

На правах рукописи



Захарова Ольга Владимировна

**ВОЗДЕЙСТВИЕ ВЫСОКОДИСПЕРСНОГО
МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ШЛАМА
НА СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫЕ РАСТЕНИЯ**

03.02.08 – Экология (биологические науки)

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени
кандидата биологических наук

Москва – 2017

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Тамбовский государственный университет имени Г.Р. Державина»

Научный руководитель: **Гусев Александр Анатольевич**
кандидат сельскохозяйственных наук, доцент,
ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный университет имени Г.Р. Державина», директор
НИИ экологии и биотехнологии

Официальные оппоненты: **Чурилов Геннадий Иванович**
доктор биологических наук, доцент,
ФГБОУ ВО «Рязанский государственный медицинский университет имени академика И.П. Павлова» Министерства здравоохранения Российской Федерации, профессор кафедры общей химии с курсом биоорганической и органической химии

Снегин Эдуард Анатольевич
доктор биологических наук, доцент,
ФГАОУ ВО «Белгородский государственный национальный исследовательский университет»,
профессор кафедры биологии

Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Всероссийский научно-исследовательский институт агрохимии имени Д.Н. Прянишникова»

Защита состоится 23 марта 2017 г. в 16 часов на заседании Диссертационного совета Д 212.203.38 при Российском университете дружбы народов по адресу: 115093, г. Москва, Подольское шоссе, д. 8/5, экологический факультет.

С диссертацией и авторефератом можно ознакомиться в научной библиотеке ФГАОУ ВО «Российский университет дружбы народов» по адресу: 117198, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, д.6 и на сайте dissovet.rudn.ru.

Автореферат разослан «__» февраля 2017 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета,
кандидат биологический наук



Е.А. Ванисова

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Проблема образования и переработки техногенных отходов является одной из важнейших и недостаточно изученных проблем XXI столетия (Деринг, 2007; Липенков, Фарафонов, 2006; Ануров и др., 2007; Бакаев, Бушуева, 2005; Байтелова, Гарицкая, 2007; Kozhevnikov et al., 2014). Значительную долю неиспользуемых отходов составляют отходы металлургии (Lis et al., 2015). По имеющимся данным, на современных металлургических предприятиях при выплавке 1 млн. т стали образуется 800 тыс. т шлаков, 100 тыс. т пыли и 30 тыс. т шламов (Волынкина, 2007). На сегодняшний день в России и странах СНГ отсутствуют экономически доступные промышленные технологии рециклинга высокодисперсных отходов электрометаллургического и доменного производств – зол и шламов, которые характеризуются высоким содержанием железа (до 40-50%), а также таких металлов, как цинк, медь, никель, свинец, кадмий и др. Данные отходы, потенциально являющиеся богатым железом металлургическим сырьем, не могут быть использованы в аглодоменном процессе из-за высокого содержания цинка (более 0,5%), разрушающего футеровку доменных печей. (Kiventerä et al., 2016). Вследствие этого на большинстве российских металлургических предприятий утилизация шламов осуществляется путем помещения в отвалы (Брызгалов и др., 2009; Кузнецов и др., 2013). Неконтролируемо поступая оттуда в подземные воды и почву, шламовые отходы представляют экологическую угрозу, являясь источником тяжелых металлов, избыток которых негативно влияет на состояние природных экосистем и качество растениеводческой продукции (Черных, Черных, 1995).

В то же время присутствие в составе шлама железа, цинка, меди, марганца и молибдена делает перспективным его использование в растениеводстве в качестве источника микроэлементов в высокодисперсной форме. Например, железо входит в состав ряда растительных ферментов, а также участвует в синтезе хлорофилла, в дыхании и в обмене веществ; цинк играет важную роль в белковом, углеводном и фосфорном обмене, в биосинтезе витаминов и гормонов роста – ауксинов (Школьник, Макарова, 1957; Дмитриев, 2006).

Известны примеры успешного использования шламов сточных вод, содержащих переходные металлы, в качестве органоминерального удобрения для питания растений и повышения плодородия почв (Пахненко, 2009; Андропова, 2002; Пасенко, 2013), однако высокодисперсные металлургические отходы до сих пор не рассматривались как перспективный почвенный стимулятор.

Цель и задачи исследования. Цель – исследование морфофизиологических реакций сельскохозяйственных растений на воздействие высокодисперсного металлосодержащего отхода в лабораторных, тепличных и полевых условиях для определения пределов толерантности растительных организмов и разработки подходов к биоутилизации металлургических шламов.

Задачи:

1. Проведение структурного и элементного анализа исследуемого высокодисперсного металлургического отхода (шлама).

2. Оценка влияния исследуемого отхода в составе культивационных сред на показатели всхожести семян сельскохозяйственных растений в лабораторных условиях.

3. Анализ биологической и хозяйственной продуктивности, оценка биохимического статуса сельскохозяйственных растений под воздействием исследуемого отхода в условиях теплицы.

4. Оценка биологической и хозяйственной продуктивности растений, выращенных в полевых условиях под воздействием металлургического шлама.

5. Исследование экологической безопасности применения шлама в растениеводстве.

6. Разработка рекомендаций по дальнейшему исследованию подходов к использованию шламовых отходов в растениеводстве.

Научная новизна работы.

В работе предложен возможный вариант использования накопленных в ходе применения традиционных способов утилизации запасов высокодисперсных отходов металлургической промышленности России (более 1250 тыс. тонн в год) в качестве микроэлементного компонента удобрений.

Новизна предлагаемого подхода заключается в попытке одновременно решить сразу две задачи – экологически безопасной биоутилизации металлосодержащих шламов и создания на их основе эффективных и дешёвых сельскохозяйственных удобрений.

Впервые в условиях лаборатории, теплицы и полевых экспериментов проведено исследование влияния шлама металлургического производства на показатели всхожести, биологической и хозяйственной продуктивности, а также на биохимические параметры распространенных сельскохозяйственных культур. Впервые проведена оценка экологической безопасности металлургического шлама, с учетом накопления его компонентов в органах растений и почве опытных участков.

Практическая значимость работы.

Впервые сформулированы практические рекомендации для разработки подходов к использованию шлама в качестве компонента микроэлементных удобрений, установлены оптимальные и пороговые концентрации для рапса ярового, свеклы сахарной и льна посевного.

Результаты исследований используются в учебном процессе по дисциплинам «Биоиндикация окружающей среды», «Расчёты и прогнозирование в экологии», «Экологическая токсикология», «Техногенные системы и экологический риск» у студентов специальности «Экология и природопользование».

Разработаны объекты интеллектуальной собственности: «Способ экологически чистой биоконверсии высокодисперсных отходов металлургической

индустрии, содержащих тяжелые металлы» (Пат. №2541642) Российская Федерация, «Способ приготовления водных суспензий высокодисперсных материалов с использованием ультразвуковой обработки» (ноу-хау Свид. №2013–0002 от 19.06.2013 г.).

Основные положения диссертации, выносимые на защиту:

1. В лабораторных, тепличных и полевых условиях установлено достоверное воздействие металлургического шлама на всхожесть, развитие вегетативных органов, активность ферментов антиоксидантной системы, содержание фотосинтетических пигментов и урожайность растений рапса ярового, свеклы сахарной и льна посевного.

2. Почвенное использование исследуемого отхода при норме внесения до 4 т/га не приводит к накоплению металлов в почве до значений, превышающих уровень ПДК (СанПиН № 42–123–4089–86; ГН 2.1.7.2041–06).

3. Металлургический шлак, при нормах внесения 0,5 т/га и 2 т/га, является перспективным материалом для дальнейших исследований по разработке микроэлементных удобрений для рапса ярового, свеклы сахарной и льна посевного.

