему типу будет существенно влиять на стабильность процессов осаждения растворения ТМ и поддержания концентрации их подвижных форм на относительно низком уровне [14, 3].

Геохимический баланс изучаемого 5-польного севооборота рассчитывался с учетом вновь разработанного плана внесения удобрений на основе новой технологии с сокращением обработки почвы и переходом на двухзвенный цикл: посев – уборка. Следует также отметить, что изменение технологии выращивания сельхозкультур, включая и систему удобрений, существенно влияет на количество и качество их продукции [5, 6, 8].

***Сравнение результатов оценки содержания подвижных форм тяжелых металлов в почвах хозяйства и районов степной зоны края.*** Изучение распределения тяжелых металлов в пределах одного хозяйства (его площадь свыше 8000 га) на основе отбора проб почвы с шагом 500 x 500 м, при площадных съемках, выполненных в основном в 2001 и 2006 гг. по верхнему слою почвы, а также мониторинг их динамики по сезонам года (площадь мониторинга 450 га) дает возможность анализа результатов. Учитывая, что 22 района северной зоны края характеризуются сходными условиями почвообразования, хозяйствования и использования земель, климатическими и природными параметрами, мы поставили задачу сравнения статистических материалов, полученных в хозяйстве «Заветы Ильича», с данными соответствующих районов. Полученные результаты побудили нас проанализировать статистические показатели среднего содержания подвижных форм свинца и цинка в сравнении с другими административными районами степной зоны края, обследованными нами в 2006 году (табл. 4-5).

Сравнение среднего содержания подвижных форм цинка в почве агроландшафта ОАО «Заветы Ильича» и административных районов степной зоны края было выполнено с использованием t-критерия Стьюдента с вероятностью  $\alpha = 0,05$ .

Аналогичная работа выполнена и для свинца. Было установлено, что практически во всех случаях  $|t_{набл}| < t_{крит}(a, f)$ , в результате чего принимается нулевая гипотеза о том, что на 5% уровне значимости нет различий между показателями среднего содержания подвижных форм свинца в почвах агроландшафта ОАО «Заветы Ильича» и других районов степной зоны края. Сходные результаты среднего содержания получены также по подвижным формам свинца в почвах хозяйства и других районов степной зоны.

Таблица 4 – Статистические характеристики среднего содержания в почве подвижных форм цинка по административным районам степной зоны Краснодарского края

N п/п	Административный район	Кол-во проб	Среднее значение	Стандартная ошибка	Доверительный интервал, при P <sub>0,05</sub>		t <sub>набл</sub>	t <sub>крит</sub>
					нижний	верхний		
1	х. Коржи	106	5,09	0,18	4,73	5,45	-	-
2	Брюховецкий	52	4,64	2,29	20,03	29,24	3,17	1,98
3	Выселковский	67	4,88	0,92	10,03	13,73	3,87	1,97
4	Динской	86	4,59	1,51	10,59	16,59	3,60	1,97
5	Ейский	101	4,27	1,32	6,65	11,90	3,34	1,97
6	Кавказский	101	4,86	0,93	13,03	16,70	3,03	1,97
7	Калининский	94	4,86	0,93	13,03	16,70	4,03	1,97
8	Каневской	60	5,02	0,46	4,91	6,73	4,15	1,97
9	Кореновский	67	4,71	0,72	3,27	6,15	4,06	1,97
10	Красноармейский	60	5,07	0,55	4,29	6,46	4,06	1,97
11	Крыловской	97	4,69	1,52	10,66	16,73	3,72	1,97
12	Куцеевский	84	4,31	0,20	1,91	2,72	4,01	1,97
13	Ленинградский	77	4,89	1,20	11,49	16,29	3,92	1,97
14	Новопокровский	72	4,15	0,73	6,70	9,59	3,44	1,97
15	Павловский	56	4,58	0,67	6,24	8,91	4,37	1,97
16	Приморско-Ахтарский	45	5,00	0,53	3,94	6,06	4,02	1,97
17	Славянский	71	5,09	0,43	4,24	5,95	5,00	1,97
18	Староминский	79	5,09	0,41	4,86	6,52	5,17	1,97
19	Тбилисский	63	4,82	1,66	17,48	24,17	4,40	1,98
20	Тимашевский	56	4,21	0,76	5,70	8,72	3,32	1,97
21	Тихорецкий	52	4,09	1,66	19,79	26,39	3,19	1,98
22	Усть-Лабинский	67	4,47	1,55	13,38	19,57	3,92	1,97
23	Староцербиновский	86	5,05	0,95	7,15	10,96	4,54	1,97



