

На правах рукописи

Романюк Оксана Львовна

**ГЕОХИМИЯ СВИНЦА И КАДМИЯ
В АГРОЛАНДШАФТАХ РОСТОВСКОЙ ОБЛАСТИ**

Специальность 25.00.23. — Физическая география и биогеография,
география почв и геохимия ландшафтов

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата географических наук

Ростов-на-Дону
2005

Работа выполнена на кафедре геоэкологии и прикладной геохимии
Ростовского Государственного Университета

Научный руководитель: доктор геолого-минералогических наук,
профессор **Закруткин Владимир Евгеньевич**

Официальные оппоненты: доктор географических наук,
профессор **Дьяченко Владимир Викторович**
доктор сельскохозяйственных наук,
профессор **Колесников Сергей Ильич**

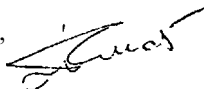
Ведущая организация: ФГОУ ВПО «Новочеркасская
государственная мелиоративная академия»

Защита состоится 24 мая 2005 года в 13.00 часов на заседании
Диссертационного совета Д 212.208.12 в Ростовском государственном
университете по адресу: 344090, г. Ростов-на-Дону, ул. Зорге. 40,
геолого-географический факультет, ауд. 210.

С диссертацией можно ознакомиться в Зональной научной библиотеке
РГУ по адресу: 344006, г. Ростов-на-Дону, ул. Пушкинская, 148.

Автореферат разослан 23 апреля 2005 г.

Ученый секретарь
Диссертационного совета,
к.г.н., доцент



Т.А. Смагина

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы.

В настоящее время в связи с высоким уровнем развития промышленности, транспорта, широким использованием удобрений в сельском хозяйстве одним из актуальных вопросов геохимии стало определение допустимых содержаний химических элементов в почвах, почвоподстилающих породах и растительности, выполненное не на глобальном и региональном уровнях, а для локальных участков с определенными закономерностями, сложившимися в экономическом развитии. Ростовская область представляет собой интересный объект для подобного рода исследований, являясь одним из крупнейших аграрных районов страны. В то же время добыча каменного угля в зоне открытого Донбасса, предприятия металлургической, химической, машиностроительной промышленности, Новочеркасская ГРЭС, наряду с интенсивной химизацией сельского хозяйства, являются основными поставщиками микроэлементов в агроландшафты.

В последнее время особое внимание уделяется тяжелым металлам, обладающим, с одной стороны, токсическим действием, а с другой — являющихся необходимым условием для обеспечения жизнедеятельности живых организмов. Поэтому несомненный научный интерес представляет оценка содержания в почвах и растительности Ростовской области таких элементов, как кадмий и свинец, относящихся к числу приоритетных токсикантов, и, в то же время, в небольших количествах необходимых в жизнеобеспечивающих средах. Изменение условий среды способствует переходу элементов в легкодоступное для растений состояние, что может привести к чрезмерному накоплению Pb и Cd в сельскохозяйственных культурах и, в конечном итоге, представлять опасность для животных и человека. Поэтому одной из актуальнейших задач является изучение распределения свинца и кадмия в различных типах агроландшафтов Ростовской области, а также количественная оценка геохимических потоков элементов с целью последующего использования полученных результатов при проведении природоохранных и сельскохозяйственных мероприятий.

Цель работы.

Изучение геохимических закономерностей распределения и миграции Pb и Cd в почвах и сельскохозяйственных культурах агроландшафтов Ростовской области.

Основные задачи исследования:

- изучить закономерности распределения свинца и кадмия в различных типах почв и видах растений, установить закономерности радиального и латерального распределения элементов;
- дать эколого-геохимическую характеристику почвенного покрова и санитарно-гигиеническую оценку выращиваемой сельхозпродукции;

- оценить возможность определения региональных ПДК (РПДК) свинца и кадмия в почве на основе санитарно-гигиенического нормирования содержания элементов в товарной части сельскохозяйственных культур;
- дать количественную оценку геохимических потоков металлов в почвах агроландшафтов.

Фактический материал и методы исследований.

В диссертации изложены результаты исследований и разработок, выполненных в 1998-2004 г.г. Автор принимала участие в проведении полевых эколого-геохимических работ, выполненных коллективом кафедры геоэкологии и прикладной геохимии геолого-географического факультета РГУ под руководством профессора В.Е. Захруткина, подготовке проб к анализам и статистической обработке их результатов. Кроме того, в диссертации собраны, обобщены и проанализированы публикации, касающиеся поведения микроэлементов в почвах и растениях, особенностей агрогенного преобразования почв, принципов экологического нормирования и ряда других вопросов по исследуемой проблеме.

В результате полевых работ было отобрано 2627 педогеохимических проб, в т.ч. 112 - по почвенным разрезам, и 1995 биогеохимических. Пробы анализировались методом атомно-абсорбционной спектрофотометрии в Бронницкой геолого-геохимической экспедиции Института минералогии, геохимии и кристаллографии редких элементов (ИМГРЭ) и в Региональном лабораторном центре Южного государственного унитарного геологического предприятия "Южгеология". Подвижная форма элементов определялась с помощью ацетатно-аммонийной вытяжки с рН 4,8.

Апробация работы и публикации.

Основные положения диссертации представлялись на V Международном научном симпозиуме студентов, аспирантов и молодых ученых имени акад. М.А. Усова "Проблемы геологии и освоения недр" (ТомПИ, Томск, 6-11 апреля 2001 г.); III Всероссийской школе молодых ученых и специалистов "Геоэкология на современном этапе развития наук о Земле" (г. Аксай Ростовской обл., 26-30 сентября 2001 г.); III Международной научно-практической конференции «Проблемы геологии, полезных ископаемых и рационального недропользования» (г. Новочеркасск, декабрь, 2004 г.).

По теме диссертации опубликовано 9 печатных работ.

Научная новизна работы заключается в следующем:

- впервые на территории Ростовской области установлены закономерности распределения свинца и кадмия в различных типах почв и широком спектре сельскохозяйственных культур агроландшафтов;
- произведена санитарно-гигиеническая оценка содержания элементов в почвах и растениях;
- на основе предложенной методики определены предельно допустимые концентрации свинца и кадмия для конкретных типов почв

агрolandшафтов Ростовской области, с учетом выращиваемой на них сельхозпродукции;

- дана количественная оценка лривноса — выноса элементов в почвах агрolandшафтов путем балансово-геохимических расчетов.

Практическая ценность работы.

Материалы исследований могут быть использованы природоохранными и научными организациями при мониторинге и экологической оценке состояния агрolandшафтов, а также сельскохозяйственными предприятиями для корректировки схем внесения удобрений и оптимизации севооборотов. Результаты исследований используются автором в преподавании на геолого-географическом факультете РГУ следующих дисциплин: «Геохимия», «Геохимические методы поисков», «Теория и практика эколого-геохимического анализа».