Апробация работы. Результаты исследований были доложены и обсуждены на всероссийских и международных научно–практических конференциях: научно–практический семинар «Наноматериалы и живые системы. Технологии медицины», НИТУ «МИСиС», Москва, 2013; I международная научно–техническая конференция «Научно–технический прогресс в черной металлургии», Череповец, 2013; научно–практический семинар «Наноматериалы и живые системы», НИТУ «МИСиС», Москва, 2014; 7–ая Всероссийская научно–практическая конференция с международным участием «Экологические проблемы промышленных городов», Саратов, 2015; 19–ая Международная Пушкинская школа–конференция молодых ученых «БИОЛОГИЯ – НАУКА XXI ВЕКА», Пушкино, 2015; III Международная молодежная научно–практическая конференция "Междисциплинарные проблемы нанотехнологий, биомедицины и нанотоксикологии", Тамбов, 2015; Всероссийская научная конференция "Растения в условиях глобальных и локальных природно–климатических и антропогенных воздействий", Петрозаводск, 2015; II международная научно–техническая конференция «Научно–технический прогресс в черной металлургии – 2015», Череповец, 2015; 2–nd International Young Scientists School “NANOSTRUCTURED MATERIALS”, Tomsk, 2016.

Публикации. По теме диссертации опубликовано 10 работ, из них 4 работы в изданиях, рекомендованных ВАК РФ.

Структура и объём диссертации. Диссертационная работа изложена на 143 страницах, содержит 12 таблиц, 100 рисунков и состоит из следующих разделов: введение, обзор литературы, материалы и методы исследований, результаты исследований и их обсуждение, выводы, практические предложения, список использованной литературы (291 источник, 172 из которых – иностранные).

Личный вклад автора заключается в поиске и анализе литературы по теме диссертации, постановке цели и задач исследования, в организации и проведении экспериментальных работ по оценке влияния металлургического шлама на сельскохозяйственные растения в лабораторных, тепличных и полевых условиях, анализе и обработке полученных результатов. Автором были разработаны научно-методические подходы для дальнейших работ по созданию технологии утилизации металлургических шламов с получением микроэлементных комплексов и почвенных мелиорантов.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В **главе 1** «Обзор литературы» описаны существующие проблемы рециклинга и утилизации шламовых отходов доменного производства, приведены примеры использования шламовых отходов в сельском хозяйстве, особое внимание уделено биологически активным микроэлементам в составе доменного шлама.

Глава 2. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

2.1 Объект исследования

Для исследования был выбран высокодисперсный отход металлургического производства – шлам газоочистки доменного цеха ОАО «Северсталь» г. Череповец. Исследуемый образец металлургического шлама был получен путем отбора и перемешивания 10–ти образцов осадка сточной воды газоочистки доменного цеха, отфильтрован на вакуумном фильтре, высушен при комнатной температуре в течение 48 ч. Сухой шлам гомогенизировался с помощью механической ступки.

2.2 Тест-объекты

В качестве тест–объектов были выбраны 12 сельскохозяйственных культур: горчица белая (*Sinapis alba* L., 1753), сорт «Радуга»; клевер красный (*Trifolium rubens* L., 1753), сорт «Трубетченский»; козлятник восточный (*Galega orientalis* L., 1753), сорт «Гале»; лён–долгунец (*Linum usitatissimum* L., 1753), сорт «Лидер»; люцерна посевная (*Medicago sativa* L., 1753), сорт «Вега 87»; пшеница озимая (*Triticum aestivum* L., 1753), сорт «Престиж»; рапс яровой (*Brassica napus* L., 1753), сорт «Липецкий»; фацелия пижмолистная (*Phacelia tanacetifolia* Benth., 1810), сорт «Радуга»; эспарцет песчаный (*Onobrychis arenaria* L., 1753), сорт «Розовый 89»; свекла сахарная (*Beta vulgaris* L., var. *saccharifera*, 1753), сорт «Львовская односемянная 52»; овес посевной (*Avena sativa* L., 1753), сорт «Яков (ЭС)»; кукуруза сахарная (*Zea mays* L., 1753), сорт «Ранняя Золотая 401».

Выбор тест-объектов осуществлялся с учетом принадлежности преимущественно к техническим культурам или растениям – сидератам.

2.3 Методики исследования

Для определения химического состава металлургического шлама, был проведён подробный химический анализ образца по стандартным методикам: ГОСТ 23 581.1–79; ГОСТ 26 482–90; ПНД Ф 16.3.24–2000; ПНД Ф 16.1.41–04;

ГОСТ 23 581.17–81; ГОСТ Р 53657–2009; ГОСТ 23 581.16–8; ГОСТ 23 581.15–81; ГОСТ 23 581.13–79; ГОСТ 23 581.20–81; ГОСТ 23 581.19–91.

Исследование фазового состава проводили при помощи качественного рентгенофазового анализа на настольном рентгеновском дифрактометре Дифрей 401 (ЗАО «Научные приборы», г. Санкт–Петербург) (Дзидзигури и др., 2013).

Данные по распределению частиц металлургического шлама по размерам (гранулометрическому составу) были получены в ходе лазерного дифракционного анализа (ISO13320 (2009)), осуществленного на установке Fritsch Analysette 22 NanoТес в режиме анализа субмикро– и микродисперсного диапазона.

Морфология агрегатов частиц исследуемого шлама была исследована на сканирующем микроскопе HITACHI TM – 1000 (Оура и др., 2006).

Изучение влияния шлама металлургического производства на сельскохозяйственные культуры осуществлялось в три этапа. В условиях лаборатории проводилась первичная оценка воздействия шлама, с целью выбора растений наиболее толерантных к компонентам шлама. В тепличном исследовании анализировали действие шлама на выбранные по итогам лабораторных опытов растения в контролируемых условиях. Полевой эксперимент позволил учесть влияние почвенно–климатических факторов и оценить бионакопление компонентов шлама в условиях агропромышленного производства.

Лабораторный эксперимент проводили согласно ГОСТ 12038–84. В ходе эксперимента определяли показатели всхожести, а также морфометрические параметры проростков.

Диспергирование шлама в воде осуществлялось в соответствии с разработанным в ходе исследования ноу–хау «Способ приготовления водных суспензий высокодисперсных материалов с использованием ультразвуковой обработки». Рабочие концентрации шлама: 0,001...10%. Полученными суспензиями увлажняли бумажные фильтры или песок (ГОСТ 12038–84), помещённые в чашки Петри, на которые впоследствии высевали семена.

Для выращивания растений в условиях теплицы готовилась искусственная почва (ГОСТ Р ИСО 22030 – 2009) с добавлением металлургического шлама в концентрациях: 0,001%, 0,01%, 0,1%, 1% и 10%. Контроль – искусственная почва без добавления шлама. В ёмкость для проращивания высевалось по 30 семян. Через 14 недель анализировали показатели всхожести, морфометрические параметры и развитие органов генеративной сферы растений. Определение активности полифенолоксидазы, каталазы, пероксидазы, а также и содержания хлорофиллов и каротиноидов осуществлялось фотометрически (Ермаков и др., 1987; Сибгатуллина и др., 2011; Аеву, 1984; Бояркин, 1951; Чупахина, 2000) при помощи спектрофотометра СФ–2000 (ЗАО «ОКБ СПЕКТР», Россия).

Полевые исследования проводились согласно методикам Доспехова Б.А. (1985). Место проведения исследований – агробиостанция Социально–педагогического института ФГБОУ ВО «МичГАУ». Почва агробиостанции - аллювиально–луговая насыщенная глееватая среднесуглинистая. Содержание

элементов питания в верхних слоях: P_2O_5 - 11,2-22,4 мг/100г; K_2O - 22,4–35,5 мг/100г; N (щелочногидролизуемый) – 22,5–26,4 мг/100г, кислотность водной вытяжки из почвы – 6,8 – 7,0 (Степанцова, Красин, 2012). Для исследования брали дозы шлама: 0,5 т/га; 2 т/га; 4 т/га. Нормы внесения были выбраны с учетом требований ГОСТ Р 17.4.3.07–2001. Контроль – почва биостанции. Внесение проводили перед посевом семян, проливая почву водной суспензией шлама. Норма высева семян была взята по верхней рекомендованной дозе: лён – 40 кг/га, рапс – 6 кг/га, свёкла – 20 кг /га (Ващенко и др., 1991).

