

На правах рукописи



ГОРОХОВА Анна Геннадьевна

**РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ (Cu, Zn, Ni, Pb) И
МЫШЬЯКА (As) В ПРИРОДНЫХ СРЕДАХ И БИОЛОГИЧЕСКИХ
ОБЪЕКТАХ ПРАВОБЕРЕЖНОЙ ЧАСТИ ВОДОСБОРНОЙ ПЛОЩАДИ
ПЕНЗЕНСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА**

Специальность 03.02.08 – экология (биология)

**Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата биологических наук**

Пенза – 2013

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Пензенский государственный университет» на кафедре «Техносферная безопасность».

Научный руководитель – доктор биологических наук, профессор
Иванов Александр Иванович.

Официальные оппоненты: **Аканова Наталья Ивановна,**
доктор биологических наук, профессор,
главный научный сотрудник лаборатории
химической мелиорации
ГНУ «Всероссийский научно-
исследовательский институт агрохимии
имени Д.Н. Прянишникова» Российской
академии сельскохозяйственных наук;
Полянскова Екатерина Александровна,
кандидат биологических наук,
ФГБОУ ВПО «Пензенский
государственный технологический
университет», доцент кафедры
«Биотехнологии и техносферная
безопасность».

Ведущая организация – ФГБОУ ВПО «Саратовский
государственный аграрный университет
имени Н.И. Вавилова».

Защита диссертации состоится 25 декабря 2013 г. в 16 часов на заседании диссертационного совета ДМ 212.337.02 на базе ФГБОУ ВПО «Пензенский государственный технологический университет» по адресу: 440039, г. Пенза, пр. Байдукова / ул. Гагарина, д. 1а/11, корпус 1, конференц-зал.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГОУ ВПО «Пензенский государственный технологический университет».

Автореферат разослан 25 ноября 2013 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета



Якхинд Михаил Ильич

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Одной из важнейших проблем системной экологии является изучение биогеохимических циклов химических элементов. Это обусловлено тем, что рост населения, развитие промышленности и сельскохозяйственного производства достигли таких масштабов, когда вся биосфера в той или иной степени испытывает техногенное воздействие. В результате сбросов и выбросов различных поллютантов изменяются концентрации химических элементов во всех природных средах, что приводит к изменениям биогеохимических циклов. Для того чтобы фиксировать эти изменения, необходимо опираться на базовые количественные показатели содержания химических элементов в природных средах в определенный временной период.

В связи с тем, что каждый регион имеет свои геохимические особенности, а также в разной степени подвергается антропогенному воздействию, для создания глобальной базы данных экологического мониторинга необходимы региональные исследования. Особенно это актуально для тех регионов страны, где экосистемы в этом направлении еще недостаточно изучены, и Пензенская область относится к их числу. Для исследований была выбрана центральная часть водосборной площади правобережья Пензенского водохранилища. Изучение содержания тяжелых металлов (Cu, Zn, Ni, Pb) и мышьяка (As) в природных средах этой территории имеет большое практическое значение для района, так как водохранилище является основным источником водоснабжения города Пензы.

Целью исследования является изучение закономерностей распределения Cu, Zn, Ni, Pb и As в природных средах и биологических объектах в условиях лесных экосистем правобережной части Пензенского водохранилища для типизации экосистемы и последующей разработки принципов и практических мер, направленных на охрану живой природы.

Для достижения поставленной цели сформулированы и решены следующие задачи.

1. Определить отличия разных подтипов почв, находящихся под лесной растительностью, по содержанию Cu, Zn, Ni, Pb и As и закономерности распределения этих элементов по почвенным профилям.

2. Изучить зависимости содержания Cu, Zn, Ni, Pb и As в почвах от количества органического вещества и гранулометрического состава.

3. Исследовать сезонную динамику содержания Cu, Zn, Ni, Pb и As в изучаемых подтипах почв.

4. Определить концентрации Cu, Zn, Ni, Pb и As в водных объектах и выяснить их сезонную динамику.

5. Выяснить характер накопления Cu, Zn, Ni, Pb и As растениями и грибами и дать количественную оценку этого процесса.

Научная новизна. Впервые для района исследований изучены зависимость концентраций Cu, Zn, Ni, Pb и As от гранулометрического состава почвы и содержания в ней органического вещества, а также сезонная динамика изме-

нений концентраций этих элементов. Исследованы количественные аспекты накопления Cu, Zn, Ni, Pb и As биологическими объектами.

Практическая значимость исследований. Данные, полученные в результате исследования, могут быть использованы в качестве базовых показателей при оценке возможного воздействия на окружающую среду проектируемых промышленных объектов и при разработке практических мер, направленных на охрану живой природы. Сведения по сезонной динамике концентраций исследуемых элементов представляют большой интерес с точки зрения интерпретации данных мониторинга почв. Исследования закономерностей накопления Cu, Zn, Ni, Pb и As в биоресурсах могут быть использованы при организации мониторинга лесных экосистем Пензенской области.

Реализация и внедрение результатов исследований. Теоретические положения и результаты исследований используются в учебном процессе кафедр «Техносферная безопасность» ФГБОУ ВПО «Пензенский государственный университет» и «Биология и экология» ФГБОУ ВПО «Пензенская государственная сельскохозяйственная академия» при чтении лекций по дисциплинам «Экология» и «Методы экологических исследований». Фоновые значения массовых концентраций тяжелых металлов и мышьяка используются при обработке и интерпретации результатов количественного химического анализа проб природных сред Центральной экоаналитической лабораторией Регионального центра государственного экологического контроля и мониторинга по Пензенской области (РЦГЭКиМ по Пензенской области) Федерального бюджетного учреждения «Государственный научно-исследовательский институт промышленной экологии».

Основные положения, выносимые на защиту:

1. Закономерности содержания Cu, Zn, Ni, Pb и As в изученных подтипах почв в зависимости от количества органического вещества, гранулометрического состава и от времени года.
2. Установленные зависимости содержания Cu, Zn, Ni, Pb и As в водотоках от химического состава пород, слагающих водоносные горизонты в районе исследований.
3. Результаты количественной оценки накопления Cu, Zn, Ni, Pb и As в биологических объектах района исследований (древесине, травянистых растениях, дереворазрушающих и напочвенных грибах).

Апробация работы. Материалы диссертации докладывались и обсуждались на XLII и XLIII научных конференциях «Актуальные вопросы теории и практики РХБ защиты» (Вольск-18, 2012, 2013), 14-м Международном научно-промышленном форуме «Великие реки (экологическая, гидрометеорологическая, энергетическая безопасность)» (Нижний Новгород, 2012).

Публикации. Основные положения диссертационной работы и результаты исследований изложены в 10 публикациях, включая 4 статьи в рецензируемых научных журналах, рекомендованных ВАК.

Личный вклад автора. Экспериментальные результаты, приведенные в диссертации, получены автором самостоятельно. Автор лично осуществлял отбор проб природных сред и биоматериала; проводил экспериментальные исследе-

дования, обрабатывал, интерпретировал и обобщал полученные результаты; формулировал выводы. В совместных публикациях вклад автора составил от 60 до 70 %.

Объем и структура диссертации. Диссертация состоит из введения, 5 глав, выводов и рекомендаций производству. Работа изложена на 128 страницах машинописного текста, содержит 8 таблиц, 38 рисунков, 2 приложения. Список использованной литературы включает 205 источников, в том числе 44 – на иностранных языках.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **введении** обоснована актуальность работы, сформулированы цель и задачи исследования, раскрыты научная новизна и практическая значимость исследования. Представлены положения, выносимые на защиту.

ГЛАВА 1. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

Проведен анализ современного состояния проблемы загрязнения окружающей среды тяжелыми металлами и мышьяком. Показаны особенности поведения исследуемых химических элементов в различных природных средах, представлены их токсикологические характеристики. Описаны особенности элементного загрязнения окружающей среды и методические подходы к оценке его воздействия.

Рассмотрены природные условия района исследований. Описаны особенности климата, рельефа, гидрологии, почвенного покрова и растительности.

ГЛАВА 2. МЕТОДЫ И МАТЕРИАЛЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Объектом исследований являлись пробы почв, воды, донных отложений и биоматериала, отобранные на правобережной части водосборной площади Пензенского водохранилища.

Для изучения содержания металлов в серых лесных (темно-серая, светло-серая, серая лесная контактно-луговая) и болотно-торфянисто-глеевых почвах отбор проб осуществлялся на территории Засурского лесничества Пензенского района Пензенской области в пределах водосборной площади правобережья Пензенского водохранилища. Были выбраны места пробоотбора с характерными для каждого вида почв условиями (материнская порода, растительность, рельеф и другие условия почвообразования).

Исследования проводились с апреля по октябрь в 2008–2012 гг.

Для определения массовых концентраций валового содержания тяжёлых металлов использовался метод рентгенофлуоресцентной спектрометрии с волновой дисперсией. Определение осуществлялось согласно методике измерений М049-П/04 при помощи рентгенофлуоресцентного спектрометра Спектроскан-Макс GF1E.

Для определения кислоторастворимых форм тяжелых металлов использовался метод атомно-абсорбционной спектрометрии с электротермической атомизацией согласно методике измерений М-МВИ-80-2008 при помощи спектро-

метра МГА-915М. Кислотную экстракцию металлов из почв для перевода металлов в раствор осуществляли согласно РД 52.18.191-89.

