

**Муниципальное автономное общеобразовательное учреждение  
«Гимназия № 12 имени Г.Р. Державина»  
города Тамбова**

**Оценка применимости шламов металлургического производства в  
качестве источника микроэлементов в растениеводстве**

Автор: Захаров Евгений, учащийся 9 класса  
Научный руководитель: Гусев А. А.  
д.б.н., директор НИИ экологии и биотехнологии  
ТГУ имени Г. Р. Державина,  
Попова Е.В., учитель биологии

Тамбов 2021

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение	3
Глава 1 Обзор литературы	6
1.1 Проблемы использования и переработки металлургических отходов	6
1.2 Примеры использования металлургических отходов	8
Глава 2 Материалы и методы исследования	12
2.1 Объект исследования	12
2.2 Тест-объекты	17
2.3 Методика исследования	18
Глава 3 Результаты исследования	22
Заключение	24
Список использованных источников	25

## ВВЕДЕНИЕ

Проблема образования и переработки техногенных отходов является одной из важнейших и недостаточно изученных проблем XXI столетия [1-6].

Значительную долю неиспользуемых отходов составляют отходы черной металлургии [7]. К примеру, на современных металлургических комбинатах при выплавке 1 млн. т стали образуется около 30 тыс. т шламов [8].

Одна из основных проблем вторичного использования железосодержащих сталеплавильных пылей и шламов связана с высоким содержанием цинка, который разрушает футеровку печей при использовании шлама в шихте. Применение данных отходов в других отраслях (строительство и т.д.) ограничено из-за особенностей химического состава шлама, в частности из-за высокого содержания оксидов железа.

Имеются примеры использования металлосодержащих шламовых отходов сточных вод в качестве органоминерального удобрения [9-11]. Технологии утилизации шламов, образующихся в различных процессах очистки воды от загрязнений, активно развивались в 60–80 годах в США и Европе, где на данный момент существуют отработанные стандарты их использования. Основные объемы шламов используются в сельскохозяйственном производстве – до 40 % в Европе и до 80 % в США. Использование шламов в ЕС регулируется SewageSludgeDirective 86/278/EEC [12].

Существуют примеры использования шламовых отходов водоочистки теплоэлектростанций в качестве химического мелиоранта. Показано, что шлам водоочистки теплоэнергосетей эффективно изменяет реакцию почвенного раствора (рН) и на кислых почвах может быть рекомендован как альтернативный кальцийсодержащий химический мелиорант [11].

Шламы конверторного производства, в отличие от муниципальных шламов, содержат больше железа, меньше полезного для растений азота (до 2

%), но зато не содержат патогенных микроорганизмов. На данный момент нельзя привести примеры широкого использования конверторных шламов в сельском хозяйстве, однако в зарубежных источниках встречаются примеры использования в биотехнологиях металлосодержащих отходов, например, так называемого «красного шлама», образующего при производстве алюминия [13]. Также имеются положительные результаты использования шламов доменного производства в качестве компонента микроэлементных удобрений [14].

В данной работе в качестве источника микроэлементов используется шлам конвертерного производства, которые имеются практически на всех металлургических предприятиях и до сих пор не имеют рациональной схемы промышленного применения. В отличие от уже изученных доменных шламов, считается, что электросталеплавильные шламы содержат меньше тяжелых металлов, а также, являясь сыпучим отходом, более удобны в применении.

Цель – исследование влияния шлама конвертерного производства на показатели всхожести и морфометрические характеристики проростков пшеницы и овса в условиях *in vitro*.

Задачи:

1. Проведение анализа исследуемого металлургического шлама.
2. Оценка влияния шлама в составе культивационных сред на всхожесть семян сельскохозяйственных растений в лабораторных условиях.
3. Анализ влияния шлама конвертерного производства на морфометрические показатели проростков.

Научная новизна работы.

В работе впервые предложен возможный вариант использования шламов конвертерного производства для повышения всхожести семян сельскохозяйственных культур в условиях *in vitro* с возможным дальнейшим масштабированием технологии. Предлагаемый подход позволит решить одновременно две задачи – экологически безопасной утилизации

металлургических шламов и возможности создания на их основе эффективных и дешёвых микроэлементных удобрений.