Таблица 5 – Статистические характеристики среднего содержания подвижных форм свинца по административным районам степной зоны Краснодарского края

N п/п	Административный район	Кол-во проб	Среднее значение	Стандартная ошибка	Доверительный интервал, при P <sub>0,05</sub>		t <sub>набл</sub>	t <sub>крит</sub>
					нижний	верхний		
1	х. Коржи	106	3,37	0,05	3,27	3,48	-	-
2	Брюховецкий	52	3,23	0,11	1,51	1,94	2,75	2,00
3	Выселковский	67	2,25	0,07	2,23	2,53	2,22	2,02
4	Динской	86	2,68	0,10	2,48	2,88	2,65	2,09
5	Ейский	86	2,96	0,13	1,71	2,22	2,08	2,09
6	Кавказский	101	3,22	0,09	1,63	2,01	2,43	2,57
7	Калининский	65	2,57	0,09	1,39	1,74	2,03	2,02
8	Каневской	94	3,16	0,04	1,08	1,25	3,22	2,18
9	Кореновский	60	2,92	0,10	1,73	2,12	2,55	2,01
10	Красноармейский	67	2,01	0,11	1,79	2,22	1,32	2,02
11	Крыловской	60	3,23	0,15	2,93	3,54	3,11	2,01
12	Кушевский	97	3,14	0,17	3,60	4,28	3,02	2,26
13	Ленинградский	61	2,91	0,16	2,59	3,23	2,34	2,01
14	Новопокровский	84	1,95	0,07	1,81	2,08	1,73	2,07
15	Павловский	92	3,08	0,13	3,12	3,64	3,11	2,14
16	Приморско-Ахтарский	77	2,61	0,09	1,43	1,78	1,87	2,05
17	Славянский	72	2,51	0,14	2,23	2,79	1,66	2,03
18	Староминский	56	3,39	0,22	2,96	3,83	3,01	2,01
19	Тбилисский	45	3,33	0,19	3,44	4,21	3,32	2,00
20	Тимашевский	71	2,44	0,13	1,19	1,69	1,63	2,03
21	Тихорецкий	79	3,40	0,15	3,40	3,99	2,22	2,05
22	Усть-Лабинский	63	2,83	0,10	2,63	3,02	2,58	2,02
23	Старощербиновский	56	2,96	0,22	3,51	4,40	2,33	2,01

**Выводы:**

1. Сельскохозяйственное производство сопровождается образованием жидких, газообразных и твердых отходов, выход которых за пределы объектов оказывает влияние на почвы, водные системы, растения, животных, что указывает на необходимость разработки мероприятий по охране ландшафтов; для твердых отходов (экскременты, удобрения) предложена система мероприятий по их широкому использованию в сельскохозяйственном производстве (промышленное использование для производства органических и органоминеральных удобрений; для сбросов отмечается необходимость совершенствования системы очистки и остановки работы

СТФ, для выбросов и сбросов – применение современных методов очистки и их промышленной переработки; в целом предложена система охраны ландшафтных систем и прежде всего почв).

2. Поддержание экологически чистой почвенной среды подразумевает системное и обоснованное применение механических, химических и технологических методов снижения количеств тяжелых металлов с использованием различных вариантов фиторемедиации, включая фитостабилизацию и фитоэкстракцию (экскавация загрязненного слоя почвы и её транспортировка, её химическая обработка, выщелачивание из почвы кислых растворов и т.д.).

3. Во всех случаях  $|t_{набл}| < t_{крит}(a, f)$  на 5% уровне значимости не отмечено различий между показателями среднего содержания подвижных форм цинка и свинца в почвах агроландшафта хозяйства и административных районов степной зоны Краснодарского края, что дает нам возможность контроля изучаемых элементов по их концентрации в любом пункте.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Алексеев Ю.В. Тяжёлые металлы в почвах и растениях / Ю.В. Алексеев – Л.: Агропромиздат, 1987. – 141 с.
2. Бабьева И.П. Изменение численности микроорганизмов в почвах при загрязнении тяжелыми металлами / И.П. Бабьева, С.В. Левин, И.С. Решетова // Тяжелые металлы в окружающей среде. – М., 1980. – С. 115.
3. Белюченко И.С. Экология Кубани. Краснодар, 2005. Т. II. – 470 с.
4. Белюченко И.С., Мельник О.А. Сельскохозяйственная экология / Краснодар, 2010. – 297 с.
5. Белюченко И.С., Добрыдnev Е.П., Гукалов В.Н., Мельник О.А., Бережная Н.П., Бережная В.П. Способ создания органоминерального удобрения / патент на изобретение RUS 2423337 18.01.2010.
6. Белюченко И.С., Добрыдnev Е.П., Гукалов В.Н., Мельник О.А., Ткаченко Л.Н. Способ производства органоминерального удобрения / патент на изобретение RUS 2426712 18.01.2010.
7. Белюченко И.С., Смагин А.В., Гукалов В.Н., Мельник О.А., Славгородская Д.А., Калинина О.В. Экологические аспекты совершенствования функционирования агроландшафтных систем Краснодарского края // Тр./КубГАУ, 2010. – Т. 1. – № 26. – С. 33-37.

