

*На правах рукописи*



**СИВУХИН АЛЕКСЕЙ НИКОЛАЕВИЧ**

**ЭКОЛОГО-ГИГИЕНИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ПОЧВЕННОГО ПОКРОВА  
ИВАНОВСКОЙ И КОСТРОМСКОЙ ОБЛАСТЕЙ**

1.5.15 – Экология (биологические науки)

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата биологических наук

Иваново – 2022

Работа выполнена в Шуйском филиале федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Ивановский государственный университет»

**Научный руководитель:** кандидат географических наук, доцент  
**Марков Дмитрий Сергеевич**

**Официальные оппоненты:** **Зубкова Татьяна Александровна**  
доктор биологических наук, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова», старший научный сотрудник лаборатории физики и технологии почв кафедры физики и мелиорации почв

**Платонычева Юлия Николаевна**  
кандидат биологических наук, доцент, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Нижегородская государственная сельскохозяйственная академия», декан биоэкологического факультета

**Ведущая организация:** Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова»

Защита состоится «\_\_» \_\_\_\_\_ 2022г. в \_\_\_\_\_ ч. на заседании диссертационного совета 24.2.281.02 при ФГБОУ ВО «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых» по адресу: 600000, г. Владимир, ул. Горького, 87, корп.1, ауд.335.

С диссертацией можно ознакомиться в научной библиотеке ВлГУ и на сайте <http://diss.vlsu.ru/>.

Отзывы на автореферат в двух экземплярах, заверенные печатью, можно присылать по адресу: 600000, г. Владимир, ул. Горького, 87, кафедра биологии и экологии.

Автореферат разослан «\_\_» \_\_\_\_\_ 2022г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета,  
кандидат биологических наук



Кулагина Екатерина Юрьевна

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность.** Одними из наиболее опасных поллютантов, загрязняющих почвенный покров, являются тяжёлые металлы, которые, даже при самой малой концентрации в среде, могут комплексно воздействовать на организм человека, вызывая различные системные заболевания (Харрисон, 1992). Поскольку почвенный покров является универсальным адсорбентом всех видов загрязнения, наше исследование посвящено его эколого-гигиенической оценке.

В докладе Департамента природных ресурсов и экологии по Ивановской области о состоянии и об охране окружающей среды Ивановской области в 2020 г. отражено, в основном, влияние человека на водную и атмосферную среду, почва изучена лишь опосредованно, работ на эту тему немного (Дунаев, 2013, Родивилова, 1999). В то же время подобные исследования в других регионах России проводятся регулярно (Турлибекова, 2011, Мукашева, 2013, Околелова, 2013, Танюхина, 2014, Тарасова, 2015).

Помимо этой причины, стоит отметить и сходство этих регионов по социально-экономическим показателям, что делает сравнение достаточно достоверным, поскольку промышленная и транспортная нагрузки оказываются близкими по значениям (Официальная статистика, 2016). И, конечно же, стоит отметить географическое соседство регионов. Поскольку ни Ивановская, ни Костромская области не являются промышленно развитыми, то проведение геохимического анализа позволит определить степень антропогенного в целом и промышленного в частности видов загрязнения, сравнив данные с другими регионами, испытывающими серьёзную промышленную нагрузку (Нижегородская, Липецкая, Челябинская). Заявленная проблема затрагивает область деятельности как специалистов природоохранных органов, так и клиницистов, а также организаторов здравоохранения, является комплексной и поэтому полученные результаты дадут возможность разработать взаимосогласованные природоохранные и лечебно-профилактические мероприятия по улучшению здоровья жителей Ивановской и Костромской областей в зависимости от качества и состояния почвенного покрова.

**Цель исследования** – комплексная эколого-гигиеническая оценка почвенного покрова Ивановской и Костромской областей и установление закономерностей влияния загрязнения почв тяжёлыми металлами на риски для здоровья населения данных регионов.

Реализация поставленной цели потребовала последовательного и комплексного решения взаимосвязанных **задач**:

1. Провести исследования почв Ивановской и Костромской областей и оценить уровень загрязнения тяжёлыми металлами
2. Составить статистико-картографические материалы, отражающие состояние почвенного покрова территорий исследуемых областей.
3. Дать экологическую характеристику источников, уровня и динамики загрязнений почвенного покрова в Ивановской и Костромской областях и провести ранжирование муниципальных образований по индексу загрязнения почвенного покрова.
4. Рассмотреть корреляции в системе «окружающая среда – смертность» между тяжёлыми металлами в почвенном покрове и причинами смерти населения изучаемых территорий на основе корреляционного статистического анализа.
5. Обосновать основные направления мониторинга промышленного химического загрязнения почвенного покрова и разработать гигиенические рекомендации по его оздоровлению.

#### **Научная новизна работы.**

В результате проведённого исследования в диссертационной работе сформулированы и обоснованы следующие положения, являющиеся составными элементами научной новизны диссертационной работы: дана комплексная экологическая характеристика источников, уровня и динамики загрязнения почв в Ивановской и Костромской областях за многолетний период и проведено ранжирование муниципальных образований региона по загрязнению почвенного покрова. Впервые выполнено комплексное изучение заболеваний и смертности населения Ивановской и Костромской областей, проживающего на территориях с разной степенью загрязнения почвенного покрова и установлены корреляции

между смертностью по различным причинам качественным и количественным загрязнением почв тяжёлыми металлами. Составлены картосхемы распределения содержания тяжёлых металлов и смертности населения на территории муниципальных образований Ивановской и Костромской областей с использованием ГИС-технологий (системы ArcViewGIS 3.2 и ArcGIS 10.2). Материалы исследования систематизированы в базе данных, зарегистрированной в Роспатенте (№2017620483 «Геоинформационная система «Загрязнение почвенного покрова Костромской области тяжёлыми металлами и смертность населения»). Обоснованы основные направления оптимизации механизмов экологического мониторинга загрязнения почвы и разработаны эколого-гигиенические рекомендации по оздоровлению почвенного покрова.