Учетные показатели:

- показатели биологической продуктивности: масса растений с 1 м², в том числе размерные показатели (высота, площадь листьев), чистая продуктивность фотосинтеза, определение площади листьев методом высечек (Третьяков и др., 1990);
- показатели хозяйственной продуктивности: масса хозяйственно ценной части урожая, семенная продуктивность (рапс, лен), качественные показатели хозяйственного урожая (Ващенко и др., 1991).

Методы описательной статистики включали в себя оценку среднего арифметического (M), среднеквадратичное отклонение (S) (Ивантер, Коросов, 2010) с использованием программы Excel 2007 (MS Office 2007, США). Определение достоверности различий между качественными показателями сравниваемых групп проводили с использованием t-критерия Стьюдента и критерия Фишера, полученные данные проверялись на нормальность распределения с помощью тестов Шапиро-Уилка и Колмогорова-Смирнова (Гланц, 1998; Васильева, 2007; Ивантер, Коросов, 2010).

В растительных образцах осуществлялся поиск содержащихся в шламе металлов, концентрация которых в продовольственном сырье и пищевых продуктах регламентируется российским законодательством (СанПин № 42–123–4089–86): свинец, кадмий, железо, цинк, медь.

Содержание металлов в растительных пробах определяли атомно-абсорбционным методом согласно методикам регламентируемым ГОСТ (свинец – ГОСТ 26932–86 Сырье и продукты пищевые. Методы определения свинца; кадмий – ГОСТ 26933–86 Сырье и продукты пищевые. Методы определения кадмия; железо – ГОСТ 27998–88 Корма растительные. Методы определения железа; цинк – ГОСТ 26934–86 Сырье и продукты пищевые. Метод определения цинка; медь – ГОСТ 26931–86 Сырье и продукты пищевые. Методы определения меди) на базе ФГБУ «Государственный центр агрохимической службы Тамбовский».

В почве с опытных делянок анализировались: свинец, марганец, медь, кобальт, цинк, хром, никель (МУ по определению тяжелых металлов в почвах сельхозугодий и продукции растениеводства, 1992; РД 52.18.289–90). Анализ распределения металлов в гомогенатах органов экспериментальных растений осуществлялся на сканирующих электронных микроскопах Neon 40 и Merlin (Carl Zeiss, Германия) (Ma, Gurung and Deng, 2013).

Глава 3. РЕЗУЛЬТАТЫ

3.1 Результаты физико–химического исследования образца металлургического шлама

Результаты анализа химического состава исследуемого образца шлама приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Химический состав образца металлургического шлама

Наименование компонента	Результат измерения, %	Неопределенность, %
Гигроскопическая влага	0,68	±0,20
Железо металлическое	<1	–
Железо общее	38,4	±9,1
Марганец	0,086	±0,029
Медь	<0,025	–
Нефтепродукты	0,028	±0,011
Никель	<0,05	–
Оксид алюминия	1,38	±0,39
Оксид железа (II)	3,44	±0,17
Оксид кальция	4,08	±0,59
Оксид кремния (IV)	5,87	±0,59
Оксид магния	1,67	±0,29
Потери при прокаливании	39,3	±0,7
Сера	0,42	±0,1
Фосфор	0,043	±0,098
Хром (III)	0,117	±0,018
Цинк	8,30	±0,72

Исследованный в данной работе шлам характеризуется содержанием железа общего 38,4 % масс. Наибольшей концентрацией из тяжелых металлов представлен цинк – 8,3 % масс. В ходе рентгенофазового анализа установлено, что большая часть железа находится в виде оксида Fe_2O_3 и феррита цинка Fe_2ZnO_4 , часть цинка присутствует в составе фазы вюрцита ZnS . Лазерный дифракционный анализ показал, что размер частиц шлама лежит в диапазоне от 0,1 до 100 мкм. Порошок шлама состоит как из агломератов, так и из отдельных частиц с иррегулярной морфологией и различной дисперсностью.

Таким образом, установлено, что выбранный для исследования образец шлама в основном содержит железо – 85,6 % масс и цинк – 8,3 % масс, которые представлены в виде соединений. Размер частиц – от 0,1 до 100 мкм.

3.2 Результаты исследования влияния шлама металлургического производства на сельскохозяйственные культуры

В ходе лабораторного опыта для большинства культур не удалось выявить концентрации шлама, оказывающие положительное влияние на все исследуемые параметры. Для горчицы, козлятника, льна, люцерны, пшеницы, эспарцета и кукурузы при увеличении вегетативных показателей проростков в ряде концентраций практически во всех случаях наблюдалось подавление всхожести семян. В случае с фацелией помимо снижения показателей всхожести отмечено также ингибирование развития корневой системы. Овес же наоборот проявил

положительный отклик в виде небольшого увеличения всхожести, но морфометрические показатели были в целом ниже контрольных. Однако для клевера, рапса и свеклы были выявлены концентрации, при которых наблюдалась стимуляция всех фиксируемых показателей (выделено курсивом) (табл. 2 – 4).

Таблица 2 – Влияние металлургического шлама на показатели всхожести и развития семян клевера ($M \pm S$; $n=150$)

Вариант	Энергия прорастания, %	Всхожесть, %	Средняя длина корня, %	Средняя длина стебля, %	Средняя масса корня, %	Средняя масса стебля, %
Контроль	61±6,1	72±3,8	100±3,4	100±2,1	100±3,0	100 ±1,5
0,001	77±3,6*	89±2,2*	86,3±2,8*	124,1±4,9*	98,8±2,8	151,7±3,7*
0,01	79±3,2*	89±1,3*	102,3±4,6	128,5±3,2*	101,4±1,6	152,3±2,4*
0,1	70±1,8*	65±1,5*	92,2±3,9*	128,3±1,6*	99,3±2,5	101,3±1,4
<i>1</i>	<i>84±4,6*</i>	<i>89±4,0*</i>	<i>109,9±1,7*</i>	<i>147,9±2,3*</i>	<i>105,1±2,1*</i>	<i>202,8±3,7*</i>
10	73±3,3*	73±2,7	90,5±1,3*	141,8±3,1*	100,6±3,9	151,1±2,0*

* здесь и далее обозначены варианты, в которых отмечено достоверное различие с контрольными значениями при $p < 0,05$)

Как видно из таблицы 2, все концентрации шлама стимулировали процессы прорастания и последующую вегетацию клевера. Максимальный положительный эффект отмечен при 1% шлама (на 47% увеличивалась длина стеблей и на 100% – масса). Данную концентрацию можно считать наиболее благоприятной, т.к. в этом случае отмечено позитивное влияние на все исследуемые показатели.

Под действием шлама наблюдалось снижение энергии прорастания и всхожести семян рапса, за исключением варианта 0,1%, где отмечена стимуляция анализируемых показателей (табл. 3). В то же время, внесение шлама оказало положительное влияние на показатели вегетации. Так, отмечено увеличение средней длины корня на 50–90% и стебля на 15–74%. На прирост массы корня шлам оказал не столь значительное влияние, однако средняя масса стебля увеличилась на 28% при концентрациях 0,1 и 10%, снизилась на 15% при 0,01% шлама в среде.

Таблица 3 – Влияние металлургического шлама на показатели всхожести и развития семян рапса ($M \pm S$; $n=150$)

Вариант	Энергия прорастания, %	Всхожесть, %	Средняя длина корня, %	Средняя длина стебля, %	Средняя масса корня, %	Средняя масса стебля, %
Контроль	80±4,2	83±2,1	100±4,0	100±2,3	100±3,8	100±2,7
0,001	66±5,4*	67±4,0*	159,6±3,9*	115,6±2,1*	101,3±2,9	100,2±3,7
0,01	49±5,0*	53±2,3*	152,6±2,1*	146,4±3,7*	109,0±1,9*	85,7,4±3,1*
<i>0,1</i>	<i>87±4,1*</i>	<i>90±1,5*</i>	<i>157,6±1,9*</i>	<i>114,6±2,6*</i>	<i>111,2±2,7*</i>	<i>128,5±4,6*</i>
1	62±2,1*	67±2,4*	194,0±4,5*	134,3±4,1*	121,9±4,5*	100,2±2,2
10	68±3,2*	70±3,3*	161,7±3,2*	174,8±4,8*	118,8±3,6*	128,6±3,1*

Результаты исследования влияния шлама металлургического производства на морфофизиологические показатели свеклы представлены в таблице 4.

