

Содержание тяжелых металлов в почвах и продукции растениеводства южной зоны Среднего Приамурья

Димиденок Ж.А. (Dakota@tsl.ru), Харина С.Г.

Дальневосточный государственный аграрный университет

ВВЕДЕНИЕ

Среди различных программ, направленных на улучшение экологической ситуации в России, особое место занимает мониторинг окружающей среды, призванный, в частности, следить за изменением в экосистемах концентрации тяжелых металлов (ТМ). Без оценки уровней загрязнения почв, растительности и воды тяжелыми металлами невозможно получить общую картину техногенной нагрузки этих веществ на окружающую среду. При этом необходимо учитывать их поведение в экосистеме. Особенно важен комплексный подход при оценке загрязнения аграрных районов, поскольку они являются основными производителями сельскохозяйственных продуктов. Для загрязняющих веществ, время полного исчезновения которых из системы почва – растение не превышает одного вегетационного периода, эта проблема не столь актуальна. Для токсикантов, период разложения которых до безопасного уровня или выведения из почвы обычно составляет несколько лет, необходимо учитывать возможности их миграции и бионакопления [9].

Поскольку тяжелые металлы поступают в организм человека и травоядных животных в основном с растительной пищей, а загрязнение последней происходит из почвы, почвенно-агрохимические исследования на техногенно загрязненных территориях приобретают важное значение, особенно в местах, где население питается в течение многих лет преимущественно продуктами растениеводства [5,7,15].

Среди тяжелых металлов приоритетными загрязнителями считаются ртуть, свинец, кадмий, так как их техногенное накопление в окружающей среде идет высокими темпами. В сельскохозяйственном производстве основными источниками поступления тяжелых металлов являются пестициды, минеральные удобрения, химические мелиоранты.

Целью настоящей работы является проведение эколого – химического контроля за содержанием тяжелых металлов - ртути, свинца, кадмия в объектах агроландшафта по цепи почва – растение в условиях южной зоны Среднего Приамурья.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Амурская область – это основной сельскохозяйственный район Дальнего Востока. В Амурской области активно возделываются соя, а также другие зерновые, овощные и кормовые культуры. В связи с этим активно применяются в течение более 40 лет различные средства химизации – минеральные удобрения, пестициды, химические мелиоранты. В почву пахотных угодий Приамурья за 36 лет, только с препаратами содержащими ртуть, внесено 160 т ртути. Максимальное количество ртути внесено на пахотных угодьях южной зоны Приамурья в Тамбовском и Благовещенском районах. Здесь ежегодно применялось от 16 до 40 т гранозана. Кроме того, вносилось ежегодно от 550 до 700 тыс. т минеральных удобрений и химических мелиорантов. Мониторингом были охвачены Благовещенский (ТОО «Волковское», учхоз Дальневосточного государственного агроуниверситета - ДальГАУ (с. Грибское, с. Дроново) и Тамбовский районы (ОПХ ВНИИ сои), находящиеся в зоне интенсивного земледелия юга Приамурья.

Лугово-черноземовидные почвы всех обследованных хозяйств относятся к слабо кислым (рН сол. 5,3 – 6,0). Содержание подвижных форм фосфора в пахотном слое на полях учхоза ДальГАУ (с. Грибское) и ТОО «Волковское» среднее – 58-67 мг/кг. В учхозе ДальГАУ (с.Дроново) и ОПХ ВНИИ сои низкое содержание P_2O_5 – 21-32 мг/кг. Содержание калия на всех обследованных полях высокое - 220 мг/кг и очень высокое (до 400 мг/кг). Содержание гумуса низкое на всех полях (3,5-3,8), кроме полей ОПХ ВНИИ сои 4,24-4,83%. Необходимо отметить низкое содержание биогенных элементов в пахотном слое почвы на полях учхоза (с. Дроново) [4].