**Основные положения, выносимые на защиту:**

1. На территории Ивановской и Костромской областей наблюдаются локальные превышения содержания тяжёлых металлов в почве. В основном такими поллютантами являются кадмий, кобальт и свинец. По отдельным показателям их ПДК (ОДК) превышены на 80% территории регионов.

2. Муниципалитеты Ивановской и Костромской области ранжированы по степени общей загрязнённости почвы, выделены наиболее (Фурмановский и Судиславский) и наименее (Вичугский и Сусанинский) благополучные по этому показателю ( $Z_c$ ) территории.

3. Установлены статистические корреляционные связи между уровнем смертности населения и содержанием некоторых тяжёлых металлов в почвенном покрове. Высокие концентрации никеля и кобальта имеют средние корреляционные связи со смертностью от заболеваний дыхательной системы (0,52 и 0,5 соответственно). Марганца – средние и сильные связи со смертностью от заболеваний дыхательной (0,63) и нервной (0,79) систем. Кадмия и кобальта – средние связи со смертностью от онкологических заболеваний (0,65).

4. Прикладная составляющая исследования заключается в том, что в ходе лабораторных исследований нами установлено, что бактерии рода *Bacillus* приобретают устойчивость к нитрату свинца при постепенном повышении его

концентрации в субстрате. Растения овса посевного и редиса обладают высоким фитоэкстракционным потенциалом для соединений кадмия и свинца (до 0,25 мг/кг почвы). Рекомендовано использовать современные методы подготовки почв перед посевом, чтобы снизить риски для здоровья населения.

**Практическая значимость.** Основные результаты важны при разработке мероприятий по снижению поступления тяжёлых металлов в почвы из промышленных источников, а также их уточнение, при создании комплексной программы экологического мониторинга почвенного покрова Ивановской и Костромской областей. Данные работы использованы при разработке рекомендаций для сельского хозяйства, а также в научно-просветительских мероприятиях для населения, призванных снизить риски, связанные с избыточным поступлением тяжёлых металлов в окружающую среду. Результаты исследований используются в процессе обучения студентов при изучении дисциплин «Экология человека», «Экология и рациональное природопользование», «Экология растений».

**Апробация работы.** Материалы диссертации докладывались на международных, всероссийских и региональных конференциях и совещаниях, основные среди которых следующие: Science, Technology and Higher Education» III international research and practice conference (Westwood, Canada, 2013); Международная научная конференция «Шуйская сессия студентов, аспирантов, педагогов, молодых учёных «Университет – новой школе (Шуя, 2014); Научные исследования: от теории к практике: IV Международная научно– практическая конференция (Чебоксары, 24 июля 2015 г.); Всероссийская научная конференции и школа-семинар для молодых ученых, аспирантов и студентов «Ртуть и другие тяжелые металлы в экосистемах. Современные методы исследования содержания тяжелых металлов в окружающей среде» (Череповец, 14–16 мая 2018 г.); Актуальные проблемы экологии и природопользования (Москва, апрель-сентябрь 2020 г.).

**Публикации.** По теме диссертации опубликована 21 работа, из них 4 статьи в журналах, рекомендованных ВАК РФ и 2 в журналах, входящих в SCOPUS и WoS.

**Структура и объём диссертации.** Диссертационная работа изложена на 160 страницах, включает 12 таблиц и 75 рисунков; состоит из введения, пяти глав, выводов, списка литературы, включающего 159 наименований (из них 28 на английском языке) и приложений.

**Благодарности.** Автор выражает глубокую признательность своему научному руководителю, доценту кафедры истории, географии и экологии Шуйского филиала ФГБОУ ВО «ИвГУ» Маркову Дмитрию Сергеевичу за постоянное внимание к работе, ценные советы и рекомендации на всех этапах исследования, заведующей кафедрой биологии ФГБОУ ВО «ИвГУ» Борисовой Елене Анатольевне за помощь и консультативную поддержку на всех этапах работы, старшему преподавателю лаборатории высокотемпературной масс-спектрометрии ФГБОУ ВО «ИГХТУ» Дунаеву Анатолию Михайловичу за помощь в проведении практической части диссертационного исследования.

## **ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

### **Глава 1. Антропогенные воздействия на окружающую среду**

Данная глава посвящена аналитическому обзору научных исследований по качеству и оценке уровня загрязнения почвенного покрова тяжёлыми металлами и по оценке их влияния на организм человека. Дана общая оценка транслокационного загрязнения среды, свойств тяжёлых металлов и пути их перемещения в наземной, водной и воздушной среде (Митрохин, 2001). Рассмотрено влияние тяжёлых металлов на организм человека в целом (Харрисон, 1997) и на организм плода (Зайцева, 2006, Сидоренко, 1994), отмечены конкретные нарушения, вызванные каждым тяжёлым металлом в зависимости от длительности воздействия, путей поступления и прочих факторов. Предполагают, что одним из первых признаков избыточного поступления тяжёлых металлов в организм человека является повышенная выработка металлотioneина, семейства низкомолекулярных белков, содержащих цистеин. Они способны связывать как физиологические, так и ксенобиотические тяжёлые металлы (Namdarghanbari, 2011). Введено понятие экологической патологии. В этом случае, может происходить негативное воздействие тяжёлых металлов, накапливающихся в окружающей среде, на

организм человека (Авцын, 1991). Показано влияние тяжёлых металлов на человека через накопление в растениях (Peterson, 1971) и влияние на внутренние органы млекопитающих (Namdarghanbari, 2011).

Проведено ознакомление с возможными вариантами решения проблемы загрязнения почвенного покрова тяжёлыми металлами (Савич, 2013, Левкин, 2014). Для фитоэкстракции при очистке почв загрязненных техногенными песками наиболее эффективными растениями являются горчица и овес с преимущественным накоплением Zn и Cd, петрушка – Pb. Салат характеризовался низкими значениями выноса ТМ по сравнению с другими культурами (Доржонова, 2013). Также упомянуты собственные исследования.