8. Белюченко И.С. Введение в антропогенную экологию / учебное пособие / Краснодар, 2011. – 265 с.
9. Белюченко И.С. Введение в экологический мониторинг. Краснодар, 2011. – 297 с.
10. Белюченко И.С. К вопросу о формировании и свойствах органоминеральных компостов и реакции растений кукурузы на их внесение // Экологический вестник Северного Кавказа, 2011. – Т. 7. – № 4. – С. 65-74.
11. Белюченко И.С. Использование отходов быта и производства для создания сложных компостов с целью повышения плодородия почв // Тр./КубГАУ, 2012. – Т. 1. – № 38. – С. 68-72.
12. Белюченко И.С. К вопросу о механизмах управления развитием сложных компостов / Экологический вестник Северного Кавказа, 2012. – Т. 8. – № 3. – С. 88-111.
13. Белюченко И.С. Сложный компост и его роль в улучшении почв / Экологический вестник Северного Кавказа, 2012. – Т. 8. – № 2. – С. 75-86.
14. Белюченко И.С., Никифорова Ю.Ю. Влияние сложных компостов на свойства почвы и формирование почвенной биоты // Экологический вестник Северного Кавказа, 2012. – Т. 8. – № 4. – С. 3-50.
15. Белюченко И.С., Смагин А.В., Волошина Г.В., Гукалов В.Н., Мельник О.А., Никифорова Ю.Ю., Терещенко Е.В., Ткаченко Л.Н., Садовникова Н.Б., Славгородская Д.А. Основы экологического мониторинга // Практическое пособие для бакалавров / Под общей редакцией И.С. Белюченко, А.В. Смагина. Краснодар, 2012. – 252 с.
16. Вальков В.Ф. Влияние загрязнения тяжёлыми металлами на фитотоксичность чернозёма / В.Ф. Вальков, С.И. Колесников, К.Ш. Казеев // Агрохимия. – 1997. – № 6. – С. 50–55.
17. Гаврилова И.П. Опыт площадной оценки степени загрязнения почв России тяжёлыми металлами / И.П. Гаврилова, М.Д. Богданова, О.А. Симонова // Вестник МГУ. Сер.17. Почвоведение. – 1995. – № 1. – С. 48–53.
18. Галиулин Р.В. Фитоэкстракция тяжелых металлов из загрязненных почв / Р.В. Галиулин, Р.А. Галиулина // Агрохимия. 2001. – № 3. – С. 57–61.
19. Головатый С.Е. Поступление кадмия в сельскохозяйственные растения / С.Е. Головатый, П.Ф. Жигарев, Л.И. Панкратская // Агрохимия. – 2000. – № 1. – С. 81–85.
20. Гришина А.В. Транслокация тяжелых металлов и приемы детоксикации / А.В. Гришина, В.Ф. Иванова // Агрохимический вестник – 1997. – № 3. – С. 36–41.
21. Гришина Л.Г. Биологическая активность почв и скорость деструкционных процессов / Л.Г. Гришина, Г.Н. Копчик, И.В. Сапегина // Влияние атмосферного загрязнения на свойства почв. – М.: Изд-во МГУ, 1990. – С. 81–94.
22. Гузев В.С. Тяжелые металлы как фактор воздействия на микробную систему почв / В.С. Гузев, С.В. Левин, И.П. Бабьева // Экологическая роль микробных метаболитов. – М., 1986. – С. 82–104.
23. Добровольский В.В. Биосферные циклы тяжелых металлов и регуляторная роль почвы / В.В. Добровольский // Почвоведение. – 1997. – № 4. – С. 431–441.
24. Ильин В.Б. К экологической обстановке в Новосибирске: тяжелые металлы в местных почвах и огородных культурах / В.Б. Ильин, А.И. Сысо, Г.Л. Конарбаева, Н.Л. Байдина // Агрохимия. – 1997. – № 3. – С. 76–83.
25. Ильин В.Б. Оценка буферности почв по отношению к тяжелым металлам / В.Б. Ильин // Агрохимия. – 1995. – № 10. – С. 109–113.
26. Ильин В.Б. Тяжелые металлы в системе почва– растение / В.Б. Ильин. – Новосибирск: Наука, СО, 1991. – 151 с.