Основные защищаемые положения:

- анализ геохимических параметров распределения свинца и кадмия в почвах позволяет ранжировать ландшафты по уровню агрогенного преобразования следующим образом: сады и виноградники > орошаемые > полевые богарные;
- изучение всей характерной для данной территории сельскохозяйственной растительности показало, что кадмием в значительной степени загрязнены зерновые, тогда как предельно допустимые концентрации свинца превышены в зерновых культурах, овощах и фруктах;
- на основании изучения распределения Pb и Cd в системе почва — растение определены региональные ПДК для черноземных и каштановых почв;
- в почвах полевых богарных ландшафтов сложился положительный баланс элементов, обусловленный интенсивной антропогенной нагрузкой.

Структура и объем работы.

Диссертация состоит из шести глав, введения и заключения, объем которых составляет 190 страниц. Текст сопровождается 38 рисунками и 55 таблицами. Список использованной литературы включает 208 наименований, в том числе 10 на иностранном языке.

Диссертационная работа выполнена в Ростовском Государственном Университете под руководством доктора геолого-минералогических наук, профессора В.Е. Закруткина, которому автор выражает свою благодарность за всестороннюю помощь и конструктивную критику.

В процессе работы над темой и подготовки диссертации автор пользовалась поддержкой и консультациями кандидата географических наук, доцента Д.Ю. Шишкиной, которой выражает свою искреннюю признательность.

Автор благодарит также В.Н. Романюк, Н.А. Мошиченко и Н.М. Аполлосову за содействие и помощь в оформлении работы.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

ВВЕДЕНИЕ

Во введении обоснована актуальность темы, сформулированы цель и задачи исследования, указаны научная новизна и положения, выносимые на защиту, а также сведения о теоретической и практической значимости работы.

ГЛАВА 1. ПРИРОДНЫЕ УСЛОВИЯ И ГЕОГРАФО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РОСТОВСКОЙ ОБЛАСТИ

В главе рассмотрены географо-экономическое положение территории, геологические, геоморфологические, гидрографические и другие природные факторы, контролирующие миграцию элементов, а также почвенный покров и ландшафтно-геохимическая структура Ростовской области.

ГЛАВА 2. ОСОБЕННОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ СВИНЦА И КАДМИЯ В БИОСФЕРЕ И ИХ БИОЛОГИЧЕСКОЕ ЗНАЧЕНИЕ

В главе дан литературный обзор, касающийся особенностей распределения свинца и кадмия в почвообразующих породах, почвах, гидросфере, атмосфере, растительности, а также биологического значения элементов.

Изучаемые элементы относятся к тяжелым металлам первого класса опасности, в природе чаще всего встречаются их двухвалентные соединения.

В соответствии с классификацией А.И. Перельмана [1975] рассматриваемые элементы относятся к подвижным и слабоподвижным элементам в окислительной и глеевой обстановках, осаждающихся на щелочных, сероводородных, испарительных и сорбционных геохимических барьерах. Однако Pb более активно накапливается на щелочном барьере, нежели Cd [Глазовская, 1988].

Свинец является элементом среднего биологического захвата, а кадмий — слабого и очень слабого [Перельман, 1966]. В растительных организмах для Pb характерно акропетальное распределение: корни > стебель (листья) > органы запасаания ассимилятов.

Кадмий довольно легко проникает через корни и проводящие органы в листья, где идет его накопление. В запасающих органах содержание элемента может увеличиваться в несколько раз [Гармаш, 1992; Добровольский, 1988; Ильин, 1976; Ягодин, 1995; Lagerwerff, 1972].

Пределы накопления Cd и Pb в сельскохозяйственных культурах значительно колеблются и обусловлены общей экологической обстановкой, геохимическими особенностями почвы и видовой принадлежностью растения.

ГЛАВА 3. РАСПРЕДЕЛЕНИЕ СВИНЦА И КАДМИЯ В ПОЧВЕННОМ ПОКРОВЕ РОСТОВСКОЙ ОБЛАСТИ

3.1 Определение естественного педогеохимического фона

Для определения естественного фона были использованы геохимические параметры распределения элементов в почвах природных степных ландшафтов. Ввиду высокой хозяйственной освоенности территории Ростовской области, практически исключая существование естественных ландшафтов, при определении фоновых характеристик использовались результаты опробования пастбищных агроэкосистем, достаточно удаленных от основных источников загрязнения. Всего было отобрано 135 проб.

Установленные фоновые содержания элементов в почвах естественных ландшафтов Ростовской области составили: для Cd — 0,22 мг/кг в черноземных почвах, 0,21 — в каштановых; для Pb — 24 мг/кг в черноземных почвах, 22 — в каштановых.

3.2 Распределение элементов в верхнем почвенном горизонте агроландшафтов

В ходе исследования все агроландшафты Ростовской области были разделены на следующие типы: полевые богарные, орошаемые, ландшафты многолетних насаждений.

На основании данных ландшафтно-геохимической съемки М 1:500 000 нами были составлены карты распределения свинца и кадмия в верхнем почвенном горизонте.

Распределение Pb в почвах носит мозаичный характер, средние значения лежат в пределах 25,8–30,3 мг/кг. Повышенные содержания металла (40–85 мг/кг) зафиксированы в основном в пределах юго-западной части территории, характеризующейся широким развитием сельского хозяйства и отсутствием интенсивной промышленной нагрузки. Максимальные концентрации свинца в почвах можно объяснить значительной разветвленностью транспортной сети, в частности автомагистралей, в этой части области.

Среднее содержание Cd в почвах лежит в пределах 0,23–0,29 мг/кг. Повышенные содержания кадмия (0,40–0,91 мг/кг) отмечены в центральной части территории, где широкое развитие получили угольные шахты и терриконы. Рисунки участков с повышенными содержаниями свинца и кадмия в плане не совпадают.

Сравнительный анализ содержаний элементов в почвах разных типов агроландшафтов показал, что фоновые значения Pb в почвах орошаемых ландшафтов (29,4–29,8 мг/кг) несколько ниже таковых в почвах ландшафтов многолетних насаждений (29,9–30,3 мг/кг). В полевых богарных ландшафтах содержание элемента составляет 28,3 мг/кг.

Средние содержания Cd в почвах орошаемых ландшафтов (0,26-0,27 мг/кг) и ландшафтов многолетних насаждений (0,28-0,29 мг/кг) также выше средних значений элемента в почвах полевых богарных ландшафтов (0,25 мг/кг). Следует отметить, что полученные результаты различаются статистически достоверно.

Таким образом, параметры распределения свинца и кадмия в почвах орошаемых ландшафтов и ландшафтов многолетних насаждений отличаются от таковых в почвах богарных ландшафтов. Различие проявляется в увеличении вариабельности и концентрации средних содержаний Pb и Cd в последовательности: богарные ландшафты, орошаемые ландшафты, сады и виноградники. Причиной выявленной дифференциации является разная степень агрогенной нагрузки на ландшафты (орошение, особенности механической обработки почвы, различия по составу и количеству вносимых удобрений).

Богарные ландшафты, занимающие 61% территории, рассматривались в соответствии с их развитием на разных генетических типах почв. Анализ характера распределения Pb и Cd в почвах полевых неорошаемых ландшафтов позволил выстроить следующие ряды накопления элементов.