## **Глава 2. Общая экологическая характеристика Ивановской и Костромской областей**

В качестве объекта исследования выбраны почвы Ивановской и Костромской областей, включающие 21 (из них исследованы 18) и 25 муниципальных районов соответственно. Предметом исследования явились параметры среды обитания, а именно качественное и количественное содержание тяжёлых металлов в почвенном покрове означенных территорий, и смертности населения на этих территориях за период 2013-2018 гг. Программа исследований сформировалась в соответствии с поставленными целью и задачами по принципу комплексности и системности. Программа включала гигиенические, экологические, социологические, химические и статистические методы исследований, проведённые на основе текущих и ретроспективных наблюдений.

Дана обобщённая характеристика параметров жизнедеятельности населения Ивановской и Костромской областей, а также общая информация об этих регионах.

По данным проведённых ранее измерений были построены векторные карты пространственного распределения некоторых элементов и произведён факторный анализ (Дунаев, 2011).

В 2013 году теми же авторами для территории г. Иванова впервые была применена методика бриомониторинга. Оценивалось содержание некоторых тяжёлых металлов во мхах и почвах города. Для городской территории, поделённой

на 10 участков равной площади, установлено, что концентрации указанных металлов (Cu, Cd, Cr, Mn, Fe, Pb, Zn, как валовые, так и подвижные формы) составляют в среднем 0,50 — 0,96 ПДКп (предельно допустимой концентрации химических веществ в почве), хотя в отдельных точках наблюдалось превышение соответствующих санитарно-гигиенических нормативов для свинца, меди и цинка. Проведена оценка уровня химического загрязнения почв города по коэффициенту концентрации химического вещества и суммарному показателю загрязнения. Для большинства исследуемых участков экологическая ситуация является удовлетворительной, им соответствует допустимая категория загрязнения (Дунаев, 2013).

Проводимые в 2007 году исследования почв города показали, что содержание свинца в них не превышает ПДК и характеризует общий уровень содержания тяжёлых металлов как допустимый (Шамшурина, 2008).

В 2009 году количество свинца в почве г. Иваново оценивалось как превышающее ПДК (Свешников, 2009).

### **Глава 3. Материалы и методы исследований**

Описана методика эксперимента, принципы выбора точек пробоотбора, техническое обеспечение исследования.

Нами в 2011-2012 г.г. проводилось исследование с целью выявления содержания поверхностных и фоновых форм свинца в почве. Образцы почвы отбирались методом «конверта», по одному с каждой точки. После высушивания до воздушно-сухого состояния в почве определялось содержание поверхностных и фоновых форм металлов методом атомной абсорбции на спектрофотометрах «Спектр-5-3» и «Сатурн-2». Было выяснено, что в почве города Иваново содержится большое количество свинца. В некоторых районах этот показатель в несколько раз превышает предельно допустимую концентрацию. Наиболее вероятные источники – отходы и побочные продукты предприятий, находящихся в районе исследования, а также свалки близ города. Прямой зависимости между автомобильным транспортом и количеством свинца в почве не выявлено. Наибольшее количество свинца обнаружено в почве близ завода им. Королёва (60

мг/кг), а также, близ ул. Колотилова (50 и 60 мг/кг) и на побережье реки около ОАО «Ивхимпром» (120 мг/кг – поверхностное содержание, 60 мг/кг – фоновое содержание) (Сивухин, 2013). Свинец мог накапливаться в почве и в предыдущие годы, о чём свидетельствуют высокие значения содержания этого металла в фоновых образцах. Рекомендуется пересмотреть систему хранения и переработки отходов предприятий.

По официальным статистическим данным, предоставленным организациями «Ивановостат» и «Костромастат» установлены уровень и причины смертности населения исследуемых территорий. На основе доклада Департамента природных ресурсов и экологии Ивановской и Костромской областей были отмечены зоны с наиболее значительными антропогенными нагрузками. Качество почвенного покрова оценивалось по результатам собственных лабораторных исследований. В качестве основы была взята карта Ивановской области с 50 точками пробоотбора почвы, разработанная Дунаевым А.М. (Дунаев, 2011). Основные критерии выбора точки – достаточная удалённость от автомагистралей и других потенциальных источников непосредственного загрязнения, близость к опорному населённому пункту, незатенённость деревьями. Всё это позволяет максимально объективно оценить степень загрязнения почвенного покрова тяжёлыми металлами.

Для изучения почв Костромской области была составлена собственная картосхема, включающая 32 опорные точки. Отбор образцов почвы проводился летом 2014 г. согласно стандартным методикам. На каждой площадке методом «конверта» было отобрано по пять точечных образцов грунта, которые затем были собраны в одну общую пробу не менее 1 кг. Образцы почвы отбирались на расстоянии не менее 300-500 м. от крупных автомагистралей, городских и сельских поселений на открытых, незатененных кронами деревьев равнинных площадках с глубины 10-20 см. Пробы отбирались в чистых перчатках пластиковыми совками в специально подготовленные полиэтиленовые пакеты.

Пробы просеивались через пластиковое сито с диаметром отверстий 1 мм и высушивались до воздушно-сухого состояния. Подвижные формы соединений металлов в пробах осуществлялось обработкой проб ацетатно-аммонийным

буфером с  $pH=4,8$ . Для определения валового содержания металлов почвы озолялись смесью азотных кислот (1:1  $HNO_3$  и  $1N HNO_3$ ), при нагревании и добавлении концентрированной перекиси водорода.

Затем методом атомно-абсорбционной спектроскопии (ААС) на спектрофотометре «Сатурн-2» с погрешностью в 20% было установлено содержание валовых и подвижных форм Pb, Cd, Co, Ni, Zn, Mn, Cu и Fe. Сбор и анализ образцов почвы в Ивановской области осуществлялся совместно с ИГХТУ (Румянцев, 2017).

Данные были подвергнуты статистической обработке и использованы для построения картосхем распределения тяжёлых металлов в почвенном покрове по исследуемой территории. Также, картографические методы использовались для визуализации количества смертей населения по различным причинам. При обработке данных и построении картографических материалов использовалась система Quantum GIS. Зарегистрирована база данных «Загрязнение почвенного покрова Костромской области тяжёлыми металлами и смертность населения» (свидетельство №2017620483).