27. Кабата–Пендиас А. Микроэлементы в почвах и растениях / А. Кабата–Пендиас, Х. Пендиас. – М.: Мир, 1989. – 439 с.
28. Ковда В.А. Биогеохимия почвенного покрова / В.А. Ковда. – М.: Наука, 1995. – 248 с.
29. Колесников С.И. Влияние загрязнения тяжёлыми металлами на эколого–биологические свойства чернозёма обыкновенного / С.И. Колесников, К.Ш. Казеев, В.Ф. Вальков // Экология. – 2000. – № 3. – С. 193–201.
30. Левин С.В. Тяжелые металлы как фактор антропогенного воздействия на почвенную микробиоту / С.В. Левин, В.С. Гузев И.В. Асеева и др. // Микроорганизмы и охрана почв. – М.: МГУ, 1989. – С. 5–46
31. Литвинович А.В. Содержание и особенности распределения валовых и кислото–растворимых форм соединений тяжелых металлов в профиле сероземно–оазисных почв в зоне химического завода / А.В. Литвинович, О.Ю. Павлова // Агрехимия. – 1999. – № 8. – С. 68–78.
32. Минеев В.Г. Агрехимия / В.Г. Минеев. – М.: Колос, 2004. – 720 с.
33. Минеев В.Г. Баланс меди, цинка и марганца в дерново–подзолистых почвах с разными уровнями содержания подвижного фосфора / В.Г. Минеев, В.С. Егоров // Агрехимия. – 1997. – № 8. – С. 5–9.
34. Муравьев Е.И., Белюченко И.С. Коллоидный состав и коагуляционные свойства дисперсных систем почвы и некоторых отходов промышленности и животноводства // Тр./КубГАУ, 2008.– № 11.– С. 177–182.
35. Муравьев Е.И., Белюченко И.С. Влияние отходов химического производства на загрязнение окружающих ландшафтов // Экологический вестник Северного Кавказа, 2007. – Т. 3. – № 4. – С. 77.
36. Муравьев Е.И., Белюченко И.С., Гукалов В.В., Гукалов В.Н., Мельник О.А., Петух Ю.Ю., Славгородская Д.А. Влияние фосфогипса на развитие и продуктивность растений кукурузы в севообороте // Экологический вестник Северного Кавказа, 2008. – Т. 4. – № 4.– С. 108.
37. Муравьев Е.И., Белюченко И.С., Гукалов В.В., Мельник О.А. Влияние фосфогипса на развитие растений сахарной свеклы в степной зоне Краснодарского края / Экологический вестник Северного Кавказа, 2008. – Т. 4. – № 4. – С. 112–114.
38. Орлов Д.С. Почвенно–химические условия, ограничивающие уровни показателей химического состояния почв при их загрязнении / Д.С. Орлов, Л.А. Воробьева, Г.В. Мотузова // Миграция загрязняющих веществ в почвах и сопредельных средах: Тр. 5–го Всесоюз. Совец. (Обнинск) – Л.: Гидрометеиздат, 1989. – С. 243–248.
39. Пономарева Ю.В., Белюченко И.С. Влияние фосфогипса на свойства почвы и прорастание семян озимой пшеницы / Экологические проблемы Кубани, 2005. – № 27.– С. 184.
40. Прокопович Е.В. Трансформация гумусового состояния почв под действием выбросов Среднеуральского медеплавильного завода / Е.В. Прокопович, С.Ю. Кайгородова // Экология. – 1999. – № 5. – С. 375–378.
41. Трифонова Т.А. Трансформация и миграция токсичных компонентов промышленных отходов в почвенных покровах речного бассейна / Т.А. Трифонова, Н.В. Селиванова, Д.В. Карпова и др. // Экология речных бассейнов: материалы Междунар. научно–практич. конф. – Владимир, 1999. – С. 100–103.
42. Умаров М.М. Некоторые биохимические показатели загрязнения почв тяжёлыми металлами / М.М. Умаров, Е.Е. Азиева // Тяжёлые металлы в окружающей среде. – М.: Изд–во МГУ, 1980. – С. 109–115.