Для определения массовых концентраций Cu, Zn, Ni, Pb и As в пробах природных вод использовались методики измерений, допущенные для целей государственного экологического контроля и входящие в «Перечень методик, внесенных в государственный реестр методик количественного химического анализа». Определение проводили при помощи фотометра фотоэлектрического КФК-3-01.

В биоматериале массовые концентрации Cu, Zn, Ni, Pb и As определяли методом рентгенофлуоресцентной спектromетрии с волновой дисперсией после процедуры пробоподготовки и таблетирования образцов на спектрометре «Спектроскан Макс-GF1E».

Полученные данные по содержанию исследуемых веществ подвергались математико-статистической обработке с помощью пакетов прикладных программ (табличного процессора «Microsoft Office Excel 2003», профессионального пакета для обработки и анализа статистической информации «Statistica V5.5A») и сравнивались со средними фоновыми показателями для серых лесных почв Пензенской области, рассчитанными на основе данных ФГБУ НПО «Тайфун», Росгидромета, а также с учетом принятых для них ПДК.

ГЛАВА 3. ИССЛЕДОВАНИЕ СОДЕРЖАНИЯ Cu, Zn, Ni, Pb И As В ПОЧВАХ

Почва – важнейший компонент всех наземных биценозов и биосферы в целом. Через почвенный покров идут многочисленные связи всего живого с литосферой, гидросферой и атмосферой. Основой почвы являются почвенные минералы, составляющие до 90 % веса, кроме минералов присутствует органическое вещество в виде гумуса.

Для изучения состояния почв были выбраны пробные площадки с характерными условиями (материнская порода, растительность, рельеф и другие условия почвообразования). На каждой из них были изучены морфологические особенности строения почвенного профиля, описание которых проводили в соответствии с ГОСТ 27593-88, площадки имели следующие характеристики.

Площадка 1. Почва темно-серая лесная среднемошная тяжелосуглинистая с содержанием: органического вещества – 6–7 %, физической глины – 45 %, физического песка – 48 %; pH – 5,0.

Площадка 2. Почва серая лесная контактно-луговая легкосуглинистая с содержанием: органического вещества – 4,5 %, физического песка – 65 %, физической глины – 30,5 %; pH – 5,5.

Площадка 3. Почва светло-серая лесная супесчаная, среднемошная с содержанием: органического вещества – 2,5 %, физического песка – 91 %, физической глины – 6,5 %; pH – 6,1.

Площадка 4. Почва светло-серая лесная супесчаная, маломощная с содержанием: органического вещества – 1,5 %, физического песка – 91 %, физической глины – 7,5 %; pH – 4,5.

Площадка 5. Почва болотно-торфянисто-глеевая маломощная с содержанием: органического вещества – 15 %, физического песка – 74 %, физической глины – 11 %; pH – 3,5.

Результаты изучения валового содержания Cu, Zn, Ni, Pb и As в почвах площадок в течение 2008–2012 гг. представлены в таблице 1.

Таблица 1. Средние содержания Cu, Zn, Ni, Pb и As в почвах района исследований в 2008–2012 гг.

Подтип почвы	Содержание металлов, мг/кг				
	Cu	Zn	Ni	Pb	As
Темно-серая лесная среднемощная тяжелосуглинистая	50,80±17,60	72,01±14,69	32,01±13,13	23,51±10,49	12,04±5,68
Серая лесная контактно-луговая легкосуглинистая	51,0±13,82	70,03±19,16	32,00±12,64	25,03±12,62	11,31±6,61
Светло-серая лесная супесчаная, среднемощная	20,10±7,13	80,06±27,63	11,20±7,31	29,01±11,35	9,52±4,75
Светло-серая лесная супесчаная, маломощная	20,02±8,44	81,10±32,10	10,51±5,66	38,52±11,77	9,51±3,28
Болотно-торфянисто-глеевая маломощная	58,01±15,65	51,3±12,63	9,31±4,82	53,02±20,41	17,11±7,92
Фоновая концентрация для всех почв (95 процентиль)	26	61	10	48	13
НСР _{0,05}	14,62	12,83	7,61	9,35	3,65

На основе анализа полученных результатов исследований содержания Cu, Zn, Ni, Pb и As и изучения строения почвенного профиля были выявлены различные зависимости распределения рассматриваемых элементов от количества органического вещества, гранулометрического состава и времени отбора проб.

Исследование закономерностей распределения меди в почвах. При определении валового содержания Cu в почвах района исследований наблюдалось ее максимальное накопление в горизонте А, которое происходит за счет разложения опавшей листвы. Перенос Cu в другие почвенные горизонты незначителен. В особенности это наблюдается в болотно-торфянисто-глеевых почвах, где благодаря высокой поглотительной способности торфа ионы Cu оказываются прочно связаны органическими соединениями, задерживаются в горизонте А и не переносятся в нижележащие горизонты. Таким образом, максимальных значений валового содержания Cu достигает в болотно-торфянисто-глеевых почвах – 58,01 мг/кг, немного меньше – в темно-серых тяжелосуглинистых и легкосуглинистых серых лесных контактно-луговых почвах – 50,80 мг/кг, минимальные количества – в средне- и маломощных супесчаных почвах – 20,02 мг/кг.

Корреляционный анализ позволяет установить зависимость содержания Cu от количества органического вещества в почве ($r=0,80$), которая свидетельствует о том, что изменение химических характеристик почвы тесно связано с концентрацией Cu (рис. 1).

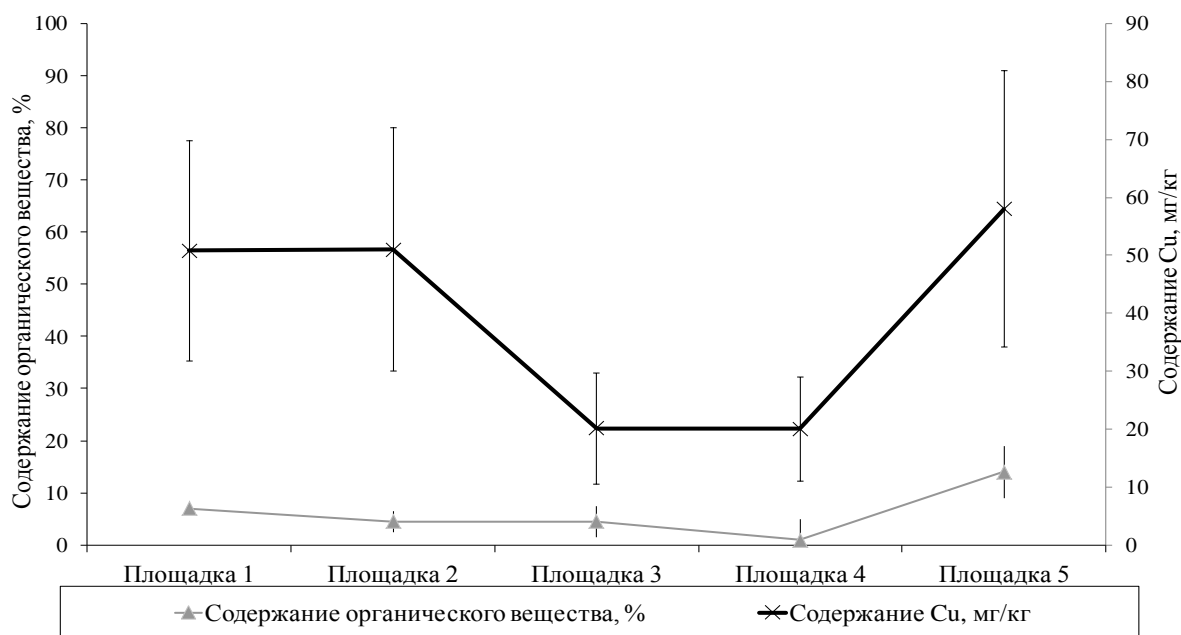


Рис. 1. Зависимость содержания Cu от содержания органического вещества почвы

Растения активно поглощают Cu в связи с тем, что ее соединения входят в состав хлоропластов листьев. Их распускание и рост создает повышенную потребность в этом элементе (Лир и др., 1974). На всех пробных площадках проявлялась одна и та же закономерность – максимальные концентрации наблюдаются весной, минимальные – осенью. Описанная динамика связана с биогенной миграцией этого элемента.

Анализ данных валового содержания Cu в почвах района исследований по сезонам показал, что оно изменяется в течение вегетационного периода (рис. 2).