В 2002-2004 гг. нами проведены исследования на содержание ТМ в почве пахотных угодий и в продукции растениеводства. Почвенные образцы отбирали почвенным буром на глубину 0 - 20 см по диагонали поля в 5 точках, которые объединил в смешанный образец [2, 12]. Пробы растений отбирались на тех же типичных участках, что и пробы почвы. Объединенная проба растений весом 0,5-1 кг состояла из 8-10 точечных проб [3,12].

Исследования проводились на базе центральной аналитической лаборатории ФГУГП “Амургеология” и на базе «Сетевой лаборатории анализа и мониторинга окружающей среды МПР России по Амурской области». Определение ТМ проводилось методом атомно-абсорбционной спектрометрии с пламенной и беспламенной

атомизацией. Ртуть, кадмий и свинец определяли на приборе «Спектр 5-3» и «КВАНТ - АФА». Градуировку приборов проводили по серии градуировочных растворов, согласно стандартным методикам измерения [10,11].

Анализ проб почвы и растительного материала проводили в соответствии с методическими указаниями ЦИНАО (1992). ТМ претерпевают в почве химические превращения, в ходе которых их подвижность изменяется в очень широких пределах. Поэтому для оценки масштаба загрязнения почв ТМ мы определяли количество валовых и подвижных форм ТМ, т.е. наиболее доступные для живых организмов. Химическое разложение почвы для определения валового содержания ТМ осуществляли с помощью разбавленного раствора азотной кислоты (1:1), для определения содержания в почве ртути проводили смесью кислот: серной и азотной (1:1 по объему) при комнатной температуре в течение 12 часов. Подвижные формы извлекали ацетатно-аммонийным буферным раствором с $pH=4,8$. Минерализацию растительных проб проводили методом сухого озоления [10,11,12].

Для оценки качества агроэкосистем мы использовали следующие показатели: кларковое и фоновое содержание тяжелых металлов в почве, предельно-допустимую концентрацию тяжелых металлов для почвы, растений, а также МДУ для растениеводческой продукции.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Загрязненность ртутью почв, используемых под пашню, характеризуется как слабая, уровень содержания ртути в почвах исследуемых полей низкий ($< 0,05$ мг/кг). Концентрация ртути в исследуемых образцах почв составляет 0,020 - 0,041 мг/кг и не превышает ПДК для валовых и подвижных форм. Данная концентрация выше российских фоновых значений и кларка (0,01 мг/кг) в 2 – 4 раз. Повышенное содержание металла отмечено в почвах полей ТОО «Волковское», учхоза ДальГАУ (с. Грибское) и ОПХ ВНИИ сои. На всех исследуемых полях отмечено превышение ртути по сравнению с пробой почвы, отобранной в лесополосе (табл. 1).

Исследуемые почвы, согласно шкале экологического нормирования [14], характеризуются повышенным уровнем содержания кадмия. Концентрация кадмия не превышает ПДК и в среднем равна 0,34 (валовая форма) и 0,15 (подвижная форма) мг/кг сухого вещества почвы.