Изучение влияния нитратов тяжёлых металлов производилась по стандартной методике (Курючкин, 2015) путём посева модельных микроорганизмов на питательный агар с добавлением солей кадмия и свинца с последующей окраской колоний по Граму.

Для оценки фитоэкстракционного потенциала были выбраны растения овса посевного и редиса. Семена были высажены в пластиковые сосуды по 10 штук, в почву, содержащую 6,5 мг/кг свинца и кадмия в виде нитратов. Через месяц выращивания растения удалялись, а почва анализировалась по методике, описанной в главе 3.4. Оценивалось изменение концентрации данных металлов в сосудах.

Параллельно проводилась оценка влияния различных концентраций нитрата свинца на ранние этапы онтогенеза овса посевного и горчицы белой. Для этого 10 пророщенных семян каждого вида помещались в чашки Петри с различными

концентрациями нитрата свинца (100, 1000 и 10000 мг/л). Ежедневно проводились замеры побега и корня и сравнение с контрольной группой.

Было принято решение провести дополнительный анализ воздуха в приземном слое атмосферы Иванова, что позволит определить динамику запылённости города. Измерения проводились с помощью комбинированной атмосферной станции в течение 2021 года. Входящий в её состав лазерный датчик SDS-011 анализирует количество твёрдых взвешенных частиц в воздухе каждые 5 минут и передаёт данные на API-сервер, где происходит сбор и накопление сведений. Определяется концентрация частиц диаметром 2,5 и 10 мкм. Барометрический датчик BME-280 показывает изменение давления, влажности и температуры. Оба датчика подключаются к Wi-fi через плату с микроконтроллером ESP8266 (NodeMCU). Прибор находился в монтажной коробке на стене жилого дома в центре Иванова на высоте 4 метра над поверхностью почвы

#### **Глава 4. Результаты исследований и их обсуждение**

На основе первых проведённых нами в 2016 г. исследований в Костромской области (Сивухин, Марков, 2016) отмечается увеличение среднего уровня содержания тяжелых металлов по отношению к исследованиям 2011 года (Радионов, 2011).

**Исходные данные.** По результатам исследования для подвижных форм меди было установлено несколько точек с превышением ПДК (3 мг/кг) в 2-3 раза. Наибольшая концентрация близ д. Русиновская (9,76 мг/кг). Также, высокие показатели были зафиксированы в центре и на северо-западе области. Для валовых форм никеля не обнаружены превышения ОДК (65 мг/кг), лишь на западе и севере области, в Ильинском и Заволжском районах значения несколько выше, чем в среднем по изучаемой территории. Что же касается подвижных форм никеля (Рис. 1), то ПДК (4 мг/кг) превышена на всей территории области за исключением отдельных единичных точек. Самое высокое значение зафиксировано близ д. Шилекша Вичугского района.

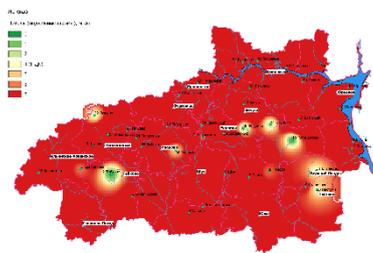


Рис. 1. Подвижные формы никеля в почвенном покрове Ивановской области

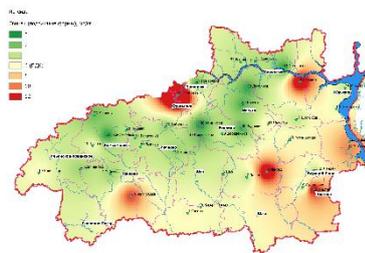


Рис. 2. Подвижные формы свинца в почвенном покрове Ивановской области

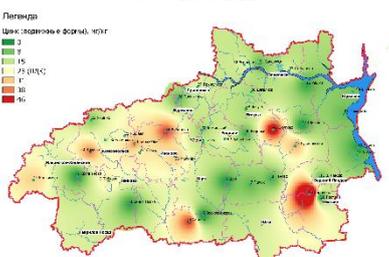


Рис. 3. Подвижные формы цинка в почвенном покрове Ивановской области

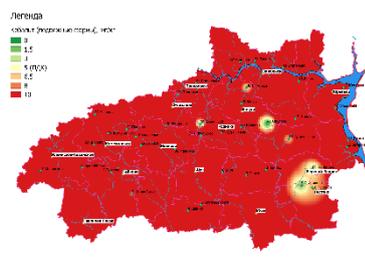


Рис. 4. Подвижные формы кобальта в почвенном покрове Ивановской области

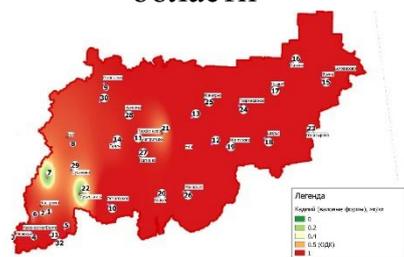


Рис. 5. Валовые формы кадмия в почвенном покрове Костромской области

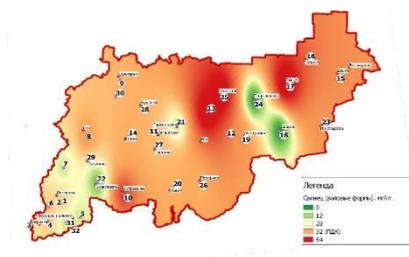


Рис. 6. Валовые формы свинца в почвенном покрове Костромской области

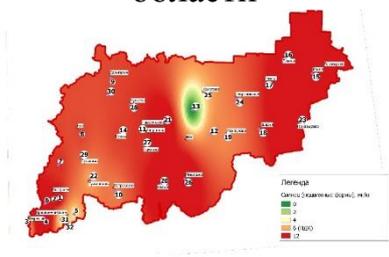


Рис. 7. Подвижные формы свинца в почвенном покрове Костромской области

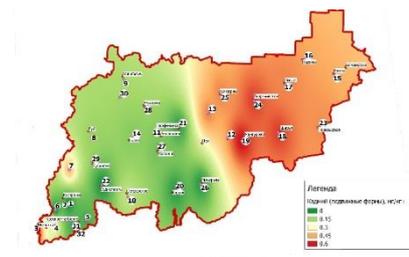


Рис. 8. Подвижные формы кадмия в почвенном покрове Костромской области

Для подвижных форм свинца (Рис. 2) превышение ПДК (6 мг/кг) выявлено примерно в половине точек, а на участке близ Фурманова установлены пятикратные превышения ПДК. В той же точке обнаружено трехкратное превышение ОДК (55 мг/кг) для валовых форм цинка – 144 мг/кг. Также, превышения ОДК для этого металла зафиксированы по всей северо-