Ряд накопления для Pb: обыкновенные черноземы (среднее содержание для этого типа почв 25,8 мг/кг) < лугово-черноземные почвы (26,7) < каштановые почвы (26,9) < приазовские черноземы (27,2) < южные черноземы (28,3) < предкавказские черноземы (29,0);

Ряд накопления для Cd: обыкновенные черноземы (среднее содержание для этого типа почв 0,23 мг/кг) < каштановые почвы (0,24) < лугово-черноземные почвы, приазовские и южные черноземы (0,25) < предкавказские черноземы (0,26).

Анализ статистических параметров распределения элементов показал отсутствие зависимости между содержанием свинца и кадмия в почвах агроландшафтов.

Сопоставление полученных содержаний Pb и Cd с региональным педогеохимическим фоном позволяет сделать вывод об обогащении почв агроландшафтов этими элементами в ходе сельскохозяйственной деятельности. Рассчитанный коэффициент агрогенной трансформации вещества [Учватов, 1993], представляющий собой отношение содержания элемента в природном ландшафте к его содержанию в агрогенном и дающий возможность оценить интенсивность привноса или выноса, составил для Pb — 0,81-0,95; для Cd — 0,84-0,95.

3.3 Радиальная дифференциация свинца и кадмия в почвах

С целью выявления закономерностей вертикальной миграции элементов в основных типах почв Ростовской области было заложено 30 почвенных разрезов. Шурфы проходились до материнской породы с опробованием всех генетических почвенных горизонтов.

Вертикальное распределение Pb и Cd в почвах характеризуется аккумуляцией в основном в гумусовом горизонте, либо в степном войлоке. В остальном, поведение элементов подчиняется характерной для них закономерности слабого уменьшения концентраций с глубиной. Этот факт был отмечен ранее и другими исследователями [Воривохина, 1998; Добровольский, 1999; Ильин, 1992; Минеев, 2003 и др.].

В некоторых разрезах наблюдается увеличение содержаний свинца и кадмия в переходном горизонте или почвообразующей породе. Проведенные нами дополнительные исследования показали, что локальное повышение концентраций элементов связано с увеличением процентного содержания илистой фракции, с которой связаны повышенные содержания металлов по сравнению с грубодисперсной частью почвы, либо с работой щелочного барьера, что подтверждено широким развитием карбонатных включений в исследуемых частях профиля.

Особенности радиальной дифференциации Cd и Pb находят свое отражение в изменении коэффициента радиальной дифференциации ($K_{ра}$), представляющего собой отношение содержания химического элемента в любом генетическом горизонте к его концентрации в почвоматеринской породе.

Установленные величины коэффициентов радиальной дифференциации элементов в почвах составили: для Cd — 0,3-2,5 в черноземных почвах, 0,4-3,8 — в каштановых; для Pb — 0,9-5,0 в черноземных почвах, 0,5-2,5 — в каштановых.

В пределах одной литологической разновидности пород (эоцен-миоценовые глины) были изучены три вертикальных почвенных разреза, расположенные в разных звеньях каскадной ландшафтно-геохимической системы (КЛГС): водораздел (автономный ландшафт) — склон (трансэлювиальный) — пойма (трансупераквальный). Для разрезов, приуроченных к водораздельным и склоновым частям максимальные содержания свинца характерны для верхних почвенных горизонтов. Для разреза, расположенного в пойменной части, повышенные концентрации Pb зафиксированы в нижних частях вертикального профиля. Аналогичная тенденция выявлена нами и для Cd. Таким образом, в нижних звеньях КЛГС элементы обладают более интенсивной миграционной способностью.

Распределение по профилю почвы подвижных форм Cd и Pb отличается практически равномерным повышением концентрации от пахотного горизонта к почвоматеринской породе, что по нашему мнению определяется достаточно сильной связью с глинистым материалом. Кроме того, это связано с особенностями почвообразовательного процесса: для верхних горизонтов характерны явления вымывания, часто в почвах они выражены достаточно четко и обособлены в самостоятельный горизонт вымывания, откуда вынесены практически все подвижные формы.

Процентное содержание подвижной формы элементов по отношению валовой колеблется от 1,7 до 29,6 %, причем наибольшими значениями

отличаются черноземы. Данный факт объясняется природными особенностями последних, в которых и миграция, и накопление металлов происходит наиболее интенсивно [Глазовская, 1988; Добровольский, 1999; Миграция..., 1961].

Сопоставление содержания свинца и кадмия в почвах природных и агрогенных разрезов показало, что по абсолютным значениям агроландшафты несколько уступают природным. Таким образом, можно говорить о некотором влиянии агрогенеза на перераспределение элементов по почвенному профилю.

Следует отметить, что для Pb и Cd практически во всех почвенных разрезах прослеживается слабая литогеохимическая специфика почвообразующих пород: в глинах и суглинках отмечены более высокие содержания элементов, однако выявленные различия нивелируются в ходе почвообразовательного процесса. Этот факт отмечался ранее и другими исследователями [Дьяченко, 2004; Металлы в окружающей среде, 2002].

3.4 Латеральная дифференциация свинца и кадмия

Латеральная дифференциация Pb и Cd была изучена для выявления особенностей миграции элементов в каскадных ландшафтно-геохимических системах с целью дальнейшего рационального использования сельскохозяйственных угодий. Было пройдено 25 ландшафтно-геохимических профилей, включающих элювиальные, трансэлювиальные, трансаккумулятивные ландшафты. Характер распределения выявлялся с помощью коэффициента латеральной дифференциации ($K_{лд}$) и обратной ему величины ($K_{лд}^*$). Коэффициент латеральной дифференциации представляет собой отношение элемента в подчиненном ландшафте к его содержанию в автономном [Глазовская, 1965; Касимов, 1988].

Следует отметить более интенсивную миграционную способность кадмия ($K_{лд} = 1,2$; $K_{лд}^* = 1,1-2,8$) по сравнению со свинцом ($K_{лд} = 1,4$; $K_{лд}^* = 1,1-2,0$).

На основании проведенных исследований можно сделать вывод о преимущественном накоплении элементов в нижних звеньях КЛГС (в пойменных частях ландшафта). Полученные результаты согласуются с мнением и других исследователей [Алексеев, 2002; Лукьянченко, 2003; Хаванский, 1994].

3.5 Закономерности распределения элементов в почвах придорожных ландшафтов

В последнее время, наряду со снижением объемов промышленных выбросов, значительно увеличилась интенсивность движения транспорта, что послужило причиной исследования почв придорожных ландшафтов. Большинство исследователей полагает, что металлы образуют линейно вытянутые аномалии вдоль автомагистралей [Алексеев, 2000; Глуховский и др., 1994; Никифорова, 1981; Сает, 1990; Шербаков и др., 2000].

Нами было проведено профильное исследование вдоль участка трассы Москва — Баку протяженностью 1000 м. Как выяснилось, повышенные концентрации Pb и Cd не образуют сплошной линейной аномалии, а имеют мозаичный характер распределения. Поэтому в нашем случае правильнее говорить о линейно вытянутой аномальной зоне, в пределах которой свинец и кадмий образуют вторичные ореолы рассеяния.