Таблица 1

**Среднее содержание тяжелых металлов в почве пахотных угодий, мг/кг
(2002-2004 гг.)**

| № поля | Валовые формы | | | Подвижные формы | | |
|--|---------------|-----------|-----------|-----------------|-------------|-----------|
| | Hg | Cd | Pb | Hg | Cd | Pb |
| ТОО «Волковское» (с. Волково, Благовещенский р-он) | | | | | | |
| 1 | 0,033±0,008 | 0,34±0,07 | 14,66±0,2 | 0,00030 | 0,080±0,020 | 1,61±0,32 |
| 2 | 0,041±0,011 | 0,37±0,07 | 16,80±0,3 | 0,00023 | 0,080±0,020 | 1,59±0,32 |
| ОПХ ВНИИ сои (с. Садовое, Тамбовский р-он) | | | | | | |
| 1 | 0,028±0,007 | 0,36±0,07 | 19,94±0,3 | 0,00084 | 0,077±0,019 | 1,52±0,30 |
| 2 | 0,031±0,008 | 0,44±0,09 | 20,45±0,3 | 0,00034 | 0,085±0,021 | 1,70±0,34 |
| 3 | 0,030±0,007 | 0,20±0,04 | 14,67±0,2 | 0,00013 | 0,055±0,014 | 1,68±0,34 |
| Учхоз ДальГАУ (с. Грибское, Благовещенский р-он) | | | | | | |
| 1 | 0,031±0,008 | 0,34±0,07 | 18,00±0,3 | 0,00023 | 0,060±0,015 | 1,15±0,23 |
| 2 | 0,029±0,007 | 0,36±0,07 | 19,55±0,3 | 0,00034 | 0,110±0,022 | 1,71±0,34 |
| 3 | 0,020±0,009 | 0,39±0,08 | 14,82±0,2 | 0,00018 | 0,080±0,020 | 1,77±0,35 |
| Учхоз ДальГАУ (с. Дроново, Благовещенский р-он) | | | | | | |
| 1 | 0,033±0,008 | 0,30±0,06 | 18,50±0,3 | 0,00035 | 0,065±0,016 | 1,45±0,29 |
| Лесо-полоса* | 0,026±0,006 | 0,13±0,03 | 18,39±0,3 | 0,00031 | 0,020±0,007 | 0,97±0,24 |
| Фон** | 0,01 | 0,01 | 3,0 | | | |
| Кларк*** | 0,01 | 0,5 | 10,0 | | | |
| ПДК**** | 2,1 | 5,0 | 32,0 | 0,1 | 1,0 | 6,0 |

* - почва, не подвергаемая с/х воздействию; ** - фоновое содержание тяжелых металлов в пахотном горизонте почв РФ [8,15]; *** - по данным А.П. Виноградова (1957) [1]; **** - Госкомприрода СССР, № 02-233 от 10.12.90

В исследуемых образцах почвы концентрация валового кадмия в 20 – 44 раз больше фоновых значений. В пробе, отобранной в лесополосе, концентрация металла составила 0,1 мг/кг (валовая форма) и 0,02 мг/кг (подвижная форма). Для подвижных форм кадмия, по сравнению с этой пробой, превышение составило: на полях ТОО «Волковское» в 5,5 – 6,5 раз, ОПХ ВНИИ сои, учхоза ДальГАУ с. Дроново в 2 – 3 раза и для с. Грибское в 3,5 – 7 раз, для валовых форм в 2 – 4 раза.

Свинец во всех пробах почв присутствует в количествах ниже ПДК. Уровень содержания свинца на пахотных полях характеризуется как средний. Во всех образцах почв содержание свинца превышало кларк в 1,5 – 2 раза, что говорит о его накоплении. Превышение российских фоновых значений в 5 – 7 раз наблюдалось практически на всех исследуемых полях. В почве пахотных угодий ОПХ ВНИИ сои (поле 1, 2) и учхоза ДальГАУ (с. Грибское) отмечалось небольшое превышение свинца по сравнению с почвой лесополосы.

В Благовещенском и Тамбовском районе сосредоточены наиболее плодородные лугово-черноземовидные почвы. Здесь в системе севооборота возделываются зерновые культуры, соя, кормовые культуры, кукуруза. С 1961 года применялись интенсивные технологии возделывания сельскохозяйственных культур, использовались повышенные дозы минеральных удобрений. Изучение содержания тяжелых металлов в почвах показало, что наибольшему загрязнению подвержены почвы полей ОПХ ВНИИ сои (Тамбовский район). Именно на этих полях выявлено наибольшее превышение по кадмию, свинцу. По данным станции химизации установлено, что с 1961 по 1996 гг. в Тамбовском районе (с. Садовое) использовалось 383 875 тонн минеральных удобрений, в Благовещенском районе за указанный период было использовано 172 124 тонны. В том числе на долю азотных удобрений приходилось 203 556 и 90 984 тонны соответственно; фосфатных – 104 274 и 4 339 тонн; калийных – 20 510 и 22 509 тонн. Только нитроаммофоса в Тамбовский район за 36 лет поступило 8 705 тонн, а именно, нитроаммофос, по данным В.Г.Минеева [13], содержит в 20 – 40 раз больше кадмия по сравнению с другими удобрениями и может за 2 – 4 года загрязнить почву кадмием.