## ГЛАВА 1. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

### 1.1. Проблемы использования и переработки металлургических отходов

Первые железоделательные заводы в России были построены вблизи Тулы в 1632 г. К 1674 г. общая годовая производительность всех железоделательных заводов России составляла 2500 т. Особенно быстро развивалось производство доменного чугуна и кричного железа при Петре I. В 1725 г. в России было выплавлено около 20000 т чугуна, тогда Россия заняла первое место в мире по выплавке чугуна, которое она и удерживала до конца XVII века. Но затем, с возникновением капитализма и развитием промышленности в Западной Европе и Северной Америке, царская Россия в XIX веке не только уступила свое первое место, но и откатилась назад, на одно из последних мест. Производство металла на душу населения в России в 1913 г. было в 10 раз меньше, чем в США, и примерно в 7—7,3 раза меньше, чем в Англии, Франции, Бельгии, Германии. Первая мировая война и последовавшие за ней годы гражданской войны и интервенции привели к тому, что народное хозяйство страны оказалось в очень тяжелом положении. Резко сократилось и производство стали, чугуна, проката [15].

В настоящее время производство чугуна в России составляет более 50 млн. тонн в год, мировое производство более 1 млрд. тонн.

Основу российской черной металлургии составляют 6 крупных холдингов, на долю которых приходится более 93% всей выпускаемой продукции.

ОАО «Северсталь»;

«EVRAZ»;

ОАО «Новолипецкий металлургический комбинат» (НЛМК);

ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат» (ММК);

ОАО «Металлоинвест»;

ОАО «Мечел» [16, 17].

В конверторном производстве в зависимости от состава сырья, конструкции печей и условий плавки на тонну стали образуется 12–25 кг тонкодисперсной пыли при «сухом» и шлама при «мокроем» способе улавливания с размером частиц от 0,1 до 10 мкм. Среди основных компонентов шлама можно выделить: железо, оксиды кремния, кальция, алюминия, цинка, марганца, магния и др.

Соединения железа в отходах находятся в виде оксидов, количество которых изменяется от 64,7 до 78,3 %. Содержание цинка в отходах различное и зависит не только от состава сырья, но и от дисперсности пыли. В шламах оно изменяется от 0,63 % в фракции 30–20 мкм и до 2,73 % — в фракции <10 мкм. По минералогическому составу в пыли преобладают в основном минералы: гематит — красный железняк, магнетит — черные кубические кристаллы размером 1–20 мкм, вюстит — округлые зерна размером 4–8 мкм, оксид кальция, а среди силикатов преобладает  $\beta$ -CaSiO<sub>4</sub> и др. [18].

Из-за существующих проблем рециклинга отходов металлургического производства, в большинстве случаев шлам складывается в шламонакопители.

Такие шламонакопители на металлургических заводах, как правило, занимают десятки гектаров территории. Разного рода отвалы и шламонакопители крайне негативно влияют на окружающую среду, вплоть до полного нарушения ландшафтных экосистем. При этом и предприятия несут значительные затраты на содержание отвалов, теряя еще и ценные ресурсы. В итоге, даже освобожденные из-под отвалов земли становятся непригодными для сельскохозяйственного использования, образуются так называемые «индустриальные пустыни».

Кроме того, хранение шламов осуществляется открытым способом, вследствие чего происходит эмиссия загрязняющих веществ, в частности тяжелых металлов, в воздух, объекты гидросферы и почву, а через них оказывается влияние на состояние флоры, фауны и здоровье людей.

Накопление тяжелых металлов в растительных организмах приводит к их накоплению в пищевой цепи и может вызвать тяжелые заболевания человека и животных, которые формируют консументный блок [19]. В исследовании [20] уделили большое внимание потенциальной опасности накопления тяжелых металлов в животных организмах, выращенных в среде с высоким содержанием  $Cd^{2+}$ ,  $Cr^{2+}$ ,  $Pb^{2+}$  и  $Zn^{2+}$ . Тяжелые металлы отличаются от других металлов своей долговечностью и практической невыводимостью из системы «почва – растения – животные – человек». Эти металлы относятся к категории неспецифических загрязняющих веществ, так как присутствуют практически во всех почвах в том, или ином количестве [21].