ГЛАВА 4. РАСПРЕДЕЛЕНИЕ СВИНЦА И КАДМИЯ В СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУРАХ ОБЛАСТИ

На территории Ростовской области были опробованы наиболее распространенные сельскохозяйственные культуры: зерновые и зернобобовые, кормовые, овощи и фрукты. Отбор проб производился только по достижению культурами товарной зрелости. В пробу отбирались непосредственно употребляемые в пищу человеком и животными части растений: колосья зерновых, семечки подсолнечника, наземная часть кормовых трав, плодовые части овощей и фруктов.

4.1 Видовая дифференциация сельскохозяйственных растений по содержанию свинца и кадмия

Содержания Pb в зерновых и зернобобовых культурах лежат в широких пределах, при этом максимальным разбросом значений отличается пшеница (0,01-4,1 мг/кг). Наибольшие средние содержания элемента характерны для риса (0,86 мг/кг), наименьшие — для гороха (0,10 мг/кг). В целом, средние содержания свинца в зерновых и зернобобовых культурах уменьшаются в такой последовательности: рис (0,86 мг/кг) > подсолнечник (0,77) > кукуруза (0,72) > ячмень (0,64) > пшеница (0,63) > рожь (0,41) > горох (0,10).

Содержания Cd в зерновых культурах изменяются от 0,01 мг/кг (пшеница) до 0,24 мг/кг (ячмень). Наименьшие средние содержания элемента выявлены в зернах ржи (0,064 мг/кг), наибольшие - в подсолнечнике (0,08 мг/кг). Средние содержания кадмия уменьшаются в следующем порядке: подсолнечник (0,08 мг/кг) > кукуруза (0,07) > ячмень (0,068) > пшеница (0,065) > рожь (0,064).

Содержания Pb в кормовых культурах варьируют от 0,6 до 4,4 мг/кг (люцерна). По среднему содержанию Pb кормовые травы можно ранжировать как: эспарцет (среднее содержание 1,7 мг/кг) > люцерна (1,64) > суданка (1,6).

Содержания Cd в кормовых травах изменяются от 0,02 мг/кг (суданка) до 0,31 мг/кг (люцерна). Наименьшие средние содержания элемента выявлены в эспарцете (0,12 мг/кг). Ряд накопления кадмия кормовыми травами выглядит следующим образом: люцерна, суданка (среднее содержание 0,13 мг/кг) > эспарцет (0,12). Следует отметить, что средние содержания элементов различаются статистически достоверно.

Анализ содержания свинца и кадмия в зерновых и кормовых культурах, выращенных на различных генетических типах почв, показал, что наибольшая вариабельность элементов характерна для культур, выращенных на черноземах (15-38%). Наименьшей вариабельностью отличаются культуры, выращенные на каштановых почвах (7,8-25%). Сопоставление содержания РЬ и Сd в сельскохозяйственных культурах, выращенных на разных типах почв, позволяет сделать вывод о наличии определенного, хоть и слабо проявляющегося влияния педогеохимических особенностей на микроэлементный состав злаков и кормовых трав. Полученные результаты подтверждаются прямой зависимостью между содержанием элементов в различных типах почв и выращенных на них с/х культурах.

С целью выявления закономерностей распределения элементов в зерновых культурах нами было проведено опробование соломы и зерна пшеницы. На основании полученных результатов можно говорить о тенденции проникновения металлов в части пшеницы, непосредственно используемые в пищу, причем превышение содержания элементов в зерне значительно (3,6-6,8 раз).

На примере наиболее распространенных сельскохозяйственных культур Ростовской области, характеризующихся представительными выборками, установлена прямая зависимость между содержанием Сd и Рb в растениях и их содержанием в почвах. Аналогичные результаты были получены и рядом других исследователей [Добровольский, 1983; Кабата-Пендиас, 1989; Ковалевский, 1969; Федосеенко, 2004].

Кроме того, в зерновых и кормовых культурах выявлена прямая зависимость между содержанием свинца и кадмия, что позволяет сделать вывод о совместном накоплении изучаемых элементов.

Содержание валовых форм Сd во всех проанализированных образцах овощей и фруктов ниже предела обнаружения атомно-абсорбционным методом — 0,01 мг/кг. Поэтому распределение в них рассмотрено только на примере свинца.

Ряд накопления Рb в овощах выглядит следующим образом: капуста (среднее содержание 2,9 мг/кг) > морковь (2,19) > томат (0,58) > перец (0,32) > свекла (0,08). Средние содержания элемента во фруктах уменьшаются в следующем порядке: яблоки (среднее содержание 8,3 мг/кг) > вишня (1,4) > виноград (0,23).

Содержания свинца в овощах и фруктах, полученные другими исследователями в целом сопоставимы с нашими результатами [Ильин, Сысо, 2001; Мажвила и др., 1994; Сухопарова и др., 1999; Шарпан, 1972; Warren, 1970].

Учитывая все приведенные данные, можно сказать, что отличительной особенностью сельскохозяйственных культур Ростовской области является более высокое содержание свинца в овощах, фруктах и кормовых травах по

сравнению с зерновыми культурами. Кадмий также наиболее интенсивно накапливается в кормовых культурах.

4.2 Особенности биоаккумуляции элементов в сельскохозяйственных культурах

Интенсивность накопления растениями химических элементов оценивалась с помощью индекса биоаккумуляции (I_a), представляющего собой отношение содержания элемента в сухой массе растения к его валовому содержанию в почве агроландшафта [Кабата-Пендиас, 1989].

Таблица 1.

Индексы аккумуляции (I_a) и коэффициенты биологического поглощения (K_b) свинца и кадмия для сельскохозяйственных культур Ростовской области

Вид с/х культуры	Cd		Pb	
	I_a	K_b	I_a	K_b
Зерновые культуры				
Пшеница	0,25	0,81	0,03	13,2
Ячмень	0,26	0,75	0,023	10,1
Рожь	0,26	0,77	0,016	8,3
Подсолнух	0,50	2,1	0,059	21,3
Кукуруза	0,27	0,98	0,026	11,2
Горох	н/п	н/п	0,0038	3,03
Рис	н/п	н/п	0,03	14,3
Кормовые травы				
Люцерна	0,50	2,3	0,06	26,6
Суданка	0,48	1,46	0,07	27,9
Эспарцет	0,31	1,08	0,028	12,0
Овощи				
Капуста	н/п	н/п	0,111	10,1
Морковь	н/п	н/п	0,084	9,7
Перец	н/п	н/п	0,012	6,3
Томаты	н/п	н/п	0,022	7,0
Свекла	н/п	н/п	0,003	5,1
Фрукты				
Виноград	н/п	н/п	0,008	3,2
Вишня	н/п	н/п	0,055	7,6
Яблоки	н/п	н/п	0,32	14,2

н/п — ниже предела обнаружения

В качестве дополнительного применялся коэффициент биологического поглощения (K_b), рассчитываемый как отношение содержания элемента в золе растения к его содержанию в почве [Перельман, 1966]. Рассчитанные величины

показателей K_b и I_a для разных сельскохозяйственных культур приведены в таблице 1.