В условиях лугово-черноземовидных почв идет интенсивное накопление тяжелых металлов, что подтверждено исследованиями растениеводческой продукции. Нами проведены исследования образцов ячменя (*Hordeum L.*), пшеницы (*Triticum L.*), сои (*Glycine hispida Max.*), кукурузы (*Zea mays L.*), злаковых трав (*Poa*), произрастающих на лугово – черноземовидных почвах.

Содержание ртути в исследуемых кормах вызывает тревогу, поскольку данный элемент обнаружен в некоторых видах кормов в количествах, превышающих ПДК (0,01 мг/кг для зеленых трав). Наибольшее количество ртути обнаружено в зеленой массе сои (0,38 мг/кг), в однолетних злаковых травах (0,029 мг/кг) и в зеленой массе кукурузы (0,035 мг/кг). Данное содержание ртути превышает предельно-допустимую концентрацию в 3 – 3,8 раз.

Относительно высокое содержание кадмия (0,15 мг/кг) в зеленой массе кукурузы, отобранной с поля 1 ТОО «Волковское» - в 1,8 раза выше фона, и в зеленой массе сои - 0,70 мг/кг (поле 2 ТОО «Волковское») и 0,90 мг/кг, отобранной с поля 3 учхоза ДальГАУ (с. Грибское) в 2004 г. - в 8 – 11 раз выше фона. Концентрация кадмия в зеленой массе пайзы в среднем составила 0,3 мг/кг – в 3,5 раз выше фонового значения. Для зеленой массы однолетних злаковых трав содержание кадмия

находится на уровне фона. Отмечается превышение ПДК в 1,6-5 раз, а в сое, урожая 2004 г. (учхоз ДальГАУ, с. Грибское) в 23-30 раз.

В сое, отобранной в 2004 г., превышение МДУ по кадмию составило 2 – 3 раза (0,70 – 0,90 мг/кг), такое повышенное содержание металла в растениях связано с количеством металла в почве. На этих полях в 2004 г отмечалось концентрация кадмия 0,39 – 0,43 мг/кг. Для пайзы – концентрация кадмия (0,22 - 0,34 мг/кг) находилась на уровне МДУ, в смеси овес+пайза превышение МДУ составило 1,3 раза (0,38 мг/кг).

Таблица 2

**Содержание тяжелых металлов в зеленых растениях, мг/кг
(2002-2004 гг.)**

| Образец | Место отбора | Металлы | | |
|----------------------------------|-----------------------------------|-------------|-----------|-----------|
| | | Hg | Cd | Pb |
| <i>Соя</i> | ОПХ ВНИИ сои, поле 1 | 0,033±0,008 | 0,08±0,02 | 4,48±0,89 |
| | Учхоз ДальГАУ с. Грибское, поле 1 | 0,033±0,008 | 0,08±0,02 | 3,89±0,78 |
| | Учхоз ДальГАУ с. Грибское, поле 3 | 0,020±0,006 | 0,90±0,18 | 6,70±1,34 |
| | Учхоз ДальГАУ с. Дроново, поле 1 | 0,038±0,009 | 0,05±0,01 | 2,46±0,49 |
| | ТОО«Волковское» поле 2 | 0,020±0,006 | 0,70±0,14 | 4,60±0,92 |
| <i>Кукуруза+пайза</i> | ТОО«Волковское» поле 1 | 0,035±0,009 | 0,15±0,03 | 3,39±0,68 |
| <i>Однолетние злаковые травы</i> | ОПХ ВНИИ сои, поле 2 | 0,029±0,007 | 0,09±0,02 | 2,80±0,56 |
| <i>Овес + пайза</i> | Учхоз ДальГАУ с. Грибское, поле 1 | 0,02±0,006 | 0,38±0,08 | 2,70±0,54 |
| <i>Пайза**</i> | Учхоз ДальГАУ с. Дроново, поле 1 | 0,02±0,006 | 0,34±0,07 | 2,50±0,50 |
| <i>Пайза</i> | ОПХ ВНИИ сои, поле 2 | 0,02±0,006 | 0,22±0,04 | 2,10±0,42 |
| МДУ | | 0,05 | 0,3 | 5,0 |
| ПДК | | 0,01 | 0,03 | 1,0 |
| ФОН | | 0,05 | 0,085 | 1,2-3,9* |