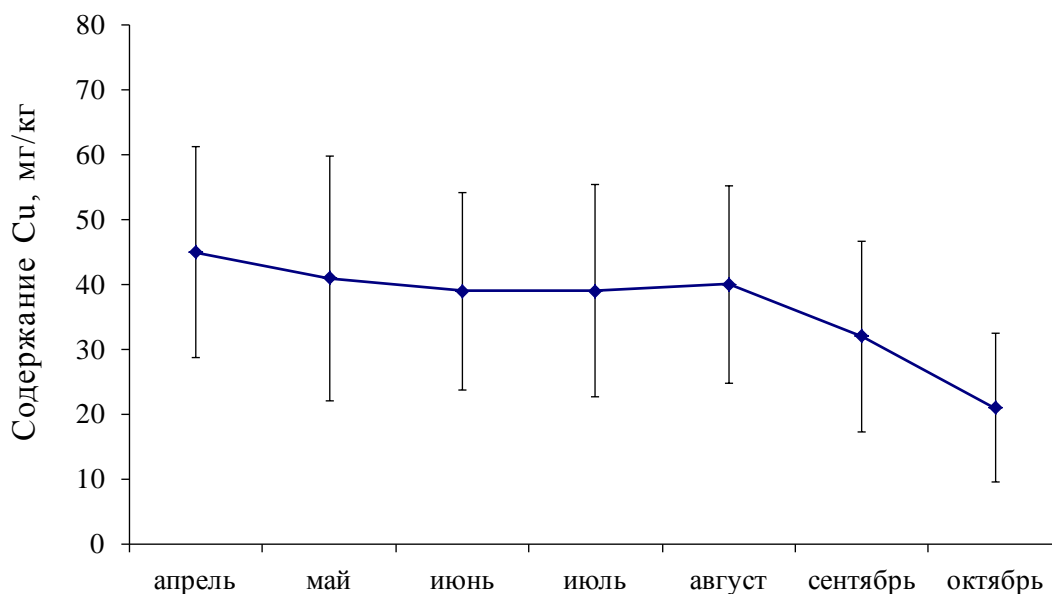


Рис. 2. Сезонная динамика содержания Cu в почвах района исследований

Таким образом, в течение всего вегетационного периода происходит снижение концентраций Cu в почве. После листопада этот процесс приостанавливается, так как начинается разложение подстилки и разрушение сложных металлоорганических комплексов до простых растворимых в воде соединений,

которые вымываются в корнеобитаемый слой почвы при таянии снега в первой половине апреля.

По содержанию кислоторастворимых форм Си изучаемые почвы существенно отличаются друг от друга. Максимальные концентрации зафиксированы для тяжелосуглинистых и среднесуглинистых почв, минимальные – для супесчаных и болотно-глеевых почв. Полученные нами результаты позволяют заключить, что содержание данных форм Си зависит от содержания глинистой фракции в почве. Низкое содержание подвижных форм Си в торфяно-болотно-глеевых почвах определяет в этих условиях недоступность данного элемента для растений (Кауричев, 1975).

Для изучения распределения валового содержания рассматриваемых элементов по почвенным горизонтам на выбранных площадках были заложены почвенные разрезы. При анализе данных валового содержания Си по почвенным горизонтам было выделено три типа распределения. К первому типу относятся темно-серые среднemosные тяжелосуглинистые и серые лесные контактно-луговые легкосуглинистые почвы. Максимальные концентрации Си наблюдаются в почвенных образцах, взятых из горизонтов В и С, что объясняется наличием в материнской породе бескарбонатной глины, в состав минералов которой входит Си. Второй тип распределения характерен для светло-серых лесных супесчаных почв. Здесь Си концентрируется только в горизонте А за счет сорбционной способности содержащегося в ней органического вещества. Третий тип распределения наблюдается в болотно-торфяно-глеевой почве. Максимальное содержание Си наблюдается в богатом органикой горизонте А, в глеевом горизонте В оно снижается, а в горизонте С, состоящем из песка, оно становится минимальным (рис. 3).

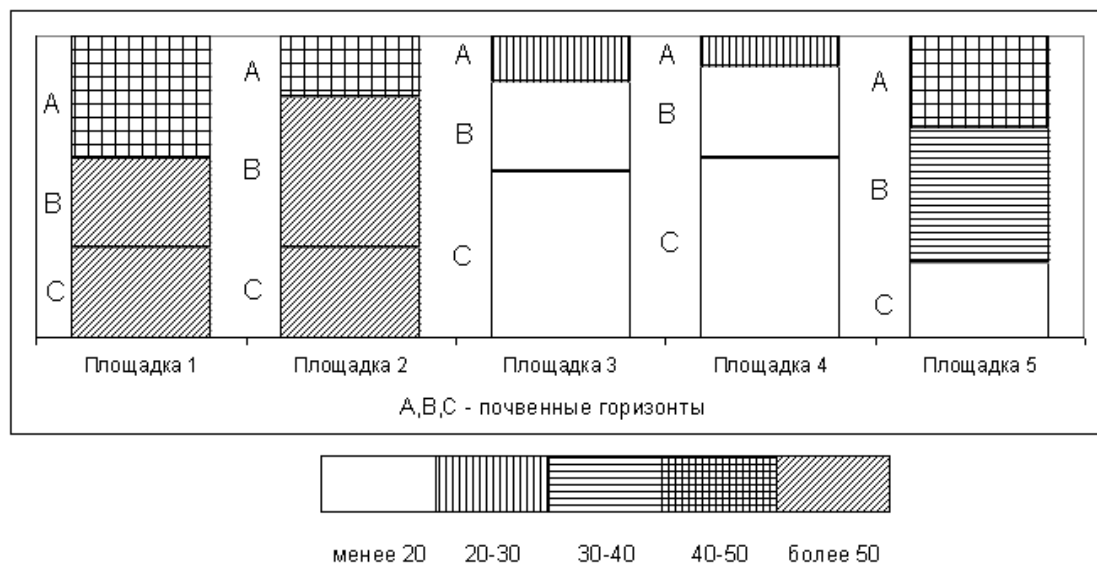


Рис. 3. Распределение валового содержания Си по почвенным горизонтам (мг/кг)

Исследование закономерностей распределения цинка в почвах. Согласно архивным данным РЦГЭКиМ по Пензенской области, для песков верхнего палеогена, на которых формируются светло-серые лесные почвы, характерно высокое содержание Zn. Поэтому максимальных показателей валовое содержание достигает в светло-серых средне- и маломощных супесчаных почвах – 80,06 и 81,10 мг/кг соответственно, минимальных – в торфяно-болотно-глеевых – 51,30 мг/кг. Для суглинистых темно-серых и серых лесных почв характерны средние показатели – 71,01 и 70,03 мг/кг соответственно. Корреляционный ана-

лиз подтверждает зависимость содержания Zn в почвах от содержания в них физического песка ($r=0,67$, $p=0,05$) (рис. 4).

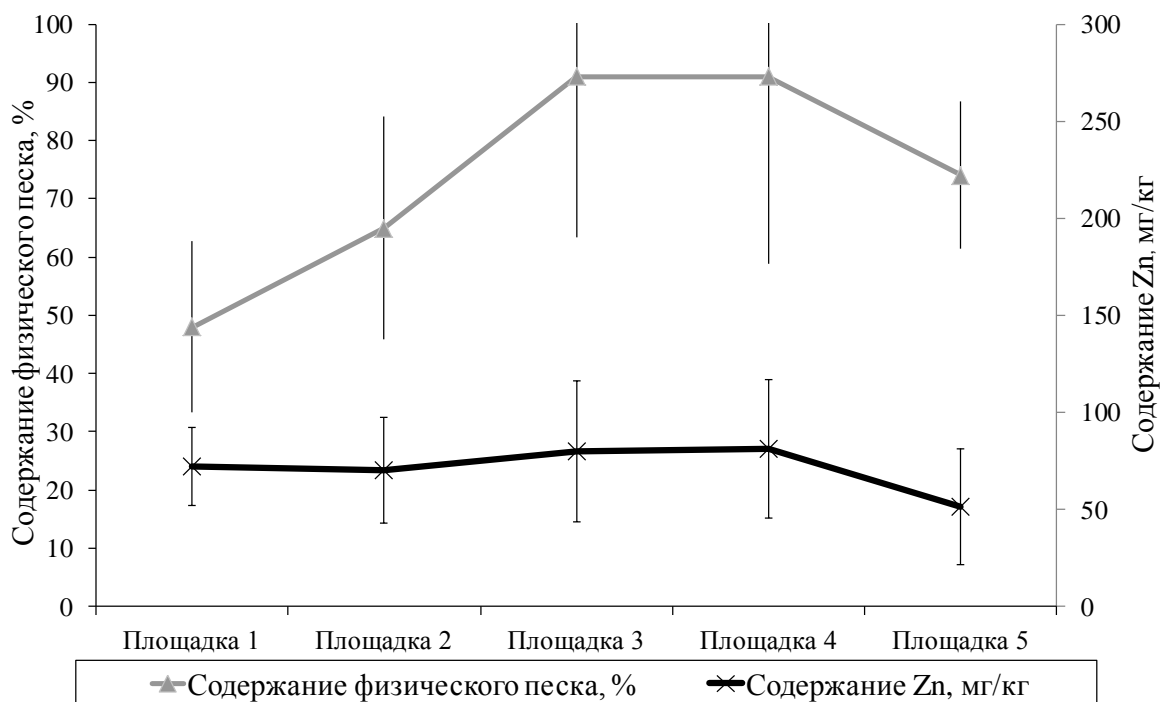


Рис. 4. Зависимость содержания Zn от содержания физического песка

Сравнение концентраций валового содержания Zn в почвах района исследований по сезонам показало, что они изменяются в течение вегетационного периода. Во всех местах пробоотбора проявилась одна и также закономерность: максимальные концентрации наблюдаются весной, минимальные – осенью. Это связано с вовлечением Zn в биогеохимический цикл (Рубин, 1976). Описанная динамика сходна с динамикой содержания Cu в почвах района исследований (рис. 5).