43. Феник С.И. Механизмы формирования устойчивости растений к тяжёлым металлам / С.И. Феник, Т.В. Трофимьяк, Я.Б. Блюм // *Успехи соврем. биологии.* – 1995. – Т. 115. – С. 261–275.
44. Филипчук О. Д. Экотоксикологическая оценка агроландшафтов южно– предгорной зоны табаководства России / О.Д. Филипчук // *Агрохимия.* – 1999. – № 10. – С. 82–86.
45. Хабарова Т.В. Особенности поведения меди, олова, хрома и ванадия в почвах / Т.В. Хабарова, В.А. Хабаров // *Рациональное природопользование в условиях техногенеза.* – М., 1998. – С. 96–101.
46. Черных Н.А. Влияние тяжелых металлов на ферментативную активность почв / Н.А.Черных // *Химизация сельского хозяйства.* – 1991. – № 1. – С. 40–42.
47. Чеснокова С.М. Сравнительная оценка различных способов детоксикации почв, загрязнённых тяжёлыми металлами / С.М. Чеснокова, Т.А. Трифонова, Н.В. Васильева и др. // *Экология речных бассейнов: тезисы докладов Междунар. науч.– практ. конф.– Владимир, 1999.* – С. 109.
48. Blaylock M.J. Enhanced accumulation of Pb in Indian mustard by soil–applied chelating agents / M.J. Blaylock, D.E. Salt, S. Dushenkov et al. // *Environ. Sci. Technol.* – 1997. – V. 31. – № 3. – P. 860–865.
49. Fujimoto C.K., Sherman G. Behaviour of manganese in the soil and the manganese cycle / C. Fujimoto, G. Sherman // *Soil Science.* – 1948. – V. 66. – P. 54–76.
50. Gadde R.R., Laitinen H.A. Studies of heavy metal adsorption by hydrous iron and manganese oxides / R.R. Gadde, H.A. Laitinen // *Anal. Chem.* – 1974. – V.16. – P. 1023–1026.
51. Ibanez J.J. Future of soil science / J.J. Ibanez // *The future of soil science* / Ed. A.E. Hartemink. – Wageningen: IUSS, 2006. – P. 60–62.
52. Kloke A. Das “Drei–Bereiche–System” für die Bewertung von Boden mit Schadstoffbelastung / A. Kloke // *VDLUFA– Schriftreihe.* – 1988. – Bd. 28. – H. 2. – P. 1117–1127.
53. Mania J. Evolution of iron and manganese concentrations in presence of carbonates and clays in the alluvial ground waters of the Ognon (Frache– Comte, France) // J. Mania, P. Chauve, P. Verjus // *Geoderma.* – 1989. – V. 44. № 2–3. – P. 219–228.
54. Petruzzelli G. Organic matter as an influencing factor on copper and cadmium adsorption by soils / G. Petruzzelli, G. Guidi, L. Lubrano / *Water, Air, and Soil Pollut.* – 1978. – V. 9. – P. 263–269.
55. Tiller K.G. The relative affinities of Cd, Ni, and Zn for different soil clay fractions and goethite / K.G. Tiller, J. Gerth, G. Brummer // *Geoderma.* – 1984. – V. 34. – P. 17–35.
56. Tyler G. Heavy metal pollution and soil enzymation activity Plant and soil Biology of North–West Caucasus / Tyler G. // *Summaries of Latinamerican Congress of Soil Science Chile, 1999.* – P. 206.

### References

1. Alekseev Ju.V. Tjzhjolye metally v pochvah i rastenijah / Ju.V. Alekseev – L.: Agropromizdat, 1987. – 141 s.
2. Bab'eva I.P. Izmenenie chislennosti mikroorganizmov v pochvah pri zagrjaznenii tjzhelymi metallami / I.P. Bab'eva, S.V. Levin, I.S. Reshetova // *Tjzhelye metally v okruzhajushhej srede.* – M., 1980. – S. 115.
3. Beljuchenko I.S. Jekologija Kubani. Krasnodar, 2005. T. II. – 470 s.
4. Beljuchenko I.S., Mel'nik O.A. Sel'skohozjajstvennaja jekologija / Krasnodar, 2010. – 297 s.