западной границе области и в Заволжском районе, а также близ города Родники. Для подвижных форм цинка (Рис. 3) характерно превышение ПДК (23 мг/кг) почти по всей области. Максимальное значение около д. Старилово (89 мг/кг). Для валовых форм кадмия зафиксированы двукратные превышения в юго-восточной части области и трёхкратное – около Вичуги. Подвижные формы кобальта (Рис. 4) обнаружены в большом количестве по всей области, кроме небольшого участка на юго-востоке. Максимальные значения – 64,4 мг/кг зафиксированы близ д. Щуково, что составляет тринадцатикратное превышение ПДК (5 мг/кг). Превышения ПДК марганца зафиксированы в западной и северо-восточной частях области.

Были изучены материалы по смертности населения Ивановской области за 2013-2014 годы. В ходе корреляционного анализа было установлено, что наблюдаются статистические связи между валовыми формами меди и возникновением злокачественных новообразований кишечника, матки, предстательной железы, мочевого пузыря, головного и спинного мозга. Валовые формы цинка статистически связаны со злокачественными новообразованиями кожи, мочевых органов и с Неходжкинской лимфомой. Валовые формы никеля статистически связаны с заболеваниями дыхательных путей, в том числе и с онкологическими. С заболеваниями дыхательных путей также связаны валовые формы кобальта. Валовые формы свинца статистически связаны со смертностью от рака мочевых и женских половых органов. Валовые формы железа и кадмия – с риском возникновения холецистита и злокачественных новообразований женских половых органов. Подвижные формы меди - со злокачественными новообразованиями костей и суставов, а также с язвой желудка. Подвижные формы цинка – со злокачественными новообразованиями мочевого пузыря и хроническими ревматическими болезнями сердца, а также с болезнями червеобразного отростка и неинфекционными энтеритами и колитами. Подвижные формы никеля - с раком органов дыхания, матки, мозговых оболочек, щитовидной железы и с заболеваниями нервной системы. Подвижные формы кобальта – со

смертностью от субарахноидального кровоизлияния. Подвижные формы свинца - с раком гортани, мочевых органов, с возникновением острой ишемической болезни сердца и атеросклероза.

Практически на всей территории Костромской области наблюдается двукратное превышение ПДК для валовых форм кадмия (Рис. 5). Лишь на западе области, в районе Судиславля и Мисково, это значение в пределах нормы (0,12-0,14 мг/кг). Содержание подвижных форм меди по Костромской области превышает ПДК в среднем в 2-3 раза, за исключением участка вокруг областного центра и около Поназырево, где этот показатель в норме (0,1-1,2 мг/кг). Значительные превышения предельно допустимой концентрации валовых форм свинца (Рис. 6) обнаружено в Кологривском (75,6 мг/кг), Пыщугском (75 мг/кг) и Островском (55,6 мг/кг) муниципальных районах. Содержание подвижных же форм свинца (Рис. 7) превышено по всей области, кроме Кологривского и Красносельского муниципальных районов. Содержание остальных форм исследуемых металлов в почвенном покрове Костромской области находится в пределах нормы.

Анализ данных по смертности населения в Костромской области выявил сильную корреляцию между содержанием некоторых тяжёлых металлов в почве и смертностью от заболеваний сердца и сосудов, нервной, дыхательной, выделительной систем, желудочно-кишечного тракта, печени и злокачественных новообразований, а также сильную корреляцию между содержанием в почве подвижных форм марганца и смертностью от заболеваний нервной системы.

Сравнивая данные по смертности населения в Ивановской и Костромской областях, можно отметить, что в Костромской области в 2 раза выше смертность от сердечнососудистых заболеваний, а также значительно выше смертность от злокачественных новообразований. В Ивановской области заболевания ЖКТ, печени, выделительной и дыхательной систем становятся причиной смерти в 2 раза чаще, чем в Костромской области. Также,

в Ивановской области в десятки раз выше смертность от заболеваний нервной системы.

ПДК валовых форм кадмия значительно превышена в Костромской области, в Ивановской же имеется локальное превышение в районе Вичуги. Схожая ситуация и с подвижными формами меди — в Костромской области их значительно больше, чем в Ивановской.

Рассчитанные значения  $Z_c$  (общей загрязнённости территории) для большинства исследуемых участков в Ивановской области относительно величины фонового уровня содержания валовых форм ТМ взятых из литературы являются средними, им соответствует средняя категория загрязнения ( $16 < Z_c < 32$ ). Величина  $Z_c$ , рассчитанная для Ивановской области относительно регионального фона в 2014 г. составляет 20, что характеризует значительный уровень загрязнения, для которого характерен относительно высокий уровень заболеваемости населения, особенно детей, а также высокая вероятность развития физиологических отклонений.

Рассчитанные значения  $Z_c$  для большинства исследуемых участков в Костромской области в основном превышают порог в 32 единицы, что говорит о высокой степени общего загрязнения тяжёлыми металлами на данных территориях ( $32 < Z_c < 128$ ). Среднее значение  $Z_c$  по Костромской области составило 38, что говорит об опасной категории загрязнения почв. Это может вызвать высокий уровень общей заболеваемости, рост числа часто болеющих детей, детей с хроническими заболеваниями, нарушениями функционального состояния сердечнососудистой системы.

Риски для здоровья населения Ивановской области при ингаляционном поступлении изучаемых тяжёлых металлов не превышают допустимые.