Таблица 4 – Влияние металлургического шлама на показатели всхожести и развития семян свеклы (M±S; n=150)

Вариант	Энергия прорастания %	Всхожесть %	Средняя длина корня, %	Средняя длина стебля, %	Средняя масса корня, %	Средняя масса стебля, %
Контроль	43±1,2	81±1,1	100±2,9	100±3,7	100±1,5	100±4,1
0,001	60±3,4*	97±1,7*	187,5±5,0*	237,7±2,4*	212,1±2,9*	251,3±2,9*
0,01	35,5±1,8*	67±2,8*	117,1±1,6*	217,5±1,6*	101±3,1	148,9±3,5*
0,1	44±2,0	70±4,1*	100,4±3,8	197,0±2,2*	98,7±2,1	108,5±1,8*
1	48±4,9	87±2,3*	101,7±3,2	114,2±4,1*	101,6±4,4	99,5±4,5
10	41±3,2	67±4,7*	164,0±1,9*	167,9±2,8*	105,1±1,7*	101,1±2,8

Внесение в культивационную среду шлама в целом снизило показатели всхожести семян свеклы, но при этом отмечена стимуляция показателей вегетации, максимальные значения наблюдались при концентрации 0,001% – увеличение в 2 – 2,5 раза. При этой же концентрации всхожесть была выше контрольных значений.

Таким образом, наиболее благоприятными концентрациями стали: для клевера – 0,1 и 1%, для рапса – 0,1%, и для свеклы – 0,001%. Полученные данные свидетельствуют о высокой биологической активности компонентов шлама, вероятно связанной с тем, что микроэлементы в составе шлама находятся в высокодисперсной форме (Коваленко, Фолманис, 2000). С учетом полученных результатов и экономической целесообразности, для дальнейших экспериментов в теплице были выбраны рапс яровой и свекла сахарная. Кроме того был использован лен, не показавший положительного отклика на внесение шлама в культивационную среду, но являющийся важной технической культурой Вологодской области, где расположен металлургический комбинат ОАО «Северсталь» (г. Череповец), шламовые отходы которого исследовались в настоящей работе.

В результате **тепличного эксперимента** установлено следующее:

Рапс яровой. При внесении шлама в субстрат наблюдалось замедление прорастания семян рапса, в то же время увеличилась всхожесть, особенно на средних концентрациях (максимально +23% при 0,1% шлама) (рис. 1 (а)), в этой же группе активность каталазы и пероксидазы была ниже контрольных значений (табл. 5). Данный факт может быть свидетельством благоприятности условий для рапса, либо снижение активности этих ферментов компенсируется повышением активности полифенолоксидазы (табл. 5), происходящим под действием тяжелых металлов, что является защитным механизмом (Ali и др., 2006; Mourato, Martins and Reis, 2012) Максимальный прирост биомассы отмечен при 1%, однако в этой группе растений так и не начался процесс цветения (рис. 1 (б, в)). Результаты сопоставимы с данными исследования растительных пигментов (рис. 2 (а, б)) – в этом варианте зафиксировано наибольшее их содержание. Положительное влияние железа и меди на всхожесть и урожайность зеленой массы отмечено многими исследователями, в

частности в работах Сушилиной (2004) и Чурилова (2009) показано стимулирующее действие этих металлов. Максимальное развитие хозяйственно ценных признаков (масса семян) зафиксировано при концентрации 0,1% (рис. 1 (г)).

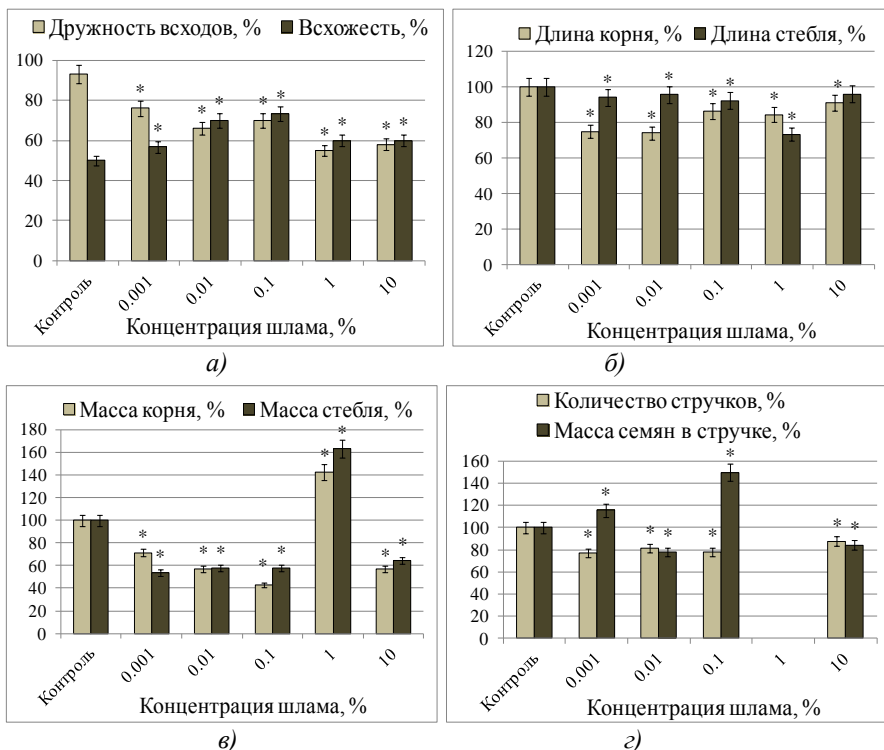


Рисунок 1 – Влияние шлама на: а) показатели всхожести; б) вегетативные показатели; в) биомассу; г) показатели развития хозяйственно–ценных признаков растений рапса; n = 90

Таблица 5 – Активность ферментов антиоксидантной системы рапса

Концентрация, %	Активность полифенолоксидазы, ед. акт. / 1 г. сух. вещества	Активность каталазы, ед. акт. / 1 г. сух. вещества	Активность пероксидазы, ед. акт. / 1 г. сух. вещества
Контроль	0.0854409	0.001063	0.000082
0,001	0.0382883 ↓	0.002531 ↑	0.000052 ↓
0,01	0.0765766 ↓	0.000531 ↓	0.000026 ↓
0,1	0.1148648 ↑	0.000719 ↓	0.000013 ↓
1	0.0765766 ↓	0.002625 ↑	0.000039 ↓
10	0.1148648 ↑	0.000906 ↓	0.000052 ↓