## **1.2. Примеры использования металлургических отходов**

Наиболее емким потребителем промышленных отходов различных отраслей остается производство строительных материалов, поскольку многие отходы по своему составу и свойствам аналогичны природному сырью для их изготовления. Однако рост массы перерабатываемых материалов сопровождается и значительным увеличением количества отходов, оказывающих отрицательное воздействие на биосферу. Например, при создании крупных металлургических комплексов одновременно предусматривается подготовка отходов к использованию в производстве строительных материалов. Так появились и широко используются гранулированные металлургические шлаки для производства шлакопортландцемента, шлаковой пемзы, шлаковаты и т.д. Имеется опыт применения для этих целей и отвальных шлаков, флотационных хвостов и т.п. Определился положительный опыт использования шлаков и в качестве заполнителя бетона, а бетонных отходов - в качестве низкомарочного вяжущего или в виде дробленого заполнителя для получения бетонов марок до 200 кг/см<sup>2</sup>. Но использование этого сырья в производстве строительных материалов и, особенно при изготовлении самого распространенного и

универсального материала – обычного бетона, осуществляется еще недостаточно [22].

В то же время, малоиспользуемыми являются такие грубо-, микро- и нанодисперсные отходы как конвертерные шлаки, металлургические шламы, пыли и другие твердые побочные технологические продукты, являющиеся потенциально полезными для применения их в стройиндустрии.

Микро- и нанодисперсные отходы мало используются при повторном внедрении в металлургическое производство и строительной индустрии, но это может поспособствовать их вовлечению в другие отрасли. Одной из таких отраслей может быть сельское хозяйство, в котором высокодисперсные отходы будут использоваться как полезный ресурс. Таким образом, одна из главных задач значительного сокращения воздействия предприятий на окружающую среду и достижение эффективности природоохранных мероприятий на уровне не ниже лучших мировых показателей будет выполняться.

Один из путей использования доменных шлаков - путь внедрения их как удобрения, потенциал использования которого превышает потенциал использования обычных известковых удобрений. Главным компонентом этих шлаков является известь, которая прочно связана в силикатных соединениях. Это препятствует быстрому ее вымыванию, наблюдаемому при применении обычных известковых удобрений, повышая тем самым абсорбционную способность почвы. Известь не только способствует питанию растений, но и снижает кислотность почвы, разрыхляет ее, способствуя удержанию влаги, возбуждает жизнедеятельность полезных микроорганизмов. Легко распадающиеся силикаты кальция шлака оказывают почти такое же нейтрализующее действие, как окись или карбонат кальция. При известковании доменным шлаком в почву вносится существенное количество окиси магния, необходимого для нормального развития картофеля, сахарной и кормовой свеклы, люцерны и других культур.

Установлено, что растения, выращенные на почвах, где в качестве удобрения применялся доменный шлак, имеют большую устойчивость к болезням, чем растения, выращенные без применения шлака [23]. Доменные шлаки способствуют улучшению структуры, как легких, так и тяжелых почв, разрыхляют плотную структуру тяжелых почв, улучшая тем самым проникновение воздуха и влаги.

Доказана эффективность применения доменных шлаков в сельском хозяйстве в виде крупнозернистых гранул, которые отличаются повышенным содержанием частиц размером 1 мм, а также наличием частиц размером 2,9–10 мм. Шлак не пылит, не подвергается слеживанию, может вноситься как в зимних, так и в летних условиях и обходится дешевле известковой муки, полученной из доменного шлака [23].