Анализ полученных показателей позволяет ранжировать сельскохозяйственные растения по интенсивности накопления. Кадмий интенсивнее накапливается в кормовых культурах; свинец, кроме того, аккумулируется в яблоках, капусте и моркови.

Суммирование индексов биоаккумуляции дает основание для дифференциации сельскохозяйственных культур по интенсивности вовлечения микроэлементов в биогенную миграцию. Наиболее интенсивно биогенная миграция осуществляется в кормовых травах и подсолнечнике (сумма индексов 0,338-0,56). Наименее интенсивно элементы включаются в биогенную миграцию во ржи (сумма индексов 0,276).

Во всех сельскохозяйственных культурах отмечено усиление биологического поглощения ($K_b = 3,2-27,9$) и Cd ($K_b = 0,75-2,9$). Полученные результаты позволяют отнести свинец и кадмий, согласно классификации А.И. Перельмана [Перельман, 1989], к группам элементов энергичного биологического накопления и сильного биологического захвата соответственно.

ГЛАВА 5. ОЦЕНКА СТЕПЕНИ ЗАГРЯЗНЕНИЯ АГРОЛАНДШАФТОВ РОСТОВСКОЙ ОБЛАСТИ СВИНЦОМ И КАДМИЕМ

Основным критерием загрязнения почв и растений химическими элементами является предельно допустимая концентрация (ПДК) элементов в соответствующих средах. ПДК представляет собой комплексный показатель безвредного для человека содержания химического вещества в почве, растении, воздухе, воде, поскольку критерии, используемые при их научном обосновании, отражают все возможные пути опосредованного воздействия загрязнения на контактирующие среды.

5.1 Загрязнение почвенного покрова

Для предварительной оценки степени загрязнения почвенного покрова исследуемой территории нами были использованы ПДК валовых содержаний элементов в почвах по данным разных авторов (табл.2).

В результате проведенных исследований установлено, что уровень содержания Cd в почвенном покрове всей территории области, независимо от типа почв и формы сельскохозяйственного использования, характеризуется как допустимый. Максимальные содержания кадмия во всех типах почв составляют 0,66-0,94 ПДК.

Таблица 2.

ПДК валовых содержания Pb и Cd в почвах
по данным разных авторов, мг/кг

Автор Элемент	Кабата- Пендиас, 1989	Обухов, 1988	Несвиж ская, 1985	Лозанов ская и др.,1998	Ильин, 1992	Методичес кие..., 1987
Cd	2-5	1-2	-	5	-	-
Pb	100	100-150	35	32	100	30

Содержания Pb в 12 % проб почв территории соответствуют низкому уровню загрязнения (от ПДК до 2,7 ПДК). Таким образом, загрязнение почв Ростовской области свинцом можно оценить как невысокое по уровню.

5.2 Загрязнение сельскохозяйственных культур

Существующие в настоящее время требования к качеству сельхозпродукции ограничивают содержание свинца в зерновых культурах и овощах на уровне 0,5 мг/кг, во фруктах - 0,4 мг/кг. В соответствии с этими же требованиями концентрации кадмия в зерне не должны превышать 0,1 мг/кг, а в овощах и фруктах - 0,03 мг/кг [Временные..., 1982; Медико-биологические..., 1990; Найнштейн, 1987; Предельно допустимые..., 1986;].

Содержания Cd и Pb в зерновых культурах превышают установленные нормативы (табл.3).

Таблица 3.

Сравнительная характеристика превышения ПДК содержания
Cd и Pb в зерновых культурах

Культура	Cd, кол-во загрязненных проб, %	Превышение, раз	Pb, кол-во загрязненных проб, %	Превышение, раз
Пшеница	25	1,2-7	41	1,3-8,1
Ячмень	14	1,1-2,6	60	1,4-6,4
Рожь	9	1,1-1,5	38	1,2-5,2
Рис	-	-	100	8,0-93
Кукуруза	12	1,2-2,1	87	1,2-6
Подсолнечник	15	1,1-2,1	100	1,2-7,2

В овощах и фруктах выявлено тотальное загрязнение моркови, капусты, яблок, томата и вишни свинцом, причем превышение ПДК составило 3,2-32 раза. Содержания элемента в винограде, перце и свекле не превышают предельно допустимых концентраций.

Для кормовых трав до настоящего времени нормативы содержания Cd и Pb еще не разработаны, поэтому нами были использованы максимально допустимые уровни для кормов (МДУ), составляющие 0,3 мг/кг и 5 мг/кг для кадмия и свинца соответственно [Головатый, 2000; Тихомирова, 2003; Цыганок, 2001]. Следует отметить, что некоторыми исследователями предложено использовать эти величины как ПДК для кормовых культур [Рабаданов и др., 1992]. Сопоставление наших данных с предложенными нормативами показало отсутствие загрязнения кормовых трав Cd и Pb.

Таким образом, зерновые культуры подвержены значительному загрязнению Cd и Pb. В большинстве овощей и фруктов превышены предельно допустимые концентрации свинца.

На основании вышеизложенного, можно говорить о необходимости разработки региональных ПДК для почв с целью предотвращения дальнейшего загрязнения сельскохозяйственной продукции.

5.3 О региональных ПДК свинца и кадмия в почвах агроландшафтов

Нормирование содержания тяжелых металлов в почве - один из наиболее важных и проблематичных вопросов экогеохимии. Лишь использование надежных, научно обоснованных критериев загрязнения почв обеспечивает достоверную эколого-геохимическую характеристику территории.

К настоящему времени накоплен значительный опыт определения ПДК как в нашей стране, так и за рубежом [Ильин, Сысо, 2001; Кабата-Пендиас, 1989; Лозановская, 1998; Методические..., 1987; Несвижская, 1985; Обухов, 1988]. Однако гигиеническая оценка компонентов окружающей природной среды давно подвергается справедливой критике. Это связано, прежде всего, с тем, что в ряде регионов страны фоновые содержания многих химических веществ (в т. ч. тяжелых металлов) близки или даже выше их нормированных концентраций. По мнению некоторых исследователей неверной является сама идея создания универсальных ПДК, единых, к примеру, для всех генетических типов почв. Применительно к почвам ПДК зависит, главным образом, от двух факторов: ландшафтно-геохимического, определяющего в первую очередь местные почвенные особенности и техногенного, суммирующего вид и степень техногенной нагрузки на почвенный покров [Закруткин и др., 1995]. Для обоснования теоретических аспектов разработки региональных ПДК в почве на основе биогеохимических критериев необходим анализ закономерности распределения химических элементов в системе почва — растение.