Здесь и далее ↓↑ – снижение или повышение активности относительно контроля

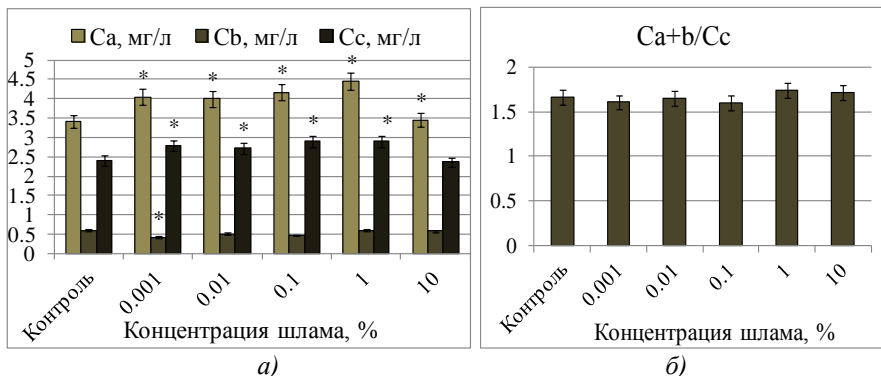
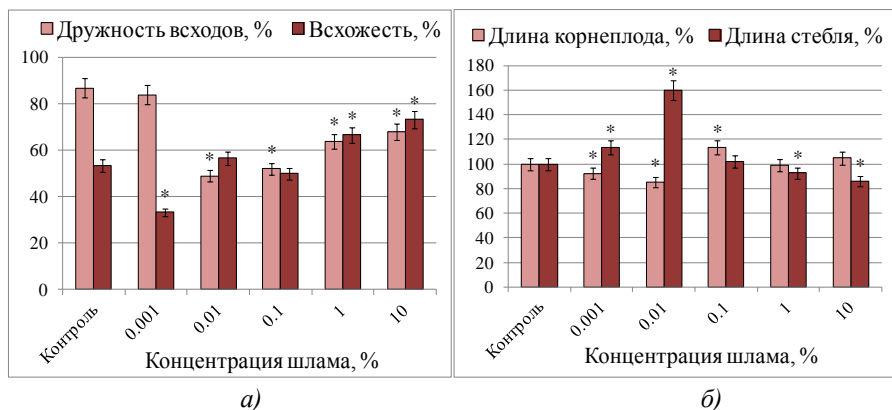
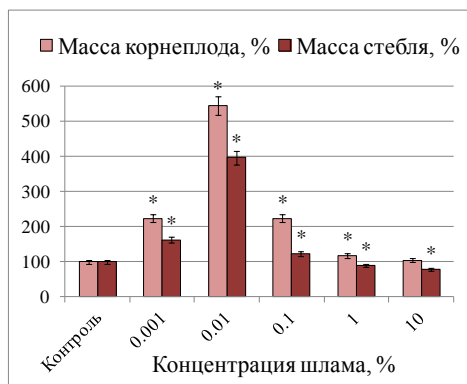


Рисунок 2 – Влияние шлама на содержание хлорофилла а, b и каротиноидов (а) и отношение Ca+b/Cc (б) в растениях рапса

Анализируя результаты, полученные в тепличном эксперименте, нельзя сделать однозначные выводы о влиянии шлама на рапс яровой, однако наиболее важные при выращивании рапса параметры (всхожесть и масса семян) стимулировались при 0,1%-ой концентрации шлама в субстрате, показавшей положительный эффект и в лабораторных условиях.

Свекла сахарная. Как и в случае с рапсом наблюдалось снижение скорости прорастания и повышение всхожести, только, в отличие от рапса, на максимальных концентрациях (рис. 3 (а)). Наибольшее накопление биомассы и развитие хозяйственно-ценных признаков отмечено при концентрации 0,01% (рис. 3 (б, в)). Показатели активности ферментов антиоксидантной системы при этой концентрации в целом оказались ниже контрольных (табл. 6), что может свидетельствовать об отсутствии стресса для растений.





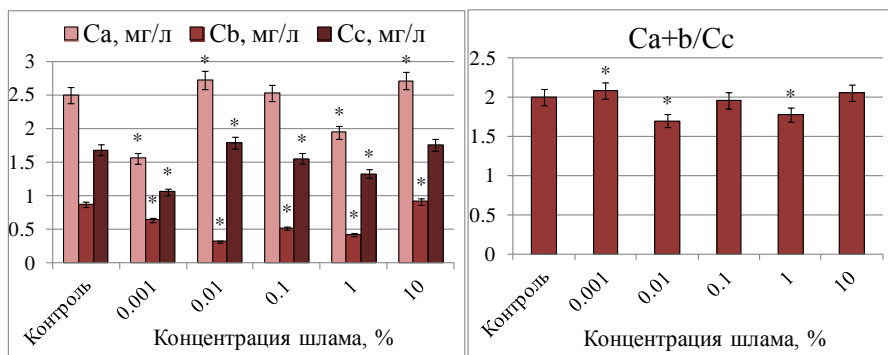
б)

Рисунок 3 – Влияние шлама на: а) показатели всхожести; б) вегетативные показатели; в) биомассу свеклы; n = 90

Таблица 6 – Активность ферментов антиоксидантной системы свеклы

Концентрация, %	Активность полифенолоксидазы, ед. акт. / 1 г. сух. вещества	Активность каталазы, ед. акт. / 1 г. сух. вещества	Активность пероксидазы, ед. акт. / 1 г. сух. вещества
Контроль	0.1957	0.003555	0.00008
0,001	0.0789 ↓	0.003795 ↑	0.00031 ↑
0,01	0.0263 ↓	0.003812 ↑	0.00005 ↓
0,1	0.0789 ↓	0.002609 ↓	0.00016 ↑
1	0.2367 ↑	0.002761 ↓	0.00099 ↑
10	0.1841 ↓	0.00393 ↑	0.00193 ↑

Наиболее интенсивный синтез пигментов наблюдался в группе 10%, минимальные показатели зафиксированы при 0,0001% шлама в субстрате (рис. 4).



а)

б)

Рисунок 4 – Влияние шлама на содержание хлорофилла а, b и каротиноидов (а) и отношение Ca+b/Cc (б) в растениях свеклы

Полученные данные показывают, что для сахарной свеклы оптимальными стали средние концентрации шлама, в частности – 0,01%, при которой наблюдалось наилучшее развитие хозяйственно–ценных признаков. Возможно, это связано с недостатком микроэлементов в контрольном субстрате, что привело к отклонению от нормы роста растения или к прекращению развития. В то же время избыток питания также вызывает метаболические нарушения в растении. Кроме того, одни и те же элементы в зависимости от условий среды могут тормозить или усиливать поступление других элементов (Ягодин и др., 1974).

Лен посевной. Для льна, как и для рапса и свеклы, отмечено подавление энергии прорастания семян, при повышении их всхожести при низких и высоких концентрациях. Такие хозяйственно–ценные параметры, как масса стебля, количество и масса коробочек максимально возрастали в группах 1 и 10% (рис. 5).

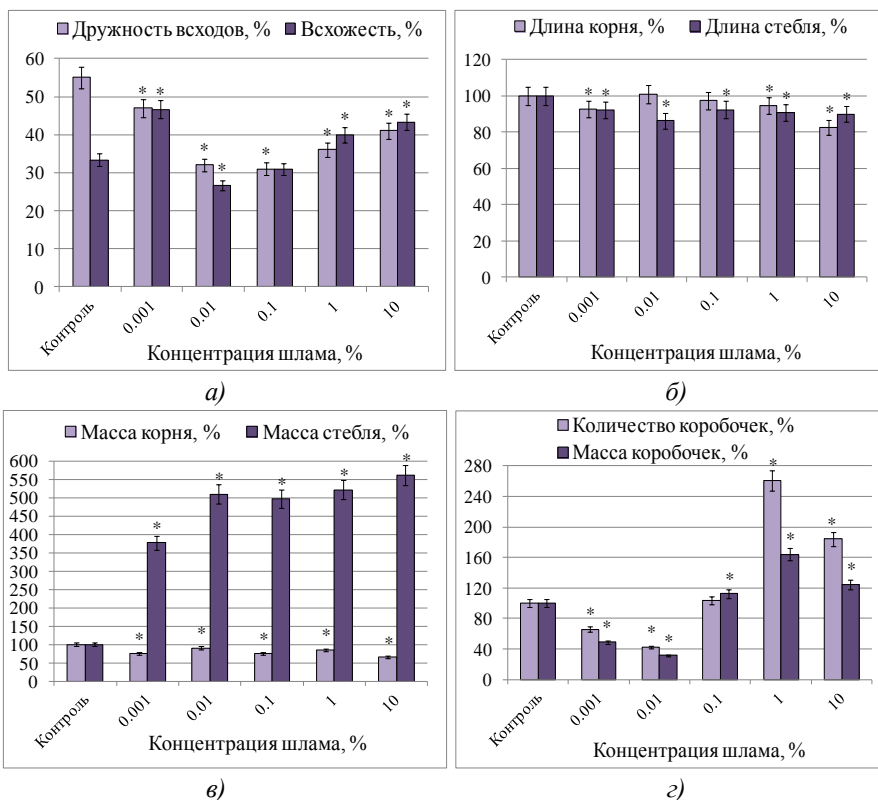


Рисунок 5 – Влияние шлама на: а) показатели всхожести; б) вегетативные показатели; в) биомассу льна; г) развитие генеративных признаков льна посевного; n = 90