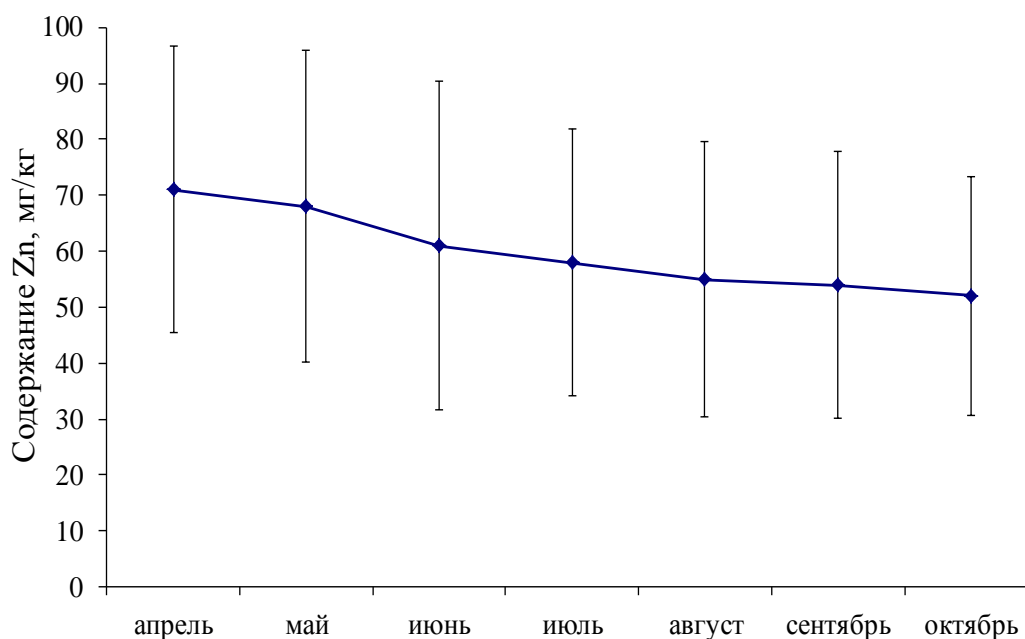


Рис. 5. Сезонная динамика содержания Zn в почвах района исследований

По содержанию кислоторастворимых форм Zn изучаемые почвы существенно отличаются друг от друга. Для светло-серых супесчаных почв, содержащих максимальные концентрации валового содержания Zn, содержание кислоторастворимых форм оказалось минимальным. Это объясняется тем, что супеси имеют минимальную сорбционную способность и обеспечивают легкость миграции подвижных форм вниз из верхних горизонтов почвы. Максимальное содержание характерно для темно-серых тяжелосуглинистых и торфяно-болотно-глеевых почв. Серые лесные легкосуглинистые почвы занимают среднее положение. Это позволяет сделать вывод о том, что содержание кислоторастворимых форм Zn зависит от содержания в почве органического вещества и ее сорбционной способности.

Распределение Zn по почвенным горизонтам происходит по трем типам. Для темно-серых среднетощих тяжелосуглинистых почв и серых маломощных контактно-луговатых легкосуглинистых почв максимальное содержание Zn наблюдается в горизонте А, минимальное – в горизонтах В и С. В светло-серых супесчаных почвах каких-либо отличий в содержании изучаемого элемента по почвенным горизонтам не обнаружено. В болотно-торфяно-глеевых почвах минимальное содержание Zn отмечается в горизонте А, среднее содержание – в горизонте В, максимальное – в материнской породе С, представленной песками, имеющими такой же генезис, что и в разрезах 3–4 (рис. 6).

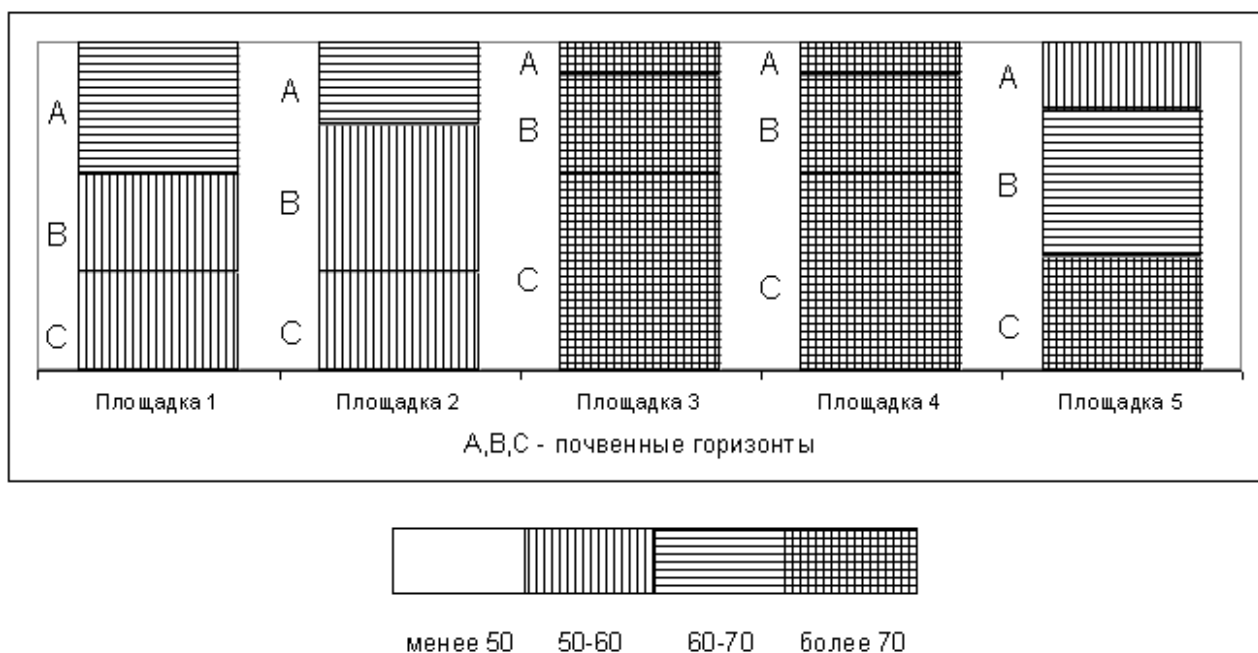


Рис. 6. Распределение Zn по горизонтам изученных подтипов почв (мг/кг)

Исследование закономерностей распределения никеля в почвах. Для бескарбонатных глин, на которых формируются тяжело- и легкосуглинистые почвы, характерно высокое содержание Ni. Поэтому максимальных показателей валовое содержание Ni достигает в темно-серых лесных тяжелосуглинистых среднетощих почвах и серых лесных легкосуглинистых контактно-луговатых почвах – 32,01 мг/кг. Для светло-серых лесных супесчаных и торфяно-болотно-глеевых почв эти показатели ниже в три и более раз – 9,31–11,2 мг/кг. Досто-

верность связи содержания Ni с гранулометрическим составом подтверждается результатами корреляционного анализа ($r=0,97$, $p=0,05$) (рис. 7).

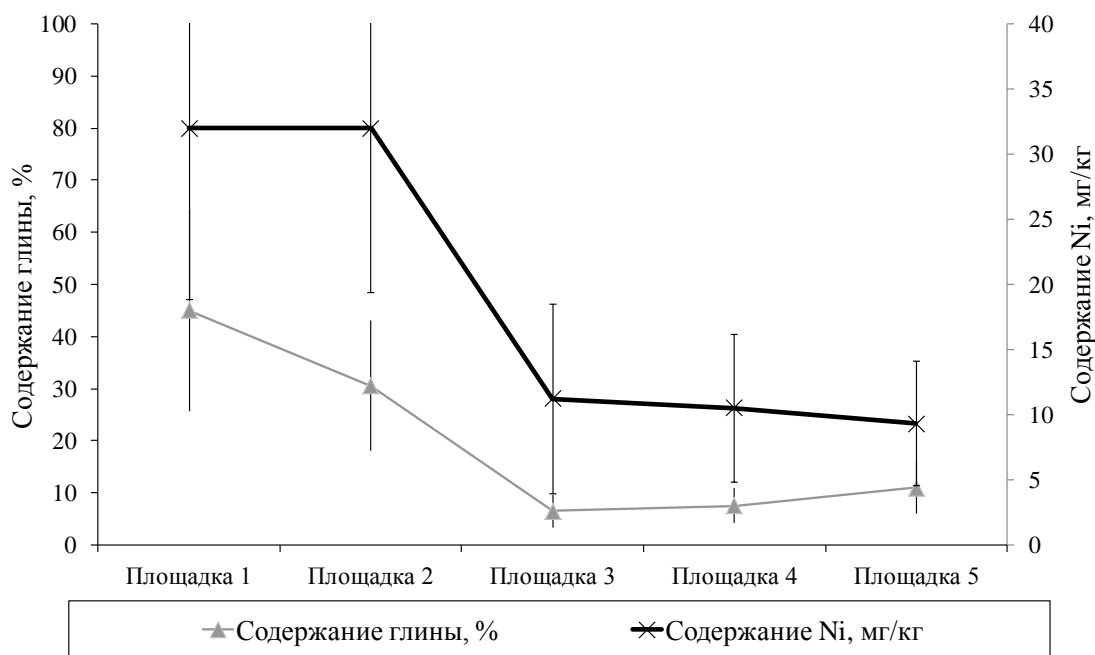


Рис. 7. Зависимость содержания Ni от содержания глины

Во всех местах пробоотбора содержание Ni в разные сезоны остается достаточно стабильным. Он входит в состав некоторых ферментов растений и значимость его по сравнению с Cu и Zn оказывается намного ниже. Вероятно, по этой причине биогенную миграцию Ni проследить не удастся (рис. 8).