5. Beljuchenko I.S., Dobrydnev E.P., Gukalov V.N., Mel'nik O.A., Berezhnaja N.P., Berezhnaja V.P. Sposob sozdaniya organomineral'nogo udobrenija / patent na izobretenie RUS 2423337 18.01.2010.
6. Beljuchenko I.S., Dobrydnev E.P., Gukalov V.N., Mel'nik O.A., Tkachenko L.N. Sposob proizvodstva organomineral'nogo udobrenija / patent na izobretenie RUS 2426712 18.01.2010.
7. Beljuchenko I.S., Smagin A.V., Gukalov V.N., Mel'nik O.A., Slavgorodskaja D.A., Kalinina O.V. Jekologicheskie aspekty sovershenstvovanija funkcionirovanija agrolandshaftnyh sistem Krasnodarskogo kraja // Tr./KubGAU, 2010. – T. 1. – № 26. – S. 33-37.
8. Beljuchenko I.S. Vvedenie v antropogennuju jekologiju /uchebnoe posobie / Krasnodar, 2011. – 265 s.
9. Beljuchenko I.S. Vvedenie v jekologicheskij monitoring. Krasnodar, 2011. – 297 s.
10. Beljuchenko I.S. K Voprosu o formirovanii i svojstvah organomineral'nyh kom-postov i reakcii rastenij kukuruzy na ih vnesenie // Jekologicheskij vestnik Severnogo Kavkaza, 2011. – T. 7.– № 4. – S. 65-74.
11. Beljuchenko I.S. Ispol'zovanie othodov byta i proizvodstva dlja sozdaniya slozhnyh kompostov s cel'ju povyshenija plodorodija pochv // Tr./KubGAU, 2012. – T. 1. – № 38. – S. 68-72.
12. Beljuchenko I.S. K voprosu o mehanizmah upravlenija razvitiem slozhnyh kompostov / Jekologicheskij vestnik Severnogo Kavkaza, 2012. – T. 8. – № 3. – S. 88-111.
13. Beljuchenko I.S. Slozhnyj kompost i ego rol' v uluchshenii pochv / Jekologicheskij vestnik Severnogo Kavkaza, 2012. – T. 8. – № 2. – S. 75-86.
14. Beljuchenko I.S., Nikiforenko Ju.Ju. Vlijanie slozhnyh kompostov na svojstva pochvy i formirovanie pochvennoj bioty // Jekologicheskij vestnik Severnogo Kavkaza, 2012. – T. 8. – № 4. – S. 3-50.
15. Beljuchenko I.S., Smagin A.V., Voloshina G.V., Gukalov V.N., Mel'nik O.A., Nikiforenko Ju.Ju., Tereshhenko E.V., Tkachenko L.N., Sadovnikova N.B., Slavgorodskaja D.A. Osnovy jekologicheskogo monitoringa // Prakticheskoe posobie dlja bakalavrov / Pod ob-shhej redakciej I.S. Beljuchenko, A.V. Smagina. Krasnodar, 2012. – 252 s.
16. Val'kov V.F. Vlijanie zagryznenija tjazhjolymi metallami na fitotoksichnost' cher-nozjoma / V.F. Val'kov, S.I. Kolesnikov, K.Sh. Kazeev // Agrohimiya. – 1997. – № 6. – S. 50–55.
17. Gavrilova I.P. Opyt ploshhadnoj ocenki stepeni zagryznenija pochv Rossii tjazhjolymi metallami / I.P. Gavrilova, M.D. Bogdanova, O.A. Simonova // Vestnik MGU. Ser.17. Pochvovedenie. – 1995. – № 1. – S. 48–53.
18. Galiulin R.V. Fitojeksrakcija tjazhelyh metallov iz zagryznennyh pochv / R.V. Galiulin, R.A. Galiulina // Agrohimiya. 2001. – № 3. – S. 57–61.
19. Golovatyj S.E. Postuplenie kadmija v sel'skohozjajstvennye rastenija / S.E. Golovatyj, P.F. Zhigarev, L.I. Pankrutszkaja // Agrohimiya. – 2000. – № 1. – S. 81–85.
20. Grishina A.V. Translokacija tjazhelyh metallov i priemy detoksikacii / A.V. Grishina, V.F. Ivanova // Agrohimicheskij vestnik – 1997. – № 3. – S. 36–41.
21. Grishina L.G. Biologicheskaja aktivnost' pochv i skorost' destrukcionnyh proces-sov / L.G. Grishina, G.N. Kopicik, I.V. Sapegina // Vlijanie atmosfernogo zagryznenija na svojstva pochv. – M.: Izd-vo MGU, 1990. – S. 81–94.
22. Guzev V.S. Tjazhelye metally kak faktor vozdejstvija na mikrobnuju sistemu pochv / V.S. Guzev, S.V. Levin, I.P. Bab'eva // Jekologicheskaja rol' mikrobnnyh metaboli-tov. – M., 1986. – S. 82–104.
23. Dobrovol'skij V.V. Biosfernye cikly tjazhelyh metallov i reguljatornaja rol' pochvy / V.V. Dobrovol'skij // Pochvovedenie. – 1997. – № 4. – S. 431–441.