*- первое значение фоновой концентрации для травы, второе – для кукурузы [6]; ** - ежовник хлебный (*Echinochloa frumentacea* (Roxb.) Link).

Наибольшая концентрация свинца отмечалась в сое 2,5 - 6,7 мг/кг, превышение фона составило от 2,0 до 5,6 раза. Высоким содержанием свинца характеризуется соя с поля 3 учхоза ДальГАУ (6,7 мг/кг). В однолетних злаковых

травх и в пайзе свинец превышает фон в 2,3 раза. Для кукурузы превышение не отмечалось. В зеленой массе анализируемых растений наблюдается превышение ПДК. Превышение в 3,4 ПДК отмечалось для кукурузы+пайза, для сои – 4 - 7 ПДК, для зеленой массы трав – 2 – 2,7 ПДК (табл. 2).

В наших исследованиях в условиях юга Приамурья, ртуть обнаружена во всех образцах зерновых культур в фазе полной зрелости в количестве 0,009 – 0,027 мг/кг. Наибольшая концентрация ртути отмечалась для образцов соломы с поля 2 учхоза ДальГАУ (с. Грибское) – 0,027 мг/кг, превышение ПДК составило в 1,4 раз. В зерне ячменя и пшеницы ртуть в среднем присутствует в количестве 0,009 мг/кг. В концентрации 0,010 мг/кг ртуть обнаружена в зерне пшеницы с поля 2 ОПХ ВНИИ сои (с.Садовое).

Таблица 3

**Содержание тяжелых металлов в зерновых культурах, мг/кг
(2002-2004 гг.)**

| Образец | Место отбора | Hg | Cd | Pb |
|---------------|------------------------------------|-------------|------------|-----------|
| <i>Солома</i> | | | | |
| Ячмень | ТОО «Волковское» поле 1 | 0,020±0,006 | 0,08±0,016 | 1,99±0,39 |
| Пшеница | ОПХ ВНИИ сои поле 1 | 0,020±0,006 | 0,07±0,018 | 1,64±0,33 |
| Пшеница | ОПХ ВНИИ сои поле 2 | 0,020±0,006 | 0,03±0,009 | 1,13±0,23 |
| Пшеница | Учхоз ДальГАУ (с. Грибское) поле 1 | 0,020±0,006 | 0,13±0,026 | 0,83±0,17 |
| Пшеница | Учхоз ДальГАУ (с. Грибское) поле 2 | 0,027±0,005 | 0,18±0,036 | 1,39±0,28 |
| <i>Зерно</i> | | | | |
| Ячмень | ТОО «Волковское» поле 1 | 0,009±0,002 | 0,01±0,009 | 0,97±0,24 |
| Пшеница | ОПХ ВНИИ сои поле 1 | 0,009±0,002 | 0,09±0,23 | 1,29±0,26 |
| Пшеница | ОПХ ВНИИ сои поле 2 | 0,010±0,005 | ,05±0,010 | 0,88±0,22 |
| Пшеница | Учхоз ДальГАУ (с. Грибское) поле 1 | 0,009±0,002 | 0,08±0,026 | 0,80±0,20 |
| Пшеница | Учхоз ДальГАУ (с. Грибское) поле 2 | 0,009±0,002 | 0,02±0,009 | 0,72±0,14 |
| МДУ | | 0,05 | 0,3 | 5,00 |
| Зерно | ПДК | 0,03 | 0,01 | 0,50 |
| Солома | | 0,02 | 0,05 | 0,50 |
| Зерновые | ФОН | 0,05 | 0,085 | 0,38 |