Исследование влияния шлама на активность ферментов показало существенное повышение активности полифенолоксидазы при концентрациях выше 0,001% (табл. 7), что может быть связано с наличием меди в шламе, т.к. полифенолоксидаза является медьсодержащим ферментом и при добавлении Cu^{2+} происходит его активация. Активность каталазы имеет максимальные значения при дозе 0,001% и снижается до контрольных значений при увеличении содержания шлама до 10% (табл. 7). В случае пероксидазы, все показатели активности в экспериментальных группах были существенно ниже контрольных (табл. 7). Вероятно, с этим связан существенный прирост стеблей у экспериментальных растений, т.к. отвечающий за рост гормон ауксин ингибируется пероксидазой (Binderet al., 2007; Strader, Beisner and Bartel, 2009; Beamson and Briggs, 1992)

Таблица 7 – Активность ферментов антиоксидантной системы льна

Концентрация, %	Активность полифенолоксидазы, ед. акт. / 1 г. сух. вещества	Активность каталазы, ед. акт. / 1 г. сух. вещества	Активность пероксидазы, ед. акт. / 1 г. сух. вещества
Контроль	0.037291	0.00107	0.00025
0,001	0.049258 ↑	0.001653 ↑	0.00007 ↓
0,01	0.541842 ↑	0.001406 ↑	0.00009 ↓
0,1	0.37121 ↑	0.001298 ↑	0.00007 ↓
1	0.344809 ↑	0.001306 ↑	0.00006 ↓
10	0.788134 ↑	0.00102 ↓	0.00015 ↓

Четкой зависимости концентрации хлорофилла а, b и каротиноидов в растениях льна от процентной доли шлама в культивационной среде выявить не удалось. Однако, из рисунка б (а) следует, что компоненты шлама в концентрациях ниже 10% либо не оказывали влияния, либо немного стимулировали синтез пигментов (0,001; 0,1 и 1%).

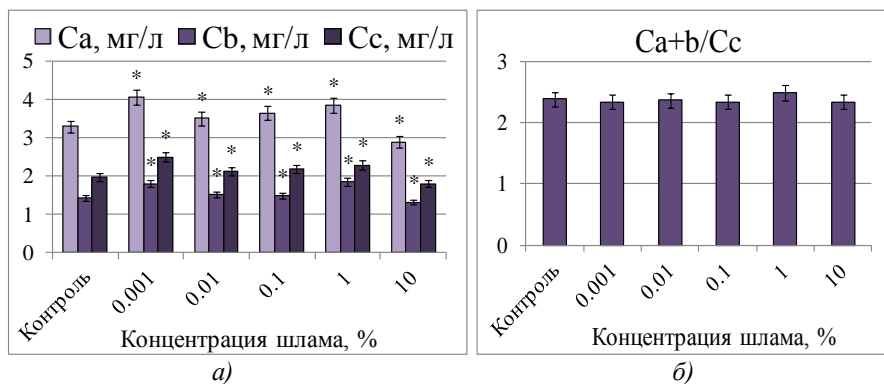


Рисунок 6 – Содержание хлорофилла a, b и каротиноидов (а) и отношение C_{a+b}/C_c (б) в растениях льна

В целом, в тепличном эксперименте установлено, что шлам замедляет процесс прорастания семян, однако увеличивает их всхожесть. Также выявлены концентрации шлама, стимулирующие развитие хозяйственно–ценных признаков исследуемых культур в условиях теплицы (рапс – 0,1%; свекла – 0,01%, лен – 1%). Однозначных выводов о влиянии шлама на биохимические показатели растений сделать не удалось т.к. содержащиеся в шламе тяжелые металлы, с одной стороны, являются важными микроэлементами, и в небольших количествах участвуют в нормальном функционировании антиоксидантной и фотосинтетической систем, с другой стороны, избыток этих металлов вызывает стресс и активацию защитных систем растений (Emamverdian et al., 2015). Полученные результаты свидетельствуют о видоспецифичности концентрационных эффектов шлама.

В ходе проведения **полевых исследований** получены следующие результаты:

Рапс яровой. Внесение шлама в дозах 0,5 т/га и 2 т/га положительно отразилось на показателях фотосинтетической деятельности растений рапса ярового (табл. 8), что может быть связано с наличием в шламе марганца, который участвует в деятельности фотосистемы II (ФС II) (Arya and Roy, 2011), а также играет важную роль в защите ФС (X. Hou and H. J. M. Hou, 2013).

Таблица 8 – Показатели фотосинтетической деятельности растений рапса ярового в зависимости от дозы внесения шлама

Вариант	Сухое вещество, г/растение	Площадь листьев, см ² /растение	Фотосинтетический потенциал, тыс. м ² в сут./га		
			стеблевание – бутонизация	бутонизация – цветение	цветение – созревание
Контроль	12,63	704,71	261	491	433
0,5 т/га	20,65	1118,37	307	515	459
2 т/га	21,12	1189,50	300	537	463
4 т/га	12,51	691,33	248	505	407
НСР ₀₅ *	2,7	115,7	–	–	–

*здесь и далее НСР₀₅ – наименьшая существенная разность с 95%-м уровнем вероятности

При тех же нормах внесения показатели роста и урожайности превышали контрольные значения (рис. 7). Максимальное развитие хозяйственно ценных признаков (количество стручков и масса семян) наблюдалось при дозе 2 т/га. Норма внесения 4 т/га либо оказывала несущественное влияние, либо подавляла фиксируемые показатели.

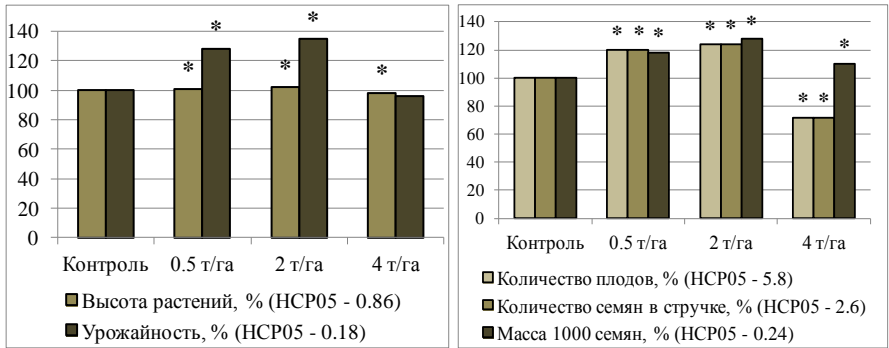


Рисунок 7 – Показатели роста и урожайности рапса в зависимости от дозы внесения шлама; n = 90

Свёкла сахарная. Наилучшие показатели фотосинтетической деятельности зафиксированы в вариантах 0,5 т/га и 2 т/га (табл. 9).

Таблица 9 – Показатели фотосинтетической деятельности свеклы сахарной в зависимости от дозы внесения шлама

Вариант	Площадь листьев тыс. м ² /га	ЧПФ г/м ² сутки
Контроль	14,2	7,2
0,5 т/га	16,6	9,3
2 т/га	16,8	8,9
4 т/га	15,2	8,6
НСР ₀₅	0,6	0,4

Масса растений в опытных вариантах была выше массы растений контрольного варианта, максимальные показатели в группе 2 т/га. Наибольшая масса корнеплодов наблюдалась в варианте 0,5 т/га. В то же время сахаристость корнеплодов была несколько выше в варианте 2 т/га (рис. 8), однако пересчёт выхода сахара на 1 га показал, что концентрация 0,5 т/га более предпочтительна.