Однако, стоит учитывать, что кроме постоянного среднего содержания соединений тяжёлых металлов в воздухе в виде аэрозолей окислов, в атмосферный слой близ поверхности почвы металлы могут попадать в составе более или менее крупных пылевых частиц размерами до 10 мкм. Учитывая это, соотношение фактической и референтной доз будет выше, чем в случае оценки

лишь атмосферного содержания данных элементов, для отдельных металлов (марганец, железо, кадмий) в нормальный день (содержание пылевых частиц не более 50 мкг/м<sup>3</sup>).

Кроме того, расчёт поступления веществ при нормальном ежедневном заглывании почвенных частиц показал, что в условиях повышенного содержания тяжёлых металлов в почве этот параметр может превышать поступление тяжёлых металлов из постоянно взвешенных в атмосфере частиц до нескольких раз, поскольку, согласно наблюдениям за атмосферным воздухом на предмет определения количества взвешенных частиц в 2021 году с помощью сенсора SDS-011, зачастую на территории Ивановской области в весенне-осенний период наблюдается значительная запылённость, в том числе и частицами размером около 10 мкм, концентрация которых доходит до 80-100 мкг/м<sup>3</sup> воздуха. Среди этих частиц значительную часть составляет пыль, поднятая с поверхности почвы. Данное наблюдение позволяет сделать вывод о важности мониторинга состояния почвенного покрова наравне с состоянием атмосферы для оценки рисков при поступлении поллютантов в организм человека.

Повышенное содержание Pb, Cd, Cu, Zn и Ni в почвенном покрове центральных густонаселенных Ивановского, Родниковского, Вичугского, Фурмановского, а также Палехского районов может быть связано с ростом антропогенной нагрузки, вызванной деятельностью предприятий химической, текстильной промышленности, объектов машиностроения, теплоэнергетики и автотранспорта. Для большинства же приграничных территорий районов существенный вклад в загрязнение почвы помимо локальных источников вносят и трансграничные - эмиссия загрязненных воздушных масс с территорий прилегающих индустриально более развитых областей. Это, прежде всего, характерно для Приволжского, Фурмановского и Заволжского районов, примыкающих к городу Волгореченск, Костромской области. Именно в Волгореченске расположена одна из крупнейших тепловых станций - Костромская ГРЭС, а также находится трубопрокатный завод.

Доминирующее направление ветра при этом способствует переносу загрязняющих веществ в сторону Ивановской области. Аналогичная картина характерна и для Ильинского района. Высокое содержание металлов здесь объясняется влиянием эмиссии с территории Ярославской области, где неподалеку расположены крупные объекты нефтехимической, лакокрасочной промышленности, металлообработке - такие заводы как «Ярметал», «Альтпром» и др.

Для Костромской области наиболее вероятными источниками загрязнения могут являться вышеупомянутые Костромская ГРЭС и трубопрокатный завод. Также, серьёзный вклад могут вносить АО «Галичский автокрановый завод», АО «Костромской завод автокомпонентов», ЗАО «КосмоЭлектро», ООО «Судиславский завод сварочных материалов».

**Проверка и обобщение данных.** Опираясь на данные, полученные ранее, было принято решение проверить содержание наиболее опасных тяжёлых металлов в районе потенциальных источников загрязнения. Для уточнения времени задержки элементов в биодоступном слое почвы пробы отбирались в мае-июне 2018 года. Были проанализированы образцы из 20 точек пробоотбора – район Костромской ГРЭС, юго-восточная граница Приволжска, район рекультивированной ШПУ УР-100 в 5 км севернее Лежнева, районы ТЭЦ-2 (в том числе её золоотвалы) и бывшего меланжевого комбината в г. Иваново, свалка ТБО «Чистое поле» и район ИЗТС в г. Иваново, а также деревни Болобино, Серково и Чихачево, которые находятся вдоль трассы Иваново – Нижний Новгород.

Значительных превышений ПДК для свинца, кадмия и кобальта не обнаружено, что может свидетельствовать о внесении значительного количества тяжёлых металлов за летний период в виде взвешенных частиц с атмосферной пылью. Следовательно, основными источниками тяжёлых металлов остаются выхлопы автотранспорта и выбросы предприятий. Эти осадки накапливаются в течение лета и осени, а весной уходят в глубинные слои почвы вместе с растаявшим снегом. В качестве постоянного источника

загрязнения тяжёлыми металлами выступают свалки ТБО. Достаточно высокие, хоть и не превышающие ПДК значения концентрации тяжёлых металлов были обнаружены в районе рекультивированной ШПУ УР-100. Это можно объяснить тем, что при рекультивации в неё было сброшено несколько тонн деноминированных советских банкнот, краски для которых содержали свинец и некоторые другие тяжёлые элементы. Постоянное омывание содержимого шахты водами атмосферных осадков может поддерживать стабильный уровень тяжёлых металлов в окрестных почвах на уровне 0,5 ПДК.

### **Практические рекомендации, направленные на снижение рисков для населения**

В связи с тем, что в регионе имеется значительное количество частных и государственных хозяйств, на которых возделываются культурные растения и выращивается скот и птица, было принято решение разработать рекомендации по биоремедиации тяжёлых металлов из почвенного покрова. Иногда это достигается путём связывания подвижных форм поллютантов с известью (Elliott, 1986), но в таком случае элемент имеет шанс рано или поздно вновь перейти в активную форму. Гораздо безопаснее полностью удалить его из почвенного покрова на используемой площади. Для этого произведена оценка извлечения свинца и кадмия при комплексном внесении их в исходный образец почвы в виде нитратов. Концентрация подвижных форм кадмия и свинца составила 6,5 мг/кг. В пластиковый сосуд с 1 кг такой почвы были высажены 10 растений овса, в другой – 10 растений редиса. Через месяц в первом сосуде концентрация подвижных форм свинца оказалась 6,248 мг/кг, кадмия – 6,146 мг/кг. Во втором сосуде концентрация подвижных форм свинца составила 6,383 мг/кг, а кадмия – 6,226 мг/кг. Вынос свинца за месяц для овса составил 0,25 мг, для редиса – 0,12 мг. Кадмия для овса – 0,35 мг, для редиса – 0,27 мг. Таким образом, можно сделать вывод о большей эффективности овса посевного для извлечения подвижных форм тяжёлых металлов при комплексном загрязнении. При сплошном засеве овсом загрязнённой почвы,

можно за месяц снизить концентрацию свинца в ней на 0,25 мг/кг, а кадмия – на 0,35 мг/кг. Рекомендуется перед засевом основной культуры производить санитарный высев овса на поля с удалением и утилизацией биомассы через месяц. Это позволит снизить концентрацию подвижных форм тяжёлых металлов в почве и снизит их накопление в культурных растениях и в цепочке «растение – скот – человек».