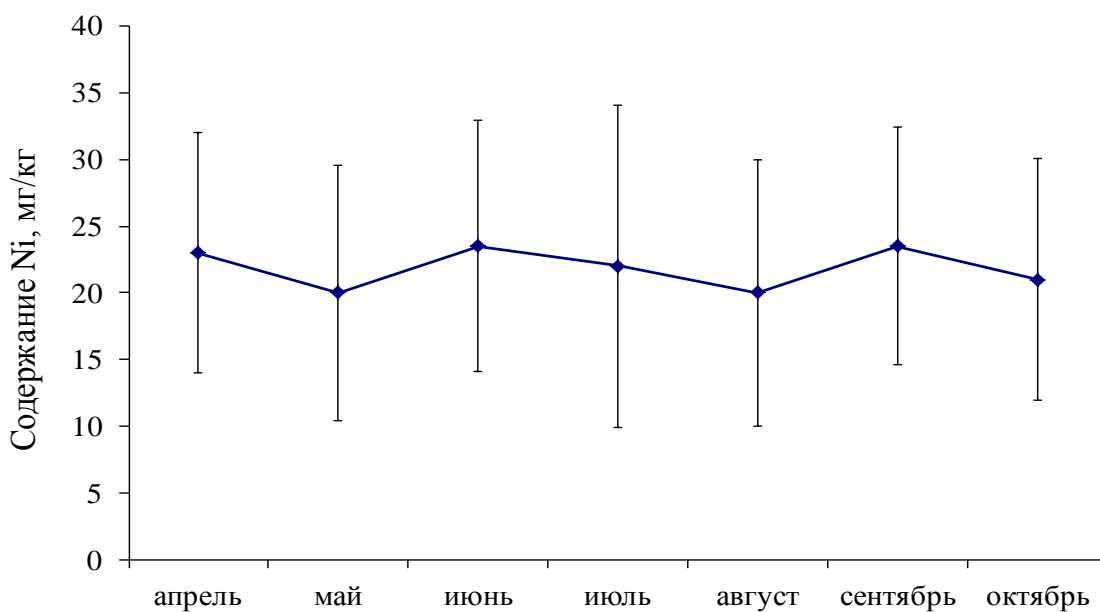


Рис. 8. Сезонная динамика содержания Ni

Закономерности содержания кислоторастворимых форм Ni совпадали с таковыми его валового содержания. Ni больше содержится в болотно-торфянисто-глеевых маломощных почвах, так как органического вещества в них больше, чем в супесях, что определяет их более высокую сорбционную способность.

Распределение валового содержания Ni по почвенным горизонтам происходит по трем типам. Первый тип встречается в тяжело- и легко-суглинистых почвах, для него характерно максимальное содержание Ni в материнской породе – бескарбонатной глине. В горизонтах А и В происходит снижение величины данного показателя. Второй тип наблюдается для светло-серых лесных супесчаных почв, с максимальным содержанием в горизонте А. Третий тип – для торфяно-болотно-глеевых почв, с одинаково низким содержанием Ni во всех горизонтах (рис. 9).

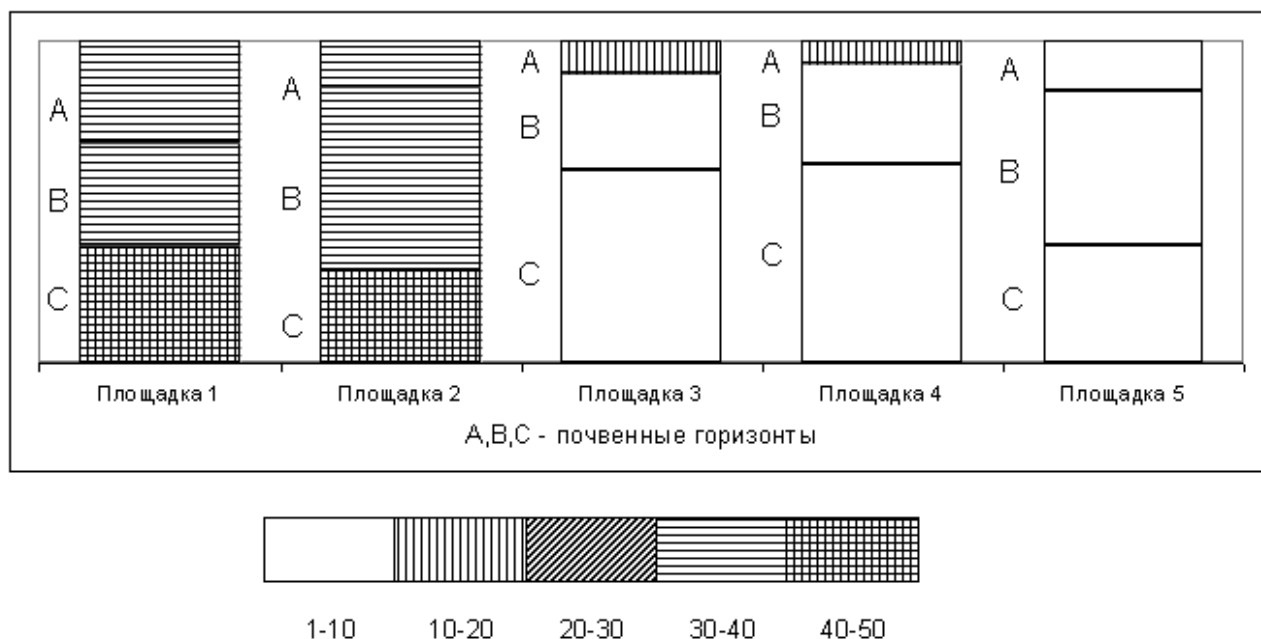


Рис. 9. Распределение Ni по горизонтам изученных подтипов почв (мг/кг)

Исследование закономерностей распределения свинца в почвах. При проведении исследований какой-либо зависимости количества Pb в почве от содержания органического вещества, физического песка или глины не выявлено. Максимальные показатели валового содержания Pb наблюдаются в торфяно-болотно-глеевых почвах – 53,02 мг/кг, минимальные – в темно-серых лесных тяжелосуглинистых и серых лесных легкосуглинистых почвах – 23,51–25,03 мг/кг. Промежуточное положение занимают светло-серые лесные супесчаные почвы – 29,01–38,52 мг/кг. Полученные значения в торфяно-болотно-глеевых почвах несколько превышают фоновые показатели. Для песчаных и супесчаных почв значения несколько ниже фона.

Анализ валового содержания Pb в почвах района исследований по сезонам показал, что его сезонная динамика не выражена. Он не является жизненно важным элементом растений, поэтому его биогенная миграция не прослеживается.

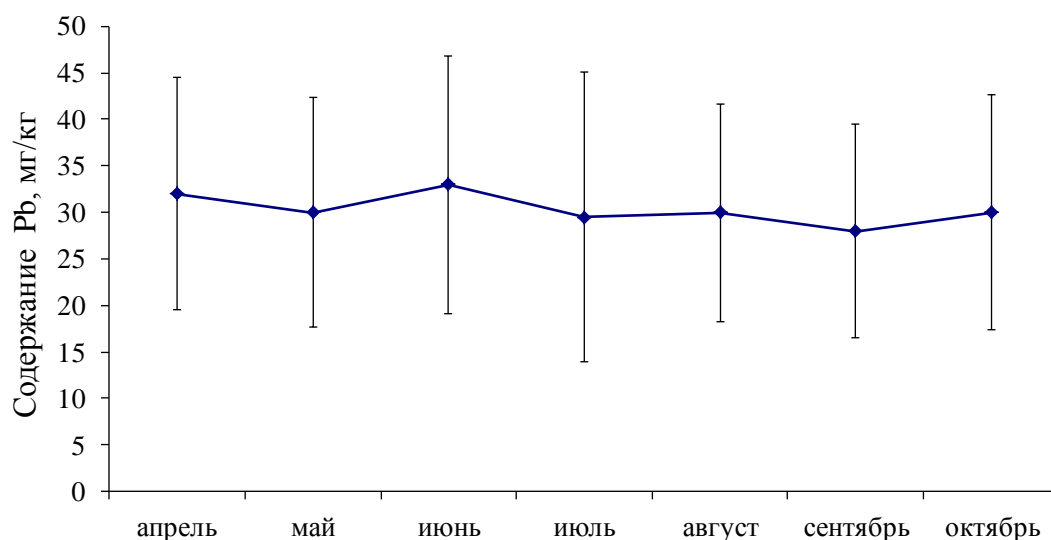


Рис.10. Сезонная динамика Pb в почве

Pb является малоактивным элементом, и большинство его соединений плохо растворяются в воде и неорганических кислотах. Результаты исследований по подтипам почв почти не отличаются друг от друга по содержанию кислоторастворимых форм Pb.

В почвенных горизонтах Pb имеет один тип распределения, и максимальное его содержание наблюдается в горизонте А (рис. 11).