Концентрация кадмия в исследуемых образцах лежит в широких пределах: от минимального значения 0,01, до максимального 0,18 мг/кг сухого вещества, не превышая МДУ. В среднем концентрация кадмия в соломе пшеницы составляет 0,05 мг/кг, соломе ячменя - 0,08 мг/кг. Превышение фонового содержания кадмия в соломе пшеницы наблюдалось в 1,5 – 2,1 раза, превышение ПДК в соломе зерновых культур составило в 1,4 – 4 раза, в зерне в 5 – 9 раз.

Кадмий, в противоположность другим металлам, может накапливаться в относительно больших количествах в зерне зерновых культур [6]. Это подтверждается анализом образцов пшеницы, отобранной с полей ОПХ ВНИИ сои. В зерне отмечалось кадмия больше, чем в соломе этой культуры (в 1,3 – 1,6 раз). В остальном анализируемом зерне уровень содержания кадмия в несколько раз ниже, чем в соответствующей соломе. В зерне пшеницы содержалось металла в среднем в 3,1 раза меньше, чем в соломе, в зерне ячменя - в 8 раз (табл. 3.2.2).

Содержание свинца в зерновых культурах имеет свои особенности. Непосредственно в зерне уровень содержания свинца в каждом конкретном случае ниже, чем в соломе. В среднем концентрация свинца в зерне пшеницы равна 0,93 мг/кг, в соломе 1,40 мг/кг.

Высоким уровнем содержания элемента отличаются солома ячменя с поля ТОО «Волковское» - 1,99 мг/кг (в 5 раз выше фонового значения), солома пшеницы ОПХ ВНИИ сои – 1,13 – 1,64 мг/кг (в 2 – 3 раза выше фона). В соломе пшеницы учхоза ДальГАУ (с. Грибское) данный металл присутствует в количестве 0,83 – 1,39 мг/кг, превышение составило в 2 - 3 раза.

В зерне пшеницы с полей ОПХ ВНИИ сои (поле 1) выявлен свинец в количестве 1,29 мг/кг, превышение фонового показателя отмечается в 3,4 раза. В остальных образцах зерна концентрация элемента превышает фон в 2 – 2,5 раза.

В соломе зерновых культур свинец содержался в количествах 1,7 – 4 ПДК. В зерне 1,4 – 1,9 ПДК (табл. 3).

Повышение содержания ТМ в почве вызывает увеличение их содержания в растениях. В ряде случаев наблюдается строгая корреляция между содержанием элементов в почве и растениях. Так, достоверная корреляция обнаружена между содержанием кадмия в почве и зерне ячменя ($R = 0,88$), в сое ($R = 0,79$), в кукурузе ($R = 0,61$), между содержанием ртути в почве и соломе пшеницы ($R = 0,64$).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате исследования содержания ТМ в почвах пахотных угодий южной зоны Среднего Приамурья было выявлено увеличение содержания ТМ по сравнению с почвами, неподверженными сельскохозяйственному воздействию. Особенно загрязнению подвержены почвы полей ОПХ ВНИИ сои (Тамбовский район). Именно на этих полях отмечаются повышенные концентрации кадмия, свинца. Применявшиеся в течение многих десятилетий в больших количествах минеральные удобрения и пестициды могут служить одним из источников повышенного содержания тяжелых металлов.