В соответствии с методикой, предложенной проф. В.Е. Закруткиным, нами был рассчитан нормированный коэффициент биологического поглощения

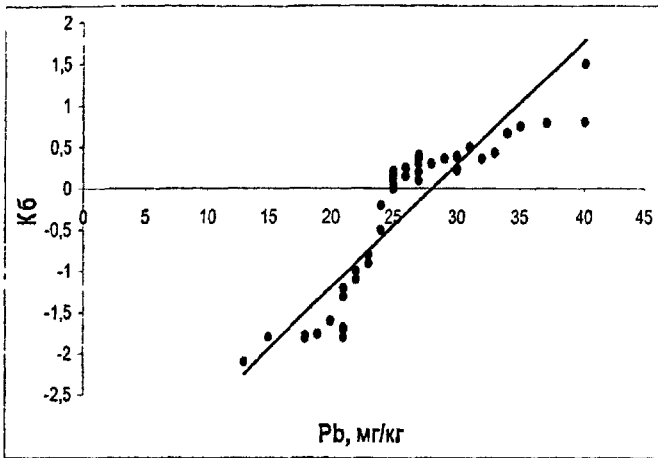


Рисунок 1. Зависимость Кб Рв в пшенице от его содержания в черноземах Ростовской области

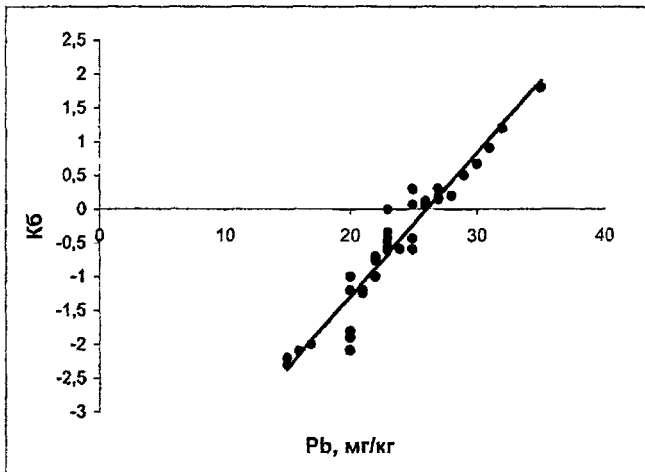


Рисунок 2. Зависимость Кб Рв в пшенице от его содержания в каштановых почвах Ростовской области

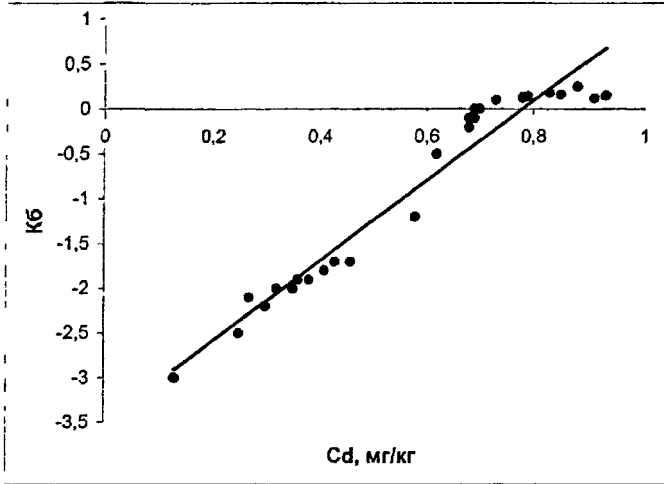


Рисунок 3. Зависимость Кб Cd в пшенице от его содержания в черноземах Ростовской области

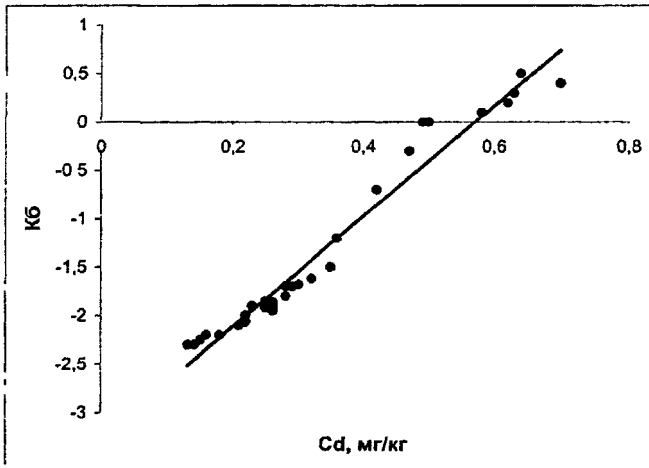


Рисунок 4. Зависимость Кб Cd в пшенице от его содержания в каштановых почвах Ростовской области

(представляющий собой отношение содержания элемента в растительности минус ПДК к содержанию элемента в почве: $K_6 = (C_p - \text{ПДК}) / C_n$) и построены графики зависимости содержания в растительности от содержания в почвах (рис. 1-4).

В качестве эталонной культуры для определения ПДК была выбрана озимая пшеница, выращенная на каштановых и черноземных почвах Ростовской области. Поскольку зависимость C_p от C_n часто носит нелинейный характер, однозначно построить графики не представляется возможным. В нашем случае все точки величин K_6 легли на некое поле значений; таким образом, можно провести линию тренда и определить значение региональной предельно допустимой концентрации (РПДК) элементов в почвах как абсциссу точки пересечения осредняющей кривой с линией $K_6 = 0$, а также решив уравнение регрессии, где значение РПДК равняется X.

Рассчитанные РПДК для озимой пшеницы, выращенной на территории Ростовской области, составили: для Cd ~ 0,8 мг/кг в черноземах; ~ 0,6 мг/кг в каштановых почвах; для Pb ~ 29 мг/кг в черноземах; ~ 27 мг/кг в каштановых почвах.

Основным достоинством предлагаемого метода установления региональных ПДК является его гибкость и универсальность, позволяющие разработать надежные, находящиеся в логическом соответствии с местным геохимическим фоном нормативы, учитывающие особенности биоаккумуляции химических элементов различными растительными видами. Методика определения РПДК базируется на объективных, реально существующих закономерностях поведения химических элементов в системе почва — растение.

Сфера применения данного метода широка и охватывает как корректировку имеющихся предельно допустимых концентраций, применительно к различным ландшафтно-геохимическим условиям, так и нормирование содержания химических элементов, ПДК которых еще не разработаны.

ГЛАВА 6. БАЛАНС МИГРАЦИОННЫХ ПОТОКОВ ЭЛЕМЕНТОВ В ПОЧВАХ АГРОЛАНДШАФТОВ

Существующая тенденция накопления тяжелых металлов в почвах сельскохозяйственных угодий вызывает необходимость регулярного контроля состояния микроэлементов в почвах и других средах (атмосфера, вода, растения, удобрения и т. д.), а в случае повышенного содержания химических элементов в объектах конкретных регионов - проводить систему агротехнических и агрохимических мероприятий, уменьшающих их подвижность и возможность поступления в растения.

В агрохимслужбе накапливается информация о содержании тяжелых металлов в почвах и растительной продукции, которая объективно

характеризует положение на сегодняшний день. Однако, очень важно разрабатывать прогнозы изменений содержания тяжелых металлов в сельскохозяйственных объектах, чтобы обоснованно проводить коренные и профилактические мероприятия по недопущению химического загрязнения почв и сельскохозяйственной продукции в будущем. Эти вопросы в определенной мере можно решать через знание баланса тяжелых металлов в агроценозах конкретных регионов.