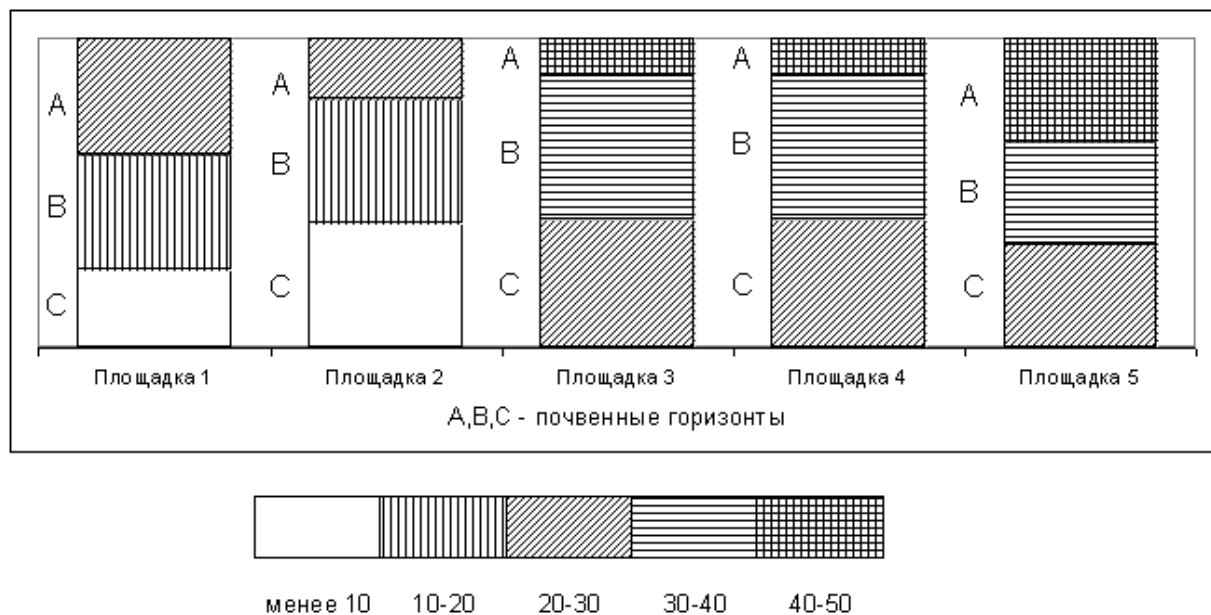


Рис. 11. Распределение Pb по почвенным горизонтам в районе исследований (мг/кг)

Исследование закономерностей распределения мышьяка в почвах. В результате исследований установлено, что прослеживается некоторая тенденция зависимости содержания As в почве от содержания органического вещества ($r=0,54$). Максимальное валовое содержание As наблюдается в болотно-торфяно-глеевых почвах – 17,11 мг/кг. Промежуточное положение занимают темно-серые тяжелосуглинистые и серые легкосуглинистые лесные почвы – 12,01 мг/кг. Минимальное – в светло-серых лесных супесчаных почвах – 9,51 мг/кг. Однако все полученные значения существенно превышают ПДК, кото-

рые составляют: для супесчаных почв – 2 мг/кг, а для кислых суглинистых почв – 5 мг/кг. Это связано с геохимическими особенностями региона (рис. 12).

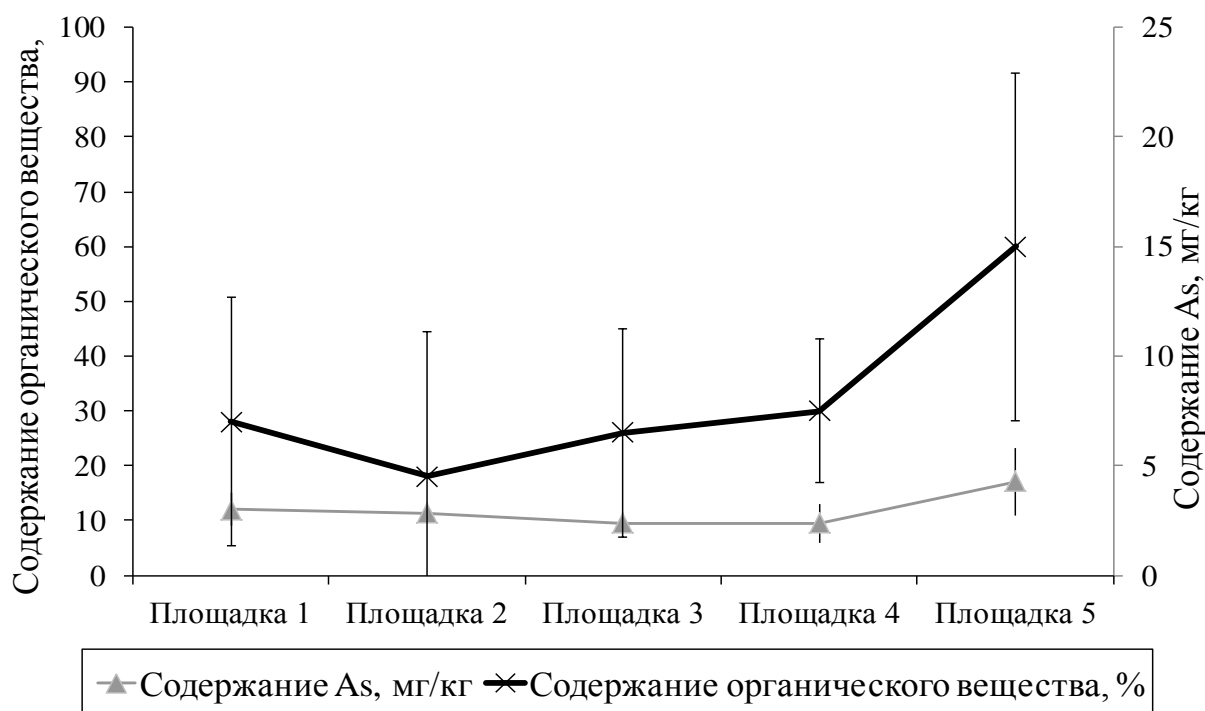


Рис. 12. Зависимость содержания As от содержания органического вещества

Полученные результаты определения валового содержания As в исследуемых почвах по сезонам выражались сходными количественными показателями и находились в пределах ошибки измерений. Растения поглощают As в ничтожно малых количествах, вероятно, поэтому его биогенная миграция не прослеживается (рис. 13).

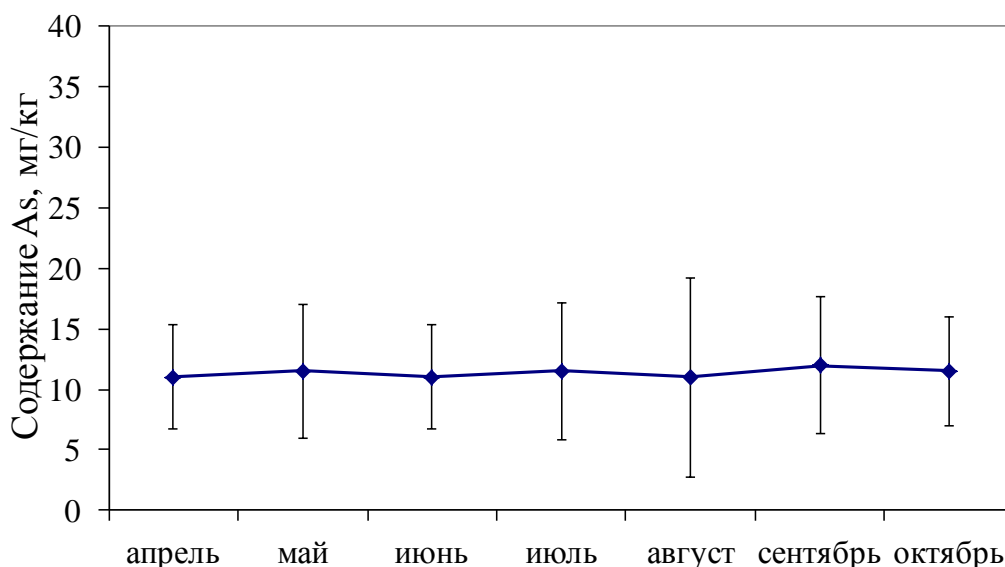


Рис. 13. Сезонная динамика содержания As в почвах района исследований

Максимальное количество кислоторастворимых форм As содержится в темно-серых и серых лесных почвах; минимальное – в светло-серых супесчаных почвах; болотно-торфяно-глеевые почвы занимают промежуточное положение. При сравнении валового содержания и кислоторастворимых форм на-

блюдаются одни и те же закономерности: содержание кислоторастворимых форм As зависит от содержания органического вещества в почве.

Распределение As по почвенным горизонтам происходит по двум типам. В темно-серых лесных тяжелосуглинистых почвах и серых лесных легкосуглинистых почвах максимальное содержание этого элемента наблюдается в горизонте С, то есть в материнской породе, представленной бескарбонатной глиной. В остальных подтипах почв максимальная концентрация наблюдается в горизонте А. В горизонтах В и С содержание As снижается (рис. 14).