Концентрация ртути, кадмия и свинца во всех образцах почвы не превышает ПДК, но выше российского фона и кларка. Уровень загрязнения исследуемых почв характеризуется: для ртути – слабый, для свинца – средний, уровень содержания кадмия – повышенный.

В условиях лугово – черноземовидных почв идет интенсивное накопление ТМ в растениях, что подтверждено и исследованиями растениеводческой продукции. Концентрация ртути в некоторых видах растений обнаружена в количествах, превышающих ПДК. Наибольшее количество ртути обнаружено в зеленой массе сои и однолетних злаковых травах (3 – 3,8 ПДК), а также в зеленой массе кукурузы (3,5 ПДК), которые использовались в качестве зеленого корма для животных и приготовления сенажа и силоса. Превышение кадмия предельно-допустимой концентрации для зерновых культур составило – 2 – 8 ПДК, для зеленой массы растений – 1,6 – 10,5 ПДК. Концентрация свинца во всех анализируемых смесях превышает ПДК. Наибольшее значения концентраций отмечалось в кормах, основу которых составляли растения семейств злаковых и бобовых (до 6,7 ПДК).

ЛИТЕРАТУРА

1. Алексеенко В.А. Экологическая геохимия. – М.: Логос, 2000. 627с.
2. ГОСТ 17.4.4.02 – 84. Почвы. Методы отбора и подготовки проб для химического, биологического и гельминтологического анализа. М., 1984. 11 с.

3. ГОСТ 30692 – 2000. Корма, комбикорма, комбикормовое сырье. Минск: Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации, 2000. 11с.
4. Гребенюк Г.А., Харина С.Г. Миграция биогенных элементов по почвенному профилю // «Молодежь XXI века: шаг в будущее»: материалы IV региональной научно-практической конференции, 14-15 мая 2003г., Благовещенск. – Благовещенск: ДальГАУ, 2003. С. 405-407.
5. Добровольский Г.В., Никитин Е.Д. Функции почв в биосфере и экосистемах. Экологическое значение почв. - М.: Наука, 1990. 261с.
6. Захарова Л.Л. Особенности миграции кадмия в системе почва-растение // Труды III Всесоюзного совещания по исследованию миграции загрязняющих веществ в почвах и сопредельных средах. Л.: Гидрометеиздат, 1985. С. 168-172.
7. Ильин В.Б. Тяжелые металлы в системе почва – растение. - Новосибирск: Наука. Сибирское отделение, 1991. 151с.
8. Кузнецов А.В. Контроль техногенного загрязнения почв и растений // Агротехнический вестник. 1997. №5. С.7-9.
9. Майстренко В.Н., Хамитов Р.З., Будников Г.К. Эколого – аналитический мониторинг супертоксикантов. – М.: Химия, 1996. 319с.
10. Методические указания по обнаружению и определению содержания общей ртути в пищевых продуктах методом беспламенной атомно – абсорбционной спектроскопии (№ М 5178-90). М., 1990. 11с.
11. Методика выполнения измерений массовой концентрации ртути в пробах воды, почвы и донных отложений методом беспламенной атомно – абсорбционной спектроскопии (№ М 79/99). М., 1999. 13с.
12. Методические указания по определению тяжелых металлов в почвах сельхозугодий и продукции растениеводства. М.: ЦИНАО, 1992. – 40с.
13. Минеев В.Г. Химизация земледелия и природная среда. М.: Агропромиздат, 1990. 278с.
14. Обухов А.И., Бабьева И.П., Грынть А.А. Научные основы разработки ПДК тяжелых металлов в почвах // Тяжелые металлы в окружающей среде. М.: МГУ, 1980. С. 20-27.
15. Соколов О.А., Черников В.А. Атлас распределения тяжелых металлов в объектах окружающей среды. Книга 1. Пушино, 1999. 163с.