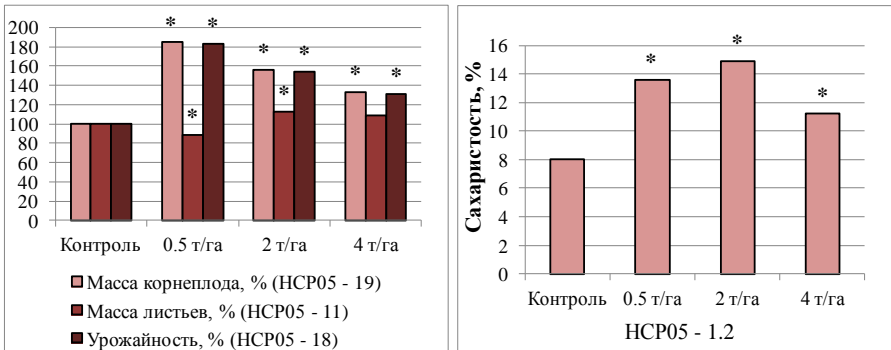


Рисунок 8 – Влияние шлама на показатели биологической и хозяйственной продуктивности сахарной свёклы; n = 90

Кроме того, во время опыта на листьях контроле отмечено большое количество некротических пятен, на листьях экспериментальных растений этого не наблюдалось. Данное явление может свидетельствовать о том, что шлам обладает фитопротекторными свойствами.

Лен посевной. Все дозы шлама оказали положительное влияние на фотосинтетическую деятельность растений льна – максимальные показатели фотосинтетической активности наблюдались в варианте с внесением 0,5 т/га (табл. 10).

Таблица 10 – Основные фотосинтетические показатели посевов льна (фаза цветения)

Вариант	Площадь листьев тыс. м ² /га	ФСП, тыс. м ² дн./га	Урожай сухой биомассы, т/га	ЧПФ, г/(м ² дн.)
Контроль	18,07	371	2,65	7,43
0,5 т/га	20,76	438	3,71	8,33
2 т/га	20,03	407	3,38	8,12
4 т/га	19,38	379	2,95	7,86
НСР ₀₅	0,27	12,6	0,27	0,36

Показатели вегетации и продуктивности (рис. 10) также увеличились относительно контрольных значений, с понижением дозы с 4 до 0,5 т/га стимулирующий эффект повышался. При этой же дозе наблюдались наибольшие показатели продуктивности (количество коробочек и масса семян) (рис. 9).

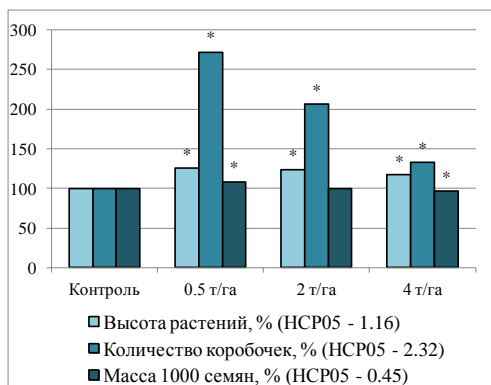


Рисунок 9 – Влияние шлама на показатели вегетации и продуктивности льна посевного; n = 90

Кроме того, в ходе эксперимента было отмечено более раннее наступление фаз развития у растений экспериментальных групп.

Таким образом, в ходе полевых исследований установлено, что металлургический шлам в дозах 0,5 т/га и 2 т/га стимулирует фотосинтетическую продуктивность растений, и увеличивает урожайность всех исследуемых культур. Полученные результаты подтверждают имеющиеся данные о том, что тяжелые металлы в небольших количествах положительно влияют на рост и развитие

растений (Jayakumar et al., 2013; Jayakumar et al., 2008; Jayakumar et al., 2007; Sharma, Sharma, 1993; Manivasagaperumal et al., 2011; Nurul Syuhada et al, 2014).

3.3 Результаты исследования экологической безопасности применения шламовых отходов в растениеводстве

Анализ содержания металлов (компонентов шлама) в тканях растений показал накопление меди и цинка в основном в семенах рапса и льна, максимально в группе 4 т/га. Для растений свеклы сахарной отмечено незначительное превышение ПДК по цинку в корнеплодах группы 2 т/га. Исследование содержания металлов в почве после уборки урожая, выращенного с использованием высокодисперсных шламовых отходов, не выявило превышения ПДК.

Электронномикроскопическое исследование характера накопления компонентов шлама в гомогенатах органов растений показал равномерное распределение меди и цинка, для железа зафиксированы очаги более плотного накопления в тканях рапса и льна. Это согласуется с результатами ряда работ (Sheoran et al., 2009; Wilson–Corral et al., 2011), в которых показан очаговый характер накопления металлов в растениях. В гомогенатах органов свеклы железо, также как и остальные металлы, характеризовалось равномерным распределением. Данные результаты могут быть использованы при разработке методов фитоэкстракции металлов из почв, загрязненных металлургическими шламами, например, при рекультивации шламонакопителей.

ВЫВОДЫ

1. Установлено, что выбранный для исследования металлургический шлам характеризуется высоким содержанием железа 85,6 % масс (в пересчете на общее содержание металлов тяжелее кальция). Наибольшей концентрацией из тяжелых металлов характеризуется цинк – 8,3 % масс. Обнаруженные металлы представлены в виде соединений. Размеры частиц шлама лежат в диапазоне от 0,1 до 100 мкм.

2. В ходе лабораторного эксперимента для клевера, рапса и свеклы выявлены концентрации шлама, благоприятно влияющие на все исследуемые показатели: для клевера – 0,1 и 1%, для рапса – 0,1%, и для свеклы – 0,001%. Для других культур при стимуляции одних признаков наблюдалось подавление других.

3. В условиях теплицы показано, что металлургический шлам является эффективным стимулятором вегетативных и генеративных процессов для исследуемых растений. Максимальное развитие хозяйственно ценных признаков отмечено у рапса при 0,1 % шлама (в 1,5 раза увеличилась масса семян), у свеклы при концентрации 0,01% (более чем в 5 раз увеличилась масса корнеплода), у льна при 1% шлама в субстрате (в 2,5 раза увеличилось количество коробочек и в 1,5 раза их масса). Оценка биохимического статуса показала, что реакция растений на внесение в культивационную среду шлама металлургического производства является видоспецифичной.

4. В ходе полевых исследований установлено, что металлургический шлам при нормах внесения 0,5 т/га и 2 т/га стимулирует фотосинтетическую активность растений, а также повышает их урожайность: рапса при 2 т/га на 146%, свеклы при

дозе 0,5 т/га на 84 %, льна на 171% при 0,5 т/га. Экспериментально установлена пороговая концентрация, составляющая 4 т/га, при которой отмечено подавление исследуемых показателей.

5. Анализ содержания регламентируемых компонентов шлама в органах растений показал некоторое превышение ПДК по меди и цинку, максимально в группе 4 т/га. Характер распределения меди и цинка в гомогенатах органов растений в целом равномерный, для железа зафиксированы очаги более плотного накопления в вариантах рапса и льна. Содержание металлов в почвах опытных участков находилось в пределах ПДК.

6. На основании полученных результатов рекомендуется проведение дальнейших исследований по разработке технологии использования металлургического шлама в качестве компонента микроэлементных удобрений для рапса ярового, свеклы сахарной и льна посевного при нормах внесения 0,5 и 2 т/га.

В разделе «**Практические предложения**» даны рекомендации по использованию результатов исследований в качестве научно-методической основы для создания перспективных экономически доступных органоминеральных комплексов и почвенных мелиорантов с учетом необходимости обеспечения экологической безопасности их применения.

СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО МАТЕРИАЛАМ ДИССЕРТАЦИИ

Статьи в отечественных изданиях перечня ВАК:

1. Бионакопление компонентов металлургического шлама в растениях свеклы / Гусев А.А., Шуклинов А.В., Акимова О.А., Захарова О.В., Васюкова И.А. // Современные проблемы науки и образования. – 2013. – № 5. – С. 11.