На основе имеющихся методических подходов нами была предпринята попытка количественно оценить баланс геохимических потоков свинца и кадмия в агроландшафтах Ростовской области. Были рассмотрены богарные ландшафты, получившие наибольшее распространение на территории. Баланс элементов изучался применительно к водосборам малых рек. В качестве репрезентативных единиц были выбраны водосборы рек Кундрючья, Кагальник и правобережья Цимлянского водохранилища, отличающиеся как по природным факторам, так и по характеру антропогенной нагрузки. Для расчетов нами было предложено следующее уравнение баланса микроэлементов в почвах полевых неорошаемых ландшафтов:

$$B = \sum(MП + Атм. + АХ + ПР + ЭС) - \sum(Y + СС),$$

Положительные статьи баланса (привнос):

МП, ПР, ЭС — за счет почвоматеринских пород, припахивания и ветровой эрозии;

Атм., АХ—с атмосферными выпадениями и агрохимикатами;

Отрицательные стороны баланса (вынос):

У, СС — с урожаем и склоновым стоком.

Следует отметить, что данное уравнение справедливо для автономных элементарных агроландшафтов.

Глобальное и региональное поступление Pb и Cd из атмосферы определялось путем суммирования сухого (атмосферная пыль) и мокрого (осадки) потоков, причем были учтены как летние, так и зимние выпадения. Нагрузка, создаваемая поступлением каждого элемента в окружающую среду была рассчитана по формуле: $P = P_n \cdot C$, где P_n — среднесуточная пылевая нагрузка, C — концентрация элемента в пыли [Саг и др., 1990].

Другой источник поступления элементов в почву связан с применением средств химизации, прежде всего, с внесением в почву минеральных, органических и химических удобрений. В качестве дозы внесения удобрений был принят уровень 1991 г., когда количество применяемых удобрений уменьшилось, по сравнению с 80-ми г.г., но еще не достигло таких низких величин, как в конце 90-х.

Привнос элементов в верхний почвенный горизонт за счет почвоматеринских пород рассчитывался на основании поведения «элементов-свидетелей» (Ti и Zr), которые являются малоподвижными и практически не выносятся в процессе почвообразования. Для оценки интенсивности миграции

элементов нами использовался метод количественной оценки выноса элементов, предложенный А. Меррилом [Геохимия., 1968].

При учете эоловой составляющей в приходной статье баланса нами использовались литературные данные [Van der Salm и др., 1996].

Химические элементы в верхний почвенный горизонт поступают не только извне, но и из нижележащего почвенного горизонта за счет его постоянного припахивания, учитываемого нами в приходной части баланса. Припахивание же является ответом на разрушительное действие водной эрозии. Поскольку мощность пахотного горизонта стабильна, из-за уменьшения ее при плоскостном смыве происходит постоянное припахивание нижележащего горизонта на такую же глубину [Шишкина, 2000].

Биологический вынос элементов с урожаем в значительной степени обусловлен величиной урожая и содержанием металлов в сельскохозяйственных растениях. В нашем случае он определялся в условиях выращивания доминирующей в области культуры — озимой пшеницы — при ее урожайности 30,6 ц/га [Лобанов и др., 1997]. Рассчитывалось отчуждение химических элементов с соломой и зерном.

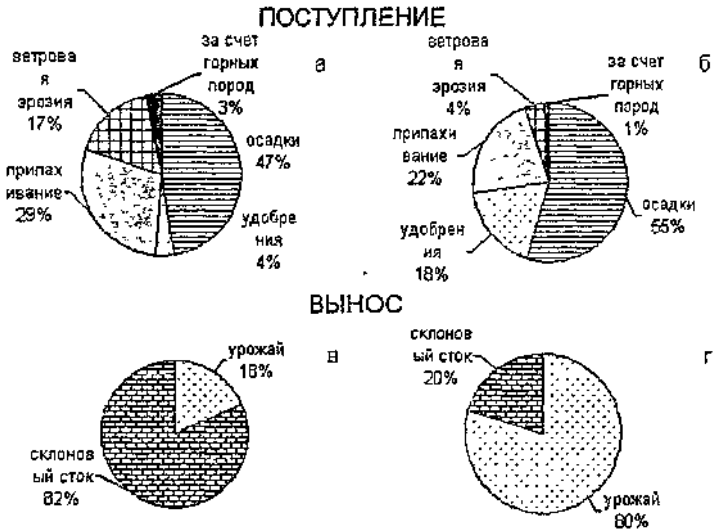


Рисунок 5. Баланс элементов в полевых неорошаемых ландшафтах водосбора р. Кундрючья (а, в - Pb; б, г- Cd)

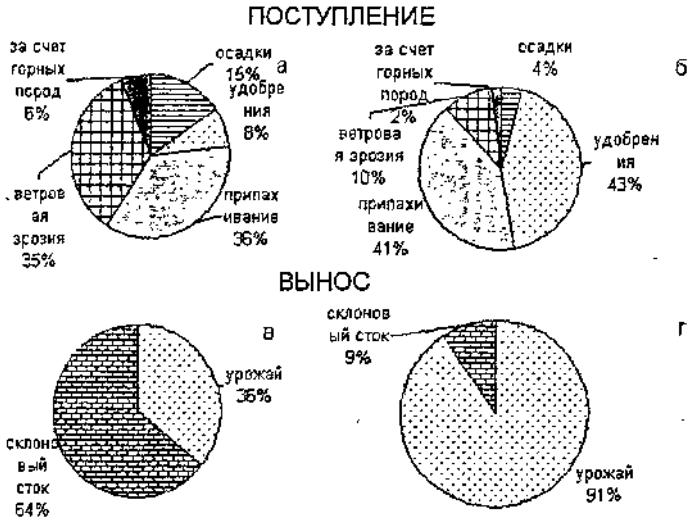


Рисунок 6. Баланс элементов в полевых неорошаемых ландшафтах водосбора р. Кагальник (а, в – P_в; б, г – С_д)

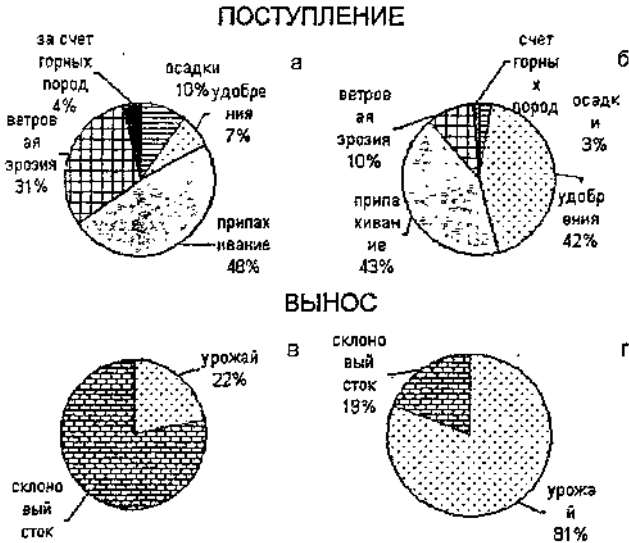


Рисунок 7. Баланс элементов в полевых неорошаемых ландшафтах водосбора правобережья Цимлянского водохранилища (а, в – P_в; б, г – С_д)

Масса почвы, теряемая при волной эрозии, определялась как средневзвешенное значение на основе данных о степени эродированности и величины ежегодного смыва для каждой из категорий эродированности [Дмитриенко и др., 1993]. Принимая во внимание, что средняя плотность пахотного горизонта 1,2 г/см, нами была рассчитана мощность смываемой почвы (мм/год) для каждого водосбора.