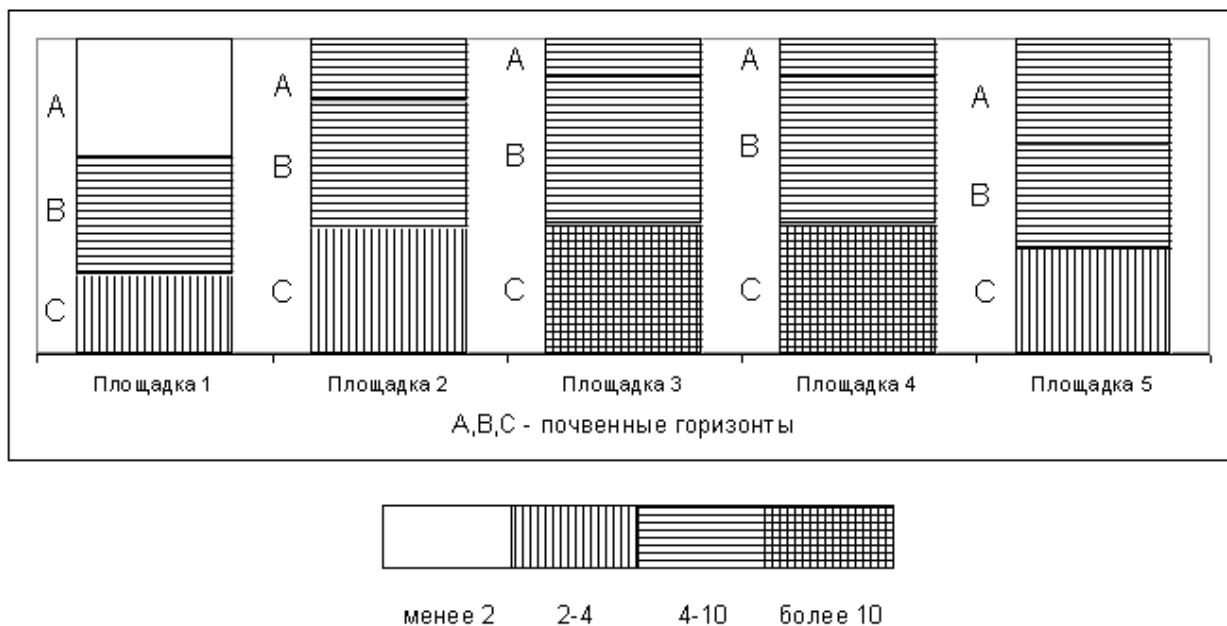


Рис. 14. Распределение As по почвенным горизонтам в районе исследований (мг/кг)

Таким образом, каких-либо тенденций изменения содержания Cu, Zn, Ni, Pb и As в почвах за период исследований выявить не удалось. Для всех подтипов изучаемых почв установлены зависимости содержания: Cu и As – от органического вещества; Zn – от физического песка; Ni – от физической глины. Во всех изучаемых подтипах почв установлена зависимость содержания Cu и Zn от времени года. Для Ni, Pb и As изменений концентраций по сезонам не наблюдается.

ГЛАВА 4. ИЗУЧЕНИЕ СОДЕРЖАНИЯ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ (Cu, Zn, Ni, Pb) И МЫШЬЯКА (As) В ВОДОТОКАХ РАЙОНА ИССЛЕДОВАНИЯ

В ходе исследования был проведен отбор проб из наиболее крупных водотоков, находящихся на водосборной площади правобережной части Пензенского водохранилища: ручьев Акулька, Безымянный, Круглый, Лямзай, Медоевка.

Химические элементы мигрируют в водную среду из почвы с поверхностным и внутрипочвенным стоком, а также из водоносных горизонтов. Анализ показателей средних концентраций Zn, Ni, Pb и As за годы исследований показал, что они находятся в пределах ПДК. Зафиксировано превышение ПДК для водоемов рыбохозяйственного назначения по содержанию Cu в воде ручьев Акулька, Безымянный, Лямзай, Медоевка, что связано с локальными геохимическими особенностями. Вода рассматриваемых водоемов по содержанию Cu

характеризуется близкими значениями. Водосборные площади ручьев Безымянный и Лямзай находятся рядом, их водоносные горизонты, сложенные трещиноватыми опоками, подстилаются карбонатными глинами, для которых характерно высокое содержание Zn. Содержание Ni, Pb и As в воде рассматриваемых водотоков выражается близкими значениями. Какой-либо динамики концентраций изучаемых элементов по годам не наблюдается (табл. 2).

Таблица 2. Среднее содержание Cu, Zn, Ni, Pb и As в воде водотоков района исследований (2008–2012 гг.)

Название водотоков	Среднее содержание, мг/л				
	Cu	Zn	Ni	Pb	As
Акулька	0,0020±0,0007	0,0030±0,0012	0,0055±0,0023	0,0003±0,0003	0,0001±0,0001
Безымянный	0,0025±0,0013	0,0075±0,0021	0,0040±0,0016	0,0004±0,0002	0,0009±0,0003
Круглый	0,0010±0,0006	0,0040±0,0019	0,0035±0,0019	0,0006±0,0005	0,0003±0,0002
Лямзай	0,0015±0,0008	0,0065±0,0022	0,0055±0,0027	0,0005±0,0003	0,0003±0,0003
Медоевка	0,0025±0,0011	0,0014±0,0009	0,0040±0,0018	0,0005±0,0004	0,0003±0,0002
ПДК для воды рыбохозяйственного назначения	0,0010	0,0200	0,01	0,0060	0,05
ПДК для воды культурно-бытового назначения	1,0	1,0	0,02	0,001	0,01
НСР _{0,05}	0,0012	0,0019	0,0008	0,0002	0,0002

Таким образом, содержание Cu, Zn, Ni, Pb и As в воде имеет сезонную динамику. Максимальные концентрации проявляются во время весеннего половодья, минимальные – во время летней и зимней межени.

Анализ результатов исследования содержания Cu, Zn, Ni, Pb и As и данных РЦГЭКиМ по Пензенской области по пяти контрольным водотокам (ручьи Сундоровка, Инра, Жданка, Кичкилейка и Теплый) не выявил какой-либо специфики (табл. 3).

Таблица 3. Среднее содержание Cu, Zn, Ni, Pb и As в водотоках водосборной площади Пензенского водохранилища и бассейна реки Суры

Изучаемые водотоки	Среднее содержание, мг/л				
	Cu	Zn	Ni	Pb	As
Ручьи района исследования (Акулька, Безымянный, Круглый, Лямзай, Медоевка)	0,0019±0,0008	0,0021±0,0016	0,0045±0,0026	0,0010±0,0008	0,0004±0,0003
Ручьи прилегающих территорий (Сундоровка, Инра, Жданка, Кичкилейка, Теплый)	0,0014±0,0008	0,0065±0,0033	0,0035±0,0018	0,0016±0,0010	0,0005±0,0003
Средний показатель для водотоков правобережной части бассейна реки Суры	0,0015±0,0006	0,0043±0,0028	0,0040±0,0026	0,0013±0,0006	0,0004±0,0002
НСР _{0,05}	0,0004	0,0017	0,0009	0,0003	0,0001

По содержанию Cu, Zn, Ni в воде ручьев района исследований установлена сезонная динамика, выражающаяся в существенном повышении концентраций во время весеннего половодья. Концентрации Pb и As остаются стабильно низкими в течение всего года.

ГЛАВА 5. ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ НАКОПЛЕНИЯ Cu, Zn, Ni, Pb И As В БИОЛОГИЧЕСКИХ ОБЪЕКТАХ

Содержащиеся в почве и воде химические элементы мигрируют в биологические объекты. Было изучено накопление Cu, Zn, Ni, Pb и As в древесине (сосне обыкновенной, березе повислой), травянистых растениях (осоке волосистой, вейнике наземном), дереворазрушающих (губке березовой, трутовике настоящем) и напочвенных грибах (зонтике пестром, дождевике шиповатом, масленке позднем, поддубнике крапчато-ножковом, подосиновике красном, подгрузке белом, рыжике сосновом, рядовке-зеленушке, рядовке тополевой, рядовке фиолетовой).

Полученные значения содержания рассматриваемых элементов в древесине сосны и березы выражаются сходными величинами (табл. 4).

Таблица 4. Содержание Cu, Zn, Ni, Pb и As в древесине сосны и березы, мг/кг

Древесные породы	Номера пробных площадей	Cu	Zn	Ni	Pb	As
Сосна	1	0,70	2,6	8,86	0,22	0,12
	2	0,63	2,4	7,91	0,23	0,14
	3	0,68	3,1	7,99	0,19	0,12
	4	0,71	2,8	8,80	0,24	0,13
	5	0,73	2,6	8,83	0,21	0,11
Средний показатель		0,69±0,02	2,7±0,12	8,47±0,22	0,22±0,01	0,12±0,01
Береза	1	0,82	2,9	9,01	0,24	0,13
	2	0,75	3,1	8,86	0,28	0,12
	3	0,78	2,8	8,05	0,31	0,14
	4	0,73	2,8	8,88	0,30	0,16
	5	0,76	2,6	8,83	0,26	0,15
Средний показатель		0,77±0,02	2,84±0,08	8,73±0,17	0,28±0,01	0,14±0,01

Если средние запасы древесины в районе исследований составляют 250 м³/га при среднем удельном весе одного м³ 500 кг, то на каждом гектаре леса в древесине аккумулировано приблизительно: Cu – 0,096 кг, Zn – 0,355 кг, Ni – 1,091 кг, Pb – 0,347 кг и As – 0,017 кг. Средний прирост древесины в рассматриваемых лесных массивах составляет 3,5 м³ в год. Это значит, что живым веществом каждого гектара экосистемы из почвы мобилизуется: Cu – 0,670 г, Zn – 2,485 г, Ni – 7,635 г, Pb – 2,432 г и As – 0,122 г. Соответственно, с каждым кубическим метром при заготовке древесины изымается: Cu – 0,384 г, Zn – 1,420 г, Ni – 4,363 г, Pb – 1,390 г и As – 0,07 г, что оказывает влияние на биогеохимические циклы рассматриваемых элементов в условиях лесных экосистем (табл. 4).

Среднее содержание изучаемых химических элементов в пробах травянистых растений составило: Cu – 0,975 мг/кг, Zn – 1,99 мг/кг, Ni – 0,45 мг/кг, Pb – 0,45 мг/кг, что находится в пределах ПДК. Концентрации As ($0,63 \pm 0,26$ мг/кг), как и в почвах района исследований, выше и составляют в среднем 1,26 ПДК.