24. Il'in V.B. K jekologicheskoj obstanovke v Novosibirsk: tjazhelye metally v mest-nyh pochvah i ogorodnyh kul'turah / V.B. Il'in, A.I. Syso, G.L. Konarbaeva, N.L. Bajdina // *Agrohimiya*. – 1997. – № 3. – S. 76–83.
25. Il'in V.B. Ocenka bufernosti pochv po otnosheniju k tjazhelym metallam / V.B. Il'in // *Agrohimiya*. – 1995. – № 10. – S. 109–13.
26. Il'in V.B. Tjazhelye metally v sisteme pochva– rastenie / V.B. Il'in. – Novosibirsk: Nauka, SO, 1991. – 151 s.
27. Kabata–Pendias A. Mikrojelementy v pochvah i rastenijah / A. Kabata–Pendias, H. Pendias. – M.: Mir, 1989. – 439 s.
28. Kovda V.A. Biogeohimiya pochvennogo pokrova / V.A. Kovda. – M.: Nauka, 1995. – 248 s.
29. Kolesnikov S.I. Vlijanie zagrzaznenija tjazhjolymi metallami na jekologo–biologicheskie svojstva chernozjoma obyknovennogo / S.I. Kolesnikov, K.Sh. Kazeev, V.F. Val'kov // *Jekologija*. – 2000. – № 3. – S. 193–201.
30. Levin S.V. Tjazhelye metally kak faktor antropogennoho vozdejstvija na pochvennuju mikrobiotu / S.V. Levin, V.S. Guzev I.V. Aseeva i dr. // *Mikroorganizmy i ohrana pochv*. – M.: MGU, 1989. – S. 5–46
31. Litvinovich A.V. Soderzhanie i osobennosti raspredelenija valovyh i kislotorastvorimyh form soedinenij tjazhelyh metallov v profile serozemno–oazisnyh pochv v zone himicheskogo zavoda / A.V. Litvinovich, O.Ju. Pavlova // *Agrohimiya*. – 1999. – № 8. – S. 68–78.
32. Mineev V.G. *Agrohimiya* / V.G. Mineev. – M.: Kolos, 2004. – 720 s.
33. Mineev V.G. Balans medi, cinka i marganca v dernovo–podzolistyh pochvah s raz-nyimi urovnjami sodержanija podvizhnogo fosfora / V.G. Mineev, V.S. Egorov // *Agrohimiya*. – 1997. – № 8. – S. 5–9.
34. Murav'ev E.I., Beljuchenko I.S. Kolloidnyj sostav i koaguljacionnye svojstva dispersnyh sistem pochvy i nekotoryh othodov promyshlennosti i zhivotnovodstva // *Tr./KubGAU*, 2008.– № 11.– S. 177-182.
35. Murav'ev E.I., Beljuchenko I.S. Vlijanie othodov himicheskogo proizvodstva na za-grjaznenie okruzhajushhh landshaftov // *Jekologicheskij vestnik Severnogo Kavkaza*, 2007. – T. 3. – № 4. – S. 77.
36. Murav'ev E.I., Beljuchenko I.S., Gukalov V.V., Gukalov V.N., Mel'nik O.A., Petuh Ju.Ju., Slavgorodskaja D.A. Vlijanie fosfogipsa na razvitie i produktivnost' rastenij kukuruzy v sevoobrote // *Jekologicheskij vestnik Severnogo Kavkaza*, 2008. – T. 4. – № 4.– S. 108.
37. Murav'ev E.I., Beljuchenko I.S., Gukalov V.V., Mel'nik O.A. Vlijanie fosfogipsa na razvitie rastenij saharnoj svekly v stepnoj zone Krasnodarskogo kraja / *Jekologicheskij vestnik Severnogo Kavkaza*, 2008. – T. 4. – № 4. – S. 112-114.
38. Orlov D.S. Pochvenno–himicheskie uslovija, ogranichivajushhie urovni pokazatelej himicheskogo sostojanija pochv pri ih zagrzaznenii / D.S. Orlov, L.A. Vorob'eva, G.V. Motuzova // *Migracija zagrzaznjajushhh veshhestv v pochvah i sopredel'nyh sredah: Tr. 5–go Vsesojuzn. Soveshh. (Obninsk)* – L.: Gidrometeoizdat, 1989. – S. 243–248.
39. Ponomareva Ju.V., Beljuchenko I.S. Vlijanie fosfogipsa na svojstva pochvy i pro-rastanie semjan ozimoj pshenicy / *Jekologicheskie problemy Kubani*, 2005. – № 27.– S. 184.
40. Prokopovich E.V. Transformacija gumusovogo sostojanija pochv pod dejstviem vy-brosov Sredneural'skogo medeplavil'nogo zavoda / E.V. Prokopovich, S.Ju. Kajgorodova // *Jekologija*. – 1999. – № 5. – S. 375–378.
41. Trifonova T.A. Transformacija i migracija toksichnyh komponentov promyshlennyh othodov v pochvennyh pokrovah rechnogo bassejna / T.A. Trifonova, N.V. Selivano-

va, D.V. Karpova i dr. // *Jekologija rechnyh bassejnov: materialy Mezhdunar. nauchno-praktich. konf.* – Vladimir, 1999. – S. 100–103.