Результаты проведенных исследований показали, что в почвах полевых неорошаемых ландшафтов области складывается положительный баланс свинца и кадмия. Для водосборов он составил (г/га): +428,02 для Pb и +8,05 для Cd — водосбор р. Кундрючья; +198,4 для Pb и +2,01 для Cd — водосбор р. Кагальник; +194,4 для Pb и +2,3 для Cd — водосбор правобережья Цимлянского водохранилища.

Как известно, в последние годы значительно сократились объемы внесения удобрений в почву. В результате, можно говорить о тенденции снижения интенсивности накопления элементов, в частности кадмия, в почвах агроландшафтов. Однако, в настоящее время, наряду с незначительным загрязнением почвенного покрова свинцом и отсутствием загрязнения кадмием, на территории Ростовской области наблюдается практически повсеместное загрязнение зерновых культур этими металлами. Следовательно, снижение количества удобрений, вносимых в почву, лишь незначительно сократит поступление элементов в с/х растительность.

Итак, в почвах полевых неорошаемых ландшафтов Ростовской области складывается положительный баланс свинца и кадмия. Абсолютные величины баланса различаются вследствие различных показателей урожайности, эрозии, а также аэротехногенной нагрузки на территорию.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Главные результаты проведенных исследований сводятся к следующему:

1. На основании результатов эколого-геохимического опробования М 1:500 000 составлены карты распределения Cd и Pb в верхнем почвенном горизонте Ростовской области.

2. Анализ геохимических параметров распределения свинца и кадмия в почвах агроландшафтов Ростовской области позволяет ранжировать их по уровню антропогенного преобразования следующим образом: сады и виноградники > полевые орошаемые > полевые богарные. Полученный результат объясняется более интенсивным антропогенным воздействием (орошение, подкормка деревьев) в пределах первых двух типов агроландшафтов.

3. При формировании и дальнейшем функционировании почв агроландшафтов прослеживается тенденция к накоплению в них Pb и Cd по сравнению с региональным педогеохимическим фоном.

4. Радиальное распределение Pb и Cd в почвах характеризуется аккумуляцией преимущественно в гумусовом горизонте или в степном войлоке. В остальном поведение элементов подчиняется характерной для них закономерности слабого уменьшения концентраций с глубиной.

5. Особенности латеральной дифференциации Pb и Cd в пределах черноземных почв заключаются в преимущественном накоплении элементов в нижних звеньях *КЛГС*, главным образом в пределах трансаккумулятивных ландшафтов.

6. Результаты опробования почв придорожных ландшафтов позволяют говорить о возможной тенденции образования вторичных геохимических ореолов свинца и кадмия в почвах, за счет перераспределения тяжелых металлов в результате миграции.

7. В пределах Ростовской области установлен процесс интенсивного накопления растениями изучаемых элементов, что подтверждается переходом свинца и кадмия, согласно классификации А.И. Перельмана, в группы энергичного биологического накопления и сильного биологического захвата элементов соответственно.

8. Эколого-геохимическая оценка сельскохозяйственной продукции показала контаминацию свинцом 41 % проб пшеницы, 60 % проб ячменя, 38 % проб ржи, 100 % проб риса, 100 % проб подсолнечника, 87 % проб кукурузы и кадмием 25 % проб пшеницы, 14 % проб ячменя, 9 % проб ржи, 15 % проб подсолнечника и 12 % проб кукурузы. Кроме того, в овощах и фруктах превышены предельно допустимые концентрации свинца. На основании полученных результатов можно говорить о возможности дальнейшего тотального загрязнения с/х продукции тяжелыми металлами.

9. Одной из рекомендаций по предотвращению дальнейшего загрязнения сельскохозяйственных культур является ужесточение почвенных ПДК путем введения региональных предельно допустимых концентраций, рассчитанных с учетом типа почв и произрастающей на них с/х продукции. Разработаны РПДК для черноземных и каштановых почв.

10. Результаты балансово-геохимических расчетов позволили установить, что в пределах полевых неорошаемых ландшафтов складывается положительный баланс свинца и кадмия, обусловленный интенсивной антропогенной нагрузкой.

СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1. Особенности распределения микроэлементов в почвах агроландшафтов малых водосборов Ростовской области // Проблемы геологии и освоения недр. Труды V Международного симпозиума имени академика М.А. Усова. - Томск. STT., 2001. - С. 549.

2. Некоторые особенности распределения свинца в агроландшафтах Ростовской области // Труды аспирантов и соискателей РГУ. Ростов-на-Дону. - Том IX. 2003. - С. 120-123.
3. Методические указания к лабораторным занятиям по курсу «Геохимические методы поисков месторождений твердых полезных ископаемых» для студентов IV курса специальности 080100 «Геологическая съемка и поиск МПИ» — Ростов-на-Дону. УПЛ РГУ, 2004. — 37 с. (в соавторстве с Шишкиной Д.Ю.).
4. Нормирование содержания свинца и кадмия в почвах агроландшафтов Ростовской области // Материалы III Международной научно-практической конференции «Проблемы геологии, полезных ископаемых и рационального природопользования». — Новочеркасск. 26 ноября, 2004. - С. 16-18.
5. Баланс миграционных потоков свинца и кадмия в агроландшафтах водосбора р. Кундрючья Ростовской области. // Материалы III Международной научно-практической конференции «Проблемы геологии, полезных ископаемых и рационального природопользования». — Новочеркасск. 26 ноября, 2004. — С. 18-20.
6. Дифференциация химических элементов в почвах пахотных ландшафтов в процессе агрогенеза // Материалы III Международной научно-практической конференции «Проблемы геологии, полезных ископаемых и рационального природопользования». — Новочеркасск. 26 ноября, 2004. — С. 20-22 (в соавторстве с Шишкиной Д.Ю.).
7. Методические указания к лабораторным занятиям по курсу «Теория и практика эколого-геохимических исследований» для студентов V курса специальности 011400 «Гидрогеология и инженерная геология» — Ростов-на-Дону. УПЛ РГУ, 2005. — 21 с.
8. Баланс миграционных потоков свинца и кадмия в агроландшафтах Ростовской области // Научный альманах Южного федерального округа. Вып. 2. - Ростов-на-Дону. РГУ, 2005. — С. 29-32.
9. Особенности распределения тяжелых металлов в почвах агроландшафтов малых водосборов (на примере рек Кундрючья и Кагальник Ростовской области) // Изв. Вузов. Сев.-Кавк. регион. Естеств. Науки. 2005, №2, С. 86-92. (в соавторстве с Закруткиным В.Е., Шишкиной Д.Ю., Заболотной О.Н.).

Подписано в печать 20.04 05
Формат 60x84/16. Бумага газетная. Печать офсетная.
Объем 1,0 печ.л. Тираж 100 экз. Заказ №2-63
Ротапринт. 344082, г. Ростов-на-Дону, ул. Б. Садовая, 33



19 MAR 2005