В процессе разложения древесины дереворазрушающие грибы извлекают из нее не только органические вещества, которые служат для них источником углерода. Обладая широчайшим спектром ферментов, многие из которых в свои молекулы включают атомы металлов, грибы активно поглощают последние из питательного субстрата, в том числе Cu, Zn, Ni, Pb и As (Иванов, 2008). Как показали наши исследования, содержание изучаемых химических элементов по мере разложения древесины снижается.

Наиболее активно в процессе разложения древесины извлекаются Cu и Zn как важнейшие необходимые для жизнедеятельности живых организмов микроэлементы. Ni является ультрамикроэлементом и извлекается с меньшей интенсивностью. Еще менее активно поглощаются Pb и As, не являющиеся жизненно важными элементами.

Процесс накопления Cu, Zn, Ni, Pb и As в плодовых телах дереворазрушающих грибов можно оценить количественно. Как показал подсчет плодовых тел трутовика настоящего на сухостое березы, на 1 м³ древесины приходится 3–4 кг плодовых тел этого вида, содержащих: Cu – 0,52 мг/кг, Zn – 106,65 мг/кг, Ni – 3,24 мг/кг, Pb – 2,28 мг/кг, As – 0,62 мг/кг. Это значит, что с плодовыми телами выносятся: Cu – 1,56 мг, Zn – 3,19 мг, Ni – 9,72 мг, Pb – 6,84 мг и As – 1,86 мг, содержащихся в древесном субстрате. После отмирания плодовые тела трутовика настоящего уничтожаются насекомыми-мицетофагами, которые в свою очередь поедаются птицами. Таким образом, изучаемые химические элементы продвигаются далее по пищевой цепи.

Содержащиеся в почве Cu, Zn, Ni, Pb и As активно поглощаются почвенными грибами. Как показал анализ смешанных проб плодовых тел наиболее распространенных видов съедобных грибов, содержание исследуемых веществ на разных почвах имеет различный характер. Максимальное количество изучаемых элементов содержалось в материале, собранном на очень кислых торфяно-болотно-глеевых почвах (рН – 3,5) и светло-серых лесных супесчаных маломощных (рН – 4,5). В остальных подтипах при рН – 5,0–6,5 содержание Cu, Zn, Ni, Pb и As было примерно на одном уровне.

Различные виды съедобных грибов на сходных по химическому составу светло-серых лесных супесчаных почвах накапливают рассматриваемые химические элементы в разных количествах. Установлено, что Zn концентрирует дождевик шиповатый, масленок поздний, подосиновик красный, рыжик сосновый и рядовка зеленушка. Ni – зонтик пестрый и подгрузок белый; Pb – зонтик пестрый, дождевик шиповатый и поддубник крапчатоножковый; As – дождевик шиповатый, рядовка тополевая и рядовка фиолетовая.

Таким образом, высокое содержание того или иного химического элемента в плодовых телах грибов связано с биологическими особенностями вида, что следует учитывать при организации биомониторинга природных экосистем.

ВЫВОДЫ

1. Изученные подтипы почв, находящихся под лесной растительностью, достоверно отличаются друг от друга по содержанию Cu, Zn, Ni, Pb и As. Содержание Cu ($r=0,80$) и As ($r=0,54$) зависит от количества органического вещества в почве, а содержание Zn ($r=0,67$) и Ni ($r=0,97$) – от гранулометрического состава почвы. Для Pb указанных зависимостей не выявлено.

2. Достоверная зависимость валового содержания от времени года во всех изученных подтипах почв установлена для Cu и Zn (1,25–1,5 раза). Для Ni, Pb и As динамики изменения концентраций по сезонам не наблюдалось.

3. Валовое содержание Cu, Zn и Ni в почвах находится в пределах ПДК, по Pb имеются небольшие превышения (1,2–1,7 ПДК). Валовое содержание As превышает ПДК в 2,4–8,6 раза, что является важной особенностью почв района исследований и зависит от их геохимической специфики.

4. Средние концентрации Zn, Ni, Pb и As в водотоках района исследований не превышают ПДК. Содержание Cu оказывается более высоким и достигает значений 2,0–2,5 ПДК, что связано с особенностью химического состава пород, слагающих водоносные горизонты в районе исследований.

5. Концентрации Cu, Zn, Ni в воде водотоков района исследований имеют сезонную динамику, выражающуюся в существенном их повышении во время весеннего половодья. Концентрации Pb и As остаются стабильно низкими в течение всего года.

6. Среднее содержание изучаемых элементов в травянистых растениях составляет: Cu – 0,98 мг/кг, Zn – 1,99 мг/кг, Ni – 0,45 мг/кг, Pb – 0,45 мг/кг, что не превышает ПДК. Концентрация As составляет 0,63 мг/кг, что превышает значение ПДК в 1,3 раза.

7. При заготовке древесины с каждым кубическим метром изымается: Cu – 0,384 г, Zn – 1,420 г, Ni – 4,363 г, Pb – 1,390 г, As – 0,07 г, что оказывает существенное влияние на биогеохимические циклы лесных экосистем.

8. Различные виды съедобных грибов на светло-серых лесных супесчаных почвах накапливают рассматриваемые химические элементы в разных количествах: дождевик шиповатый, масленок поздний, подосиновик красный, рыжик сосновый и рядовка-зеленушка концентрируют Zn (126–150 мг/кг); зонтик пестрый и подгрузок белый – Ni (4,16–4,55 мг/кг); зонтик пестрый, дождевик шиповатый и поддубник крапчатоножковый – Pb (7,96–17,00 мг/кг); дождевик шиповатый, рядовка тополевая и рядовка фиолетовая – As (27,1–36,17 мг/кг).

Предложения производству

1. При организации мониторинга почв в условиях лесостепной зоны следует учитывать разницу между фоновыми концентрациями химических элементов для различных подтипов серых лесных почв.

2. При интерпретации результатов почвенного мониторинга следует учитывать сезонную динамику содержания Cu, Zn, а при мониторинге водных объектов – сезонную динамику содержания Cu, Zn и Ni.

СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Статьи в рецензируемых научных журналах, рекомендованных ВАК

1. Горохова А.Г., Иванов А.И., Костычев А.А. Свинец, цинк, медь и никель в серых лесных почвах Пензенской области // Нива Поволжья. 2013. № 2 (27). С. 28–35.

2. Горохова А.Г., Иванов А.И., Костычев А.А. Содержание мышьяка в природных средах на водосборной площади Пензенского водохранилища // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. 2013. № 09 (13). Т. 1. С. 19–25.

3. Горохова А.Г., Иванов А.И., Скобанева О.В. Биоиндикация почв, загрязненных мышьяком и тяжелыми металлами // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. 2013. № 09 (13). Т. 1. С. 39–47.

4. Ключин А.В., Егорова Ю.А., Горохова А.Г. Сравнительный анализ методов прогнозирования масштабов аварий с объемными взрывами // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. 2013. № 09 (13). Т. 2. С. 170.

Публикации в других изданиях

5. Кобцов С.Н., Горохова А.Г., Штыков С.Н. и др. Значение государственных стандартных образцов состава токсичных химикатов и продуктов их деструкции в системе экологического контроля и мониторинга объектов по уничтожению химического оружия // Доклады академии военных наук. 2011. № 4 (48). С. 91–94.

6. Кобцов С.Н., Мандыч В.Г., Горохова А.Г. и др. Применение установочных веществ при стандартизации растворов гидроксида натрия // Доклады академии военных наук. 2012. № 2 (55). С. 168.

7. Горохова А.Г. Система контроля загрязнения окружающей среды на промышленных объектах // Великие реки. 2012. С. 415–416.

8. Савина Ю.С., Мандыч В.Г., Горохова А.Г. и др. Проведение исследований по выбору растворителя битумно-канифольного лака, закупоривающего технологическое оборудование и транспортную систему подачи реакционной массы // Доклады академии военных наук. 2012. № 2 (55). С. 173.

9. Кобцов С.Н., Штыков С.Н., Горохова А.Г. и др. // Актуальные вопросы теории и практики РХБ защиты: Реферативный сборник XLII научной конференции. 2012. С. 16.

10. Горохова А.Г., Иванов А.И., Костычев А.А. и др. Содержание свинца, цинка, меди и никеля в серых лесных почвах Пензенской области // Актуальные вопросы теории и практики РХБ защиты: Реферативный сборник XLIII научной конференции. 2013. С. 16.

Благодарности

Автор выражает глубокую благодарность научному руководителю Александру Ивановичу Иванову за помощь на всех этапах работы, и сотрудникам Центральной экоаналитической лаборатории – за помощь в проведении химико-аналитических исследований и обработке результатов.

ГОРОХОВА Анна Геннадьевна

**РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ (Cu, Zn, Ni, Pb) И
МЫШЬЯКА (As) В ПРИРОДНЫХ СРЕДАХ И БИОЛОГИЧЕСКИХ
ОБЪЕКТАХ ПРАВОБЕРЕЖНОЙ ЧАСТИ ВОДОСБОРНОЙ ПЛОЩАДИ
ПЕНЗЕНСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА**

Специальность 03.02.08 – экология (биология)

**Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата биологических наук**

Компьютерная верстка Т.А. Антиповой

Сдано в производство 23.11.13. Формат 60x84 ¹/₁₆
Бумага типогр. № 1. Печать трафаретная. Шрифт Times New Roman Cyr.
Усл. печ. л. 1,22. Уч.-изд л. 1,24. Заказ № 2389. Тираж 110.

Пензенский государственный технологический университет.
440039, Россия, г. Пенза, пр. Байдукова/ул. Гагарина, 1^а/11