2. Исследование влияния металлургического шлама на растения льна на молекулярно–клеточном уровне / Шуклинов А.В., Гусев А.А., Акимова О.А., Захарова О.В., Васюкова И.А. // Современные проблемы науки и образования. – 2013. – № 5. – С. 34.

3. Влияние металлургического шлама на биохимические показатели растений ржи посевной (*Secale cereale*) / Гусев А.А., Синюткина С.Е., Шубина А.Г., Захарова О.В., Акимова О.А., Кузнецов Д.В. // Вестник Тамбовского университета. Серия: Естественные и технические науки. – 2014. – Т. 19. № 1. – С. 126–129.

4. Электронномикроскопическое исследование клеток растений кукурузы под воздействием металлургического шлама / Гусев А.А., Шуклинов А.В., Акимова О.А., Захарова О.В., Васюкова И.А. // Интернет–журнал Науковедение. – 2013. – № 5 (18). – С. 3.

Статьи в зарубежных изданиях:

5. Morphometric parameters and biochemical status of oilseed rape exposed to fine–dispersed metallurgical sludge, phmb–stabilized silver nanoparticles and multi–wall carbon nanotubes / A.A. Gusev, O.A. Akimova, O.V. Zakharova et al. // Advanced Materials Research. – 2014. – V. 880. – P. 212–218.

6. Impact of Multi-Walled Carbon Nanotubes to Rye Seedlings / A.A. Gusev, O.N. Zaytseva, O.A. Selivanova, O.V. Zakharova, A.Y. Godymchuk, D.V. Kuznetsov, A.G. Tkachev // *Advanced Materials Research*. – 2015. – Vol. 1085. – P. 237–241.

7. Study of ecologo–biological reactions of common flax to finely dispersed metallurgical wastes / O. Zakharova, A. Gusev, E. Skripnikova et al. // *IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng.* – 2015. - Vol. 98 (012018).

8. Considerable Variation of Antibacterial Activity of Cu Nanoparticles Suspensions Depending on the Storage Time, Dispersive Medium, and Particle Sizes / O.V. Zakharova, A.Yu. Godymchuk, A.A. Gusev et al. // *BioMed Research International*. – 2015. - Vol. 2015. Article ID 412530, 11 pages.

9. Antibacterial Properties of Copper Nanoparticle Dispersions: Influence of Synthesis Conditions and Physicochemical Characteristics / A. Godymchuk, G. Frolov, A. Gusev, O. Zakharova, E. Yunda, D. Kuznetsov and E. Kolesnikov. // *IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng.* – 2015. - Vol. 98 (012033).

10. Versatile synthesis of PHMB–stabilized silver nanoparticles and their significant stimulating effect on fodder beet (*Beta vulgaris* L) / A.A. Gusev, A.A. Kudrinsky, O.V. Zakharova et al. // *Materials Science and Engineering C*. – 2016. V. 62. – P. 152–159.

Тезисы:

1. Биотехнологические подходы к утилизации высокодисперсных металлургических отходов / Захарова О.В., Гусев А.А., Сенатова С.И. и др. // Сборник научных трудов по материалам 7-й Всероссийской научно–практической конференции с международным участием «Экологические проблемы промышленных городов». – Саратов. – 2015. – С. 162– 164.

2. Исследование эколого–биологических эффектов металлургического шлама на растениях свёклы сахарной / Захарова О.В., Гусев А.А., Сенатова С.И. и др. // Сборник трудов 19-й Международной Пушинской школы–конференции молодых ученых «БИОЛОГИЯ – НАУКА XXI ВЕКА». – 2015. – С. 422.

3. Антибактериальные свойства коллоидных систем на основе наночастиц меди в зависимости от дисперсной среды и времени хранения раствора / Захарова О.В., Гульченко С.И., Гусев А.А., Кузнецов Д.В. // *Сеченовский вестник*. – № 2(20). – 2015. – С. 94–95.

4. Разработка органоминеральных комплексов для растениеводства на основе высокодисперсных металлургических шламов / Гусев А.А., Захарова О.В., Скрипникова Е.В. и др. // *Научно–технический прогресс в черной металлургии: Материалы II Международной научно–технической конференции (7 – 9 октября 2015 г.) / Отв. ред. А. Л. Кузьминов*. – Череповец: ФГБОУ ВПО «Череповецкий государственный университет». – 2015. – 355 с.

5. Исследование влияния ультрадисперсного шлама металлургического производства на различных стадиях онтогенеза сельскохозяйственных растений / Захарова О.В., Гусев А.А., Скрипникова Е.В. и др. // *Растения в условиях глобальных и локальных природно–климатических и антропогенных воздействий: Тезисы докладов Всероссийской научной конференции с международным*

участием и школы для молодых ученых (21–26 сентября 2015 г.). Петрозаводск: Карельский научный центр РАН. – 2015. – С. 201.

Благодарности. Автор выражает искреннюю благодарность научному руководителю – к.с.–х.н, Гусеву А.А., за неоценимую помощь в подготовке работы. Огромное спасибо к.т.н. Кузнецову Д.В. (НИТУ «МИСиС») за консультации и поддержку на всех этапах работы над диссертационным проектом. Отдельная благодарность коллегам, внесшим вклад в проведение экспериментальных исследований – Скрипниковой Е.В., Скрипниковой М.К. (МичГАУ), Селивановой О.А. (ТГУ им. Г.Р. Державина), а также Шуклинову А.В. (ТГУ им. Г.Р. Державина) за помощь в проведении электронно–микроскопических исследований.

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ (ГК от 22 февраля 2013 г. № 14.512.12.0002).

Захарова Ольга Владимировна (Российская Федерация)
Воздействие высокодисперсного металлургического шлама на сельскохозяйственные растения

Работа направлена на исследование морфофизиологических реакций сельскохозяйственных растений на воздействие высокодисперсного металлосодержащего отхода в лабораторных, тепличных и полевых условиях для определения пределов толерантности растительных организмов и разработки подходов к биоутилизации металлургических шламов.

Показано, что исследуемый металлургический шлак характеризуется высоким содержанием железа (85,6 % масс) и цинка (8,3 % масс). Обнаруженные металлы представлены в виде соединений. Размеры частиц шлама лежат в диапазоне от 0,1 до 100 мкм.

В лабораторных, тепличных и полевых условиях установлено достоверное изменение таких показателей, как всхожесть, развитие вегетативных органов, активность ферментов антиоксидантной системы, содержание фотосинтетических пигментов и урожайность растений рапса ярового, свеклы сахарной и льна посевного под воздействием металлургического шлама.

Почвенное использование исследуемого отхода при норме внесения до 4 т/га не приводит к накоплению металлов в почве до опасных значений.

Металлургический шлак, при нормах внесения 0,5 т/га и 2 т/га, является перспективным материалом для дальнейших исследований по разработке микроэлементных удобрений для рапса ярового, свеклы сахарной и льна посевного.

Zakharova Olga Vladimirovna (Russian Federation)
Impact of highly dispersed metallurgical sludge on agricultural plants

The work focused on the study of morphological and physiological responses of crops to the impact of highly dispersed metallurgical waste in the laboratory, greenhouse and field conditions to determine the limits of tolerance of plant organisms and the development of approaches to bio utilization of metallurgical sludge.

It is shown that the analyzed metallurgical sludge has a high iron content (85.6 wt%) and zinc (8.3 wt%). Detected metals are presented in the form of compounds. Particles sizes were in the range of 0.1 to 100 microns.

In the laboratory, greenhouse and field conditions found significant effects of metallurgical sludge on germination, growth of vegetative organs, the activity of antioxidant enzymes, the contents of photosynthetic pigments and productivity of spring rape plants, sugar beet and flax seed.

Soil usage of the sludge up to 4 t / ha does not lead to the accumulation of metals in the soil up to dangerous levels.

Metallurgical sludge at application rates of 0.5 t / ha and 2 t / ha, is a promising material for further research on the development of micronutrient fertilizers for spring rape, sugar beet and flax seed.