Увеличение концентрации нитрата свинца оказывает ингибирующее действие на всхожесть семян. Концентрация 100 мг/л уменьшает всхожесть на 2%, а концентрация 10 г/л почти полностью ингибирует прорастание семян (на 94% у овса посевного и на 96% у горчицы белой). Также, отмечено, что концентрация нитрата свинца в 10 г/л вызывает аномалии развития зародышевого корня как у овса посевного, так и у горчицы белой.

Показано, что прокариотические живые системы могут приобретать устойчивость при постоянном воздействии тяжёлых металлов (Сивухин, 2018). Таким образом, возможно выведение сорта растений, которые будут накапливать большее количество загрязнителя без существенного нарушения работы физиологических процессов, ведущих к увеличению биомассы. Также, перспективным является выведение особых штаммов бактерий для экстракции тяжёлых металлов из окружающей среды по причине их простого культивирования и быстрого накопления биомассы на фоне экстремально высокой устойчивости к вредному воздействию поллютантов. Такой способ биоремедиации было бы разумнее использовать в случаях техногенных катастроф, связанных с попаданием большого количества тяжёлых металлов в почву.

#### **Алгоритм по снижению рисков для населения:**

- обеспечивать обязательную проверку почвенного покрова пастбищ, сенокосных лугов на содержание тяжёлых металлов;
- организовывать тщательный контроль используемых удобрений;
- при засеве полей сельскохозяйственными культурами проводить предварительный анализ почвы на содержание тяжёлых металлов и, при

превышении концентрации каких-то загрязнителей, в случае необходимости засева именно этого участка, действовать по одному из следующих вариантов:

А) использовать инактивирующие токсины добавки, безопасные для растений (сорбенты, хелатирующие вещества);

Б) обеспечить фитоэкстракцию загрязнителей вышепредложенными методами или иными растениями;

В) обеспечить вынос избытков тяжёлых металлов известкованием (убедившись, что в используемой извести нет поллютантов);

Г) использовать сев толерантных к токсическим элементам культур.

Либо любым другим способом минимизировать попадание тяжёлых металлов из почвы и/или удобрений в растения, которые могут попасть в корм скоту или птице, а также на стол к человеку.

- Усилить постоянный мониторинг за состоянием запылённости атмосферы, особенно в муниципалитетах с повышенным содержанием тяжёлых металлов в почвенном покрове.

- Для снижения концентрации тяжёлых металлов в почвах городов, утилизировать опавшую с широколиственных деревьев листву с последующим внесением в почву около растений чистых органических удобрений.

- Увеличить количество мест и точек отбора проб при определении концентраций содержания тяжелых металлов в почвах путем организации мобильных постов наблюдения за загрязнением окружающей среды

Предложенные мероприятия не только снизят риски для здоровья населения, но и позволят сократить экономический ущерб для сельского хозяйства.

## **ВЫВОДЫ**

1. В результате изучения содержания тяжёлых металлов в почвенном покрове Ивановской и Костромской областей, установлено, что 3 из 7 (кадмий,

кобальт, свинец) превышают предельно допустимую или ориентировочно допустимую концентрацию на значительной (до 80% исследованных точек) территории регионов. Другие (марганец, железо, медь, никель) металлы показывают очаговые превышения.

2. Составлены статистико-картографические материалы, наглядно отражающие состояние почвенного покрова исследуемых территорий, что особенно важно при составлении санитарно-гигиенических рекомендаций для населения. Они могут использоваться при формировании программ научно-просветительских мероприятий, а также для уточнения источников поступления загрязнителей в почву. Выделены локусы приоритетного контроля с точки зрения дальнейшего изучения и фитосанации.

3. В результате исследования дана экологическая характеристика источников, уровня и динамики загрязнения почвенного покрова Ивановской и Костромской областей. Рассчитан показатель общей загрязнённости тяжёлыми металлами. Установлено, что в Костромской области Zc наиболее высок в Сусанинском районе (78), а в Ивановской области – в Вичугском районе (40), что говорит о высокой степени общего загрязнения тяжёлыми металлами данных территорий. Наименьшее значение Zc среди муниципалитетов Ивановской области наблюдалось в Фурмановском районе (3), а среди муниципалитетов Костромской области – в Судиславском (10). При этом среднее значение Zc для Костромской области (38) выше, чем для Ивановской области (20).

4. Установлены статистические корреляционные связи между уровнем смертности населения и содержанием тяжёлых металлов в почвенном покрове. Проанализированы экологические и гигиенические условия жизни населения Ивановской и Костромской областей. Высокие концентрации никеля и кобальта имеют средние корреляционные связи со смертностью от заболеваний дыхательной системы (0,52 и 0,5 соответственно). Марганца – средние и сильные связи со смертностью от заболеваний дыхательной (0,63) и

нервной (0,79) систем. Кадмия и кобальта – средние связи со смертностью от онкологических заболеваний (0,65).

5. На основании дополнительных исследований атмосферного воздуха и влияния солей тяжёлых металлов на живые системы, разработаны гигиенические рекомендации по оздоровлению почвенного покрова Ивановской и Костромской областей. Предложены методы фитоэкстракции тяжёлых металлов из почвенного покрова. Для этого рекомендуется использовать растения овса посевного или горчицы белой. Для химического выноса тяжёлых металлов в более глубокие слои допустимо использовать известь. Программа должна быть долгосрочной для полноценной ремедиации почв и снижения содержания поллютантов до предельно допустимых значений.