42. Umarov M.M. Nekotorye biohimicheskie pokazateli zagriznenija pochv tjazhjolymi metallami / M.M. Umarov, E.E. Azieva // *Tjazhjolye metally v okruzhajushhej srede.* – M.: Izd-vo MGU, 1980. – S. 109–115.

43. Fenik S.I. Mehanizmy formirovanija ustojchivosti rastenij k tjazhjolym metallam / S.I. Fenik, T.V. Trofimjak, Ja.B. Bljum // *Uspehi sovrem. biologii.* – 1995. – T. 115. – S. 261–275.

44. Filipchuk O. D. Jekotoksikologicheskaja ocenka agrolandshaftov juzhno-predgornoj zony tabakovodstva Rossii / O.D. Filipchuk // *Agrohimiya.* – 1999. – № 10. – S. 82–86.

45. Habarova T.V. Osobennosti povedenija medi, olova, hroma i vanadija v pochvah / T.V. Habarova, V.A. Habarov // *Racional'noe prirodopol'zovanie v uslovijah tehnogeneza.* – M., 1998. – S. 96–101.

46. Chernyh N.A. Vlijanie tjazhelyh metallov na fermentativnuju aktivnost' pochv / N.A. Chernyh // *Himizacija sel'skogo hozjajstva.* – 1991. – № 1. – S. 40–42.

47. Chesnokova S.M. Sravnitel'naja ocenka razlichnyh sposobov detoksikacii pochv, za-grjaznjonnyh tjazhjolymi metallami / S.M. Chesnokova, T.A. Trifonova, N.V. Vasil'eva i dr. // *Jekologija rechnyh bassejnov: tezisy dokladov Mezhdunar. nauch.-prakt. konf.* – Vladimirov, 1999. – S. 109.

48. Blaylock M.J. Enhanced accumulation of Pb in Indian mustard by soil-applied chelating agents / M.J. Blaylock, D.E. Salt, S. Dushenkov et al. // *Environ. Sci. Technol.* – 1997. – V. 31. – № 3. – R. 860–865.

49. Fujimoto C.K., Sherman G. Behaviour of manganese in the soil and the manganese cycle / C. Fujimoto, G. Sherman // *Soil Science.* – 1948. – V. 66. – P. 54–76.

50. Gadde R.R., Laitinen H.A. Studies of heavy metal adsorption by hydrous iron and manganese oxides / R.R. Gadde, H.A. Laitinen // *Anal. Chem.* – 1974. – V. 16. – P. 1023–1026.

51. Ibanez J.J. Future of soil science / J.J. Ibanez // *The future of soil science* / Ed. A.E. Hartemink. – Wageningen: IUSS, 2006. – P. 60–62.

52. Kloke A. Das "Drei-Bereiche-System" für die Bewertung von Boden mit Schadstoffbelastung / A. Kloke // *VDLUFA-Schriftreihe.* – 1988. – Bd. 28. – H. 2. – R. 1117–1127.

53. Mania J. Evolution of iron and manganese concentrations in presence of carbonates and clays in the alluvial ground waters of the Ognon (Frache-Comte, France) // J. Mania, P. Chauve, P. Verjus // *Geoderma.* – 1989. – V. 44. № 2–3. – P. 219–228.

54. Petruzzelli G. Organic matter as an influencing factor on copper and cadmium adsorption by soils / G. Petruzzelli, G. Guidi, L. Lubrano // *Water, Air, and Soil Pollut.* – 1978. – V. 9. – R. 263–269.

55. Tiller K.G. The relative affinities of Cd, Ni, and Zn for different soil clay fractions and goethite / K.G. Tiller, J. Gerth, G. Brummer // *Geoderma.* – 1984. – V. 34. – R. 17–35.

56. Tyler G. Heavy metal pollution and soil enzymation activity Plant and soil Biology of North-West Caucasus / Tyler G. // *Summaries of Latinamerican Congress of Soil Science Chile, 1999.* – P. 206.