## **СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ**

### ***Статьи в научных журналах, рекомендованных перечнем ВАК***

1. Сивухин А.Н., Марков Д.С. Оценка содержания тяжелых металлов в почвенном покрове средней полосы Российской Федерации // Научная жизнь. 2016. №12. С. 87–100.
2. Марков Д.С., Сивухин А.Н. Использование блоков экологического каркаса муниципалитета в туристско-рекреационной сфере // Научная жизнь. 2017. №1. С. 47–58.
3. Румянцев И.В., Дунаев А.М., Сивухин А.Н., Марков Д.С., Гриневиц В.И. Эколого-гигиеническая оценка качества почв Ивановской области // Безопасность в техносфере. 2017. №1. С. 31–37.
4. Сивухин А.Н., Марков Д.С., Борисова Е.А. Влияние загрязнения почв тяжелыми металлами на здоровье населения Ивановской и Костромской областей // Проблемы региональной экологии. 2019. №3. С. 81–87.
5. Алексей Н. Сивухин, Дмитрий С. Марков, Ирина Б. Нода. Распределение уровней загрязнения почвы тяжёлыми металлами в Ивановской и Костромской областях // Юг России: экология, развитие. 2020 Т. 15, N 2, С.

158–164 (издание входит в международную реферативную базу данных и системы цитирования Scopus).

***Статьи в изданиях, включенные в мировые базы данных научного цитирования Scopus***

6. Borisova E., Konotop N., Vinogradova Y., Markov D. and Sivukhin A. About the reasons for the rare plant species disappearance in the Upper Volga region // E3S Web of Conferences Volume 169 (2020) Actual Problems of Ecology and Environmental Management: Cooperation for Sustainable Development and Environmental Safety (APEEM 2020) <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20201690300>

***Статьи в других научных изданиях***

7. Сивухин А. Н. Средства аналитической химии в комплексной оценке окружающей среды в окрестностях реки Уводь города Иваново // материалы ежегодной итоговой научно-практической конференции студентов и молодых учёных «Неделя науки», ИвГМА, 2013.

8. Sivukhin A.N. Estimation of ecological state of environment in the central part of the city of Ivanovo // Science, Technology and Higher Education. Materials of the III international research and practice conference, Vol. II, October 16th, 2013, Westwood, Canada, 2013, p. 101-104.

9. Марков Д.С., Туркина Е.П., Яковенко Н.В., Сивухин А.Н. Геоинформационные технологии создания природоохранных проектов озерно-болотных ландшафтов // «Научный поиск», научный журнал, 2014, №2.7. Специальный выпуск. Материалы VII Международной научной конференции «Шуйская сессия студентов, аспирантов, педагогов, молодых учёных «Университет – новой школе», с. 18-20.

10. Сивухин А.Н. Оценка экологического состояния почв Ивановской области // «Научный поиск», научный журнал, 2014, №2.7. Специальный выпуск. Материалы VII Международной научной конференции «Шуйская сессия студентов, аспирантов, педагогов, молодых учёных «Университет – новой школе», с. 28-29.

11. Сивухин А. Н. Некоторые методы оценки экологического состояния почвенного покрова // Научные исследования: от теории к практике: материалы IV Международной научно–практической конференции (Чебоксары, 24 июля 2015 г.) / редкол.: О. Н. Широков [и др.]. – Чебоксары: ЦНС «Интерактив плюс», 2015. – ISBN 978-5-906626-88-2.
12. Сивухин А.Н. Некоторые методы оценки экологического состояния почвенного покрова (на примере Ивановской области) // Научный поиск, №3.4, 2015.
13. Сивухин А. Н. Оценка состояния почвенного покрова Ивановской области // Материалы конференции «Научно-исследовательская деятельность в классическом университете. ИвГУ-2015», Вестник ИвГУ, 2015.
14. Сивухин А. Н. Методика оценки экологического состояния почвенного покрова Костромской области // Материалы IX Международной научной конференции «Шуйская сессия студентов, аспирантов, педагогов, молодых ученых «Университет – новой школе»», Москва-Шуя, 2016.
15. Рыбаков Ю.Ю., Сивухин А.Н. Экологические аспекты геохимического загрязнения почвенного покрова Ивановской области // Научный поиск. 2015. № 2.4. С. 90.
16. Сивухин А.Н., Рыбаков Ю.Ю., Марков Д.С. Геохимическая характеристика почвенного покрова Ивановской области // Международный журнал экспериментального образования. 2015. № 12-2. С. 286-286.
17. Сивухин А.Н. Содержание тяжелых металлов в почвах Ивановской области //в сборнике: Орфановские чтения сборник статей по материалам Всероссийской научно-практической конференции. Кафедра географии, географического и геоэкологического образования. 2015. С. 16-21.
18. Марков Д.С., Сивухин А.Н. Геоинформационная система «Загрязнение почвенного покрова Костромской области тяжёлыми металлами и смертность населения» // свидетельство №2017620483, 02.05.2017.

19. Сивухин А.Н. Влияние различных концентраций нитрата свинца на почвенную микробиоту // Вестник Ивановского государственного университета. Серия: Естественные, общественные науки. 2018. № 2. С. 3337.
20. Сивухин А. Н. Влияние нитрата свинца на некоторых представителей прокариот почвенной микрофлоры // Тезисы Всероссийской научной конференции и школы-семинара для молодых ученых, аспирантов и студентов «Ртуть и другие тяжелые металлы в экосистемах. Современные методы исследования содержания тяжелых металлов в окружающей среде», Череповец, 14–16 мая 2018 года, с. 58-59.
21. Борисова Е.А., Конотоп Н.К., Виноградова Ю.С., Марков Д.С., Сивухин А.Н. О причинах исчезновения некоторых редких видов растений в Верхневолжском регионе // Актуальные проблемы экологии и природопользования: партнерство в целях устойчивого развития и экологической безопасности» (г. Москва, апрель-сентябрь 2020 г.). М. 2020. С. 213-217.

Подписано в печать \_\_\_\_\_

Формат 60x84 1/16. Печ. л. 1,74. Тираж 100 экз.

Типография