Различные виды шлаков зарекомендовали себя в сельском хозяйстве с положительной стороны: шлаки сталеплавильного производства используются в минеральном удобрении, известковании и подкислении почв; доменные шлаки используются как минеральные добавки; ваграночные шлаки используются и в подкислении почв и минеральном удобрении [24]. На протяжении ряда лет шлаки, в следствие содержания ценных микроэлементов, с успехом используются в качестве минерального удобрения для раскисления почв на посевных угодьях, обеспечивая высокую урожайность сельскохозяйственных культур [25].

Несмотря на перспективность использования металлургических шлаков в растениеводстве, примеров использования шламов сталеплавильного производства для сельскохозяйственных культур не обнаружено. При этом, стоит сказать, конверторные шламы, как говорилось выше, имеют в своем составе такие необходимые микроэлементы, как железо, марганец, цинк и др., что делает перспективным их использование в качестве источника микроэлементов при выращивании сельскохозяйственных культур.

Данная работа посвящена исследованию влияния шлама конвертерного цеха ПАО «Северсталь» (г. Череповец) на показатели всхожести и

морфометрические характеристики проростков пшеницы и овса в условиях *in vitro*. Работа проводилась на базе НИИ экологии и биотехнологии Тамбовского государственного университета имени Г.Р. Державина.

## ГЛАВА 2. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

### 2.1. Объект исследования

С учетом присутствия в составе шламов вредных примесей, металлов и неметаллов проводились исследования исходных и классифицированных материалов с применением рентгенофлуоресцентной спектроскопии, лазерной дифракции, рентгеновской дифракции, электронной микроскопии. Определение гранулометрического состава проводилось с применением индукционного помола в шаровой мельнице.

Для исследования химического состава исследуемых образцов методом рентгенофлуоресцентной спектроскопии использовался волновой рентгенофлуоресцентный спектрометр ARL 9900 WS (Рис. 1).



Рисунок 1. Волновой рентгенофлуоресцентный спектрометр ARL 9900 WS

Анализ распределения частиц по размерам методом лазерной дифракции проводился с помощью прибора «Analysette 22 Nanotech». Метод основан на зависимости угла рассеяния света от их размеров. Анализатор фиксирует частицы размером от 0,01 до 2000 мкм, что позволяет полностью закрыть диапазон размеров частиц, встречающихся в шламах (Рис. 2).



Рисунок 2. Прибор «Analysette 22 Nanotech»

Метод рентгеновской дифрактометрии использовался для определения качественного и количественного фазового состава, параметров кристаллической решетки, величины микро- и макроискажений кристаллической решетки, исследования текстуры (Рис. 3).



Рисунок 3. Рентгеновский дифрактометр «Дифрей401»

Для проведения электронной микроскопии использован электронный сканирующий микроскоп TescanVega 3 (Рис. 4), оснащенный энергодисперсионным спектрометром Хаст «OXFORD instruments». Принцип работы основан на физических эффектах взаимодействия поверхности твердого образца со сфокусированным пучком электронов.



Рисунок 4. Электронный сканирующий микроскоп TescanVega 3

Исследование элементного состава металлургического шлама было проведено с применением рентгенофлуоресцентного метода для определения исходного количества металлов в составе образцов. Результаты исследования показаны в таблице 1.

Таблица 1. Результаты исследования элементного состава конверторного шлама рентгенофлуоресцентным методом

Элемент	Массовая доля, %
Fe	18,06
Ca	11,44
Cl	7,53
Na	5,78
Zn	4,58
K	3,39
Mg	1,10
Mn	0,99

Si	0,67
S	0,19
Al	0,21
Pb	0,17
Ti	0,07
Cr	0,02
P	0,03
Sr	0,03
V	0,01
Cu	0,01
Ni	менее 0,01
Br	менее 0,01
Ba	-
Se	-
W	-
C	30,61
O	15,60

Исследование исходного гранулометрического состава образцов проводилось методом лазерной дифракции. На рисунке 5 представлена гистограмма распределения частиц по размерам. Показано, что образец состоит из частиц с размером от 0,01 до 150 мкм, распределение полимодальное со средним размером 30 мкм. Максимумы распределения находятся на 0,2, 1,2, 10 и 90 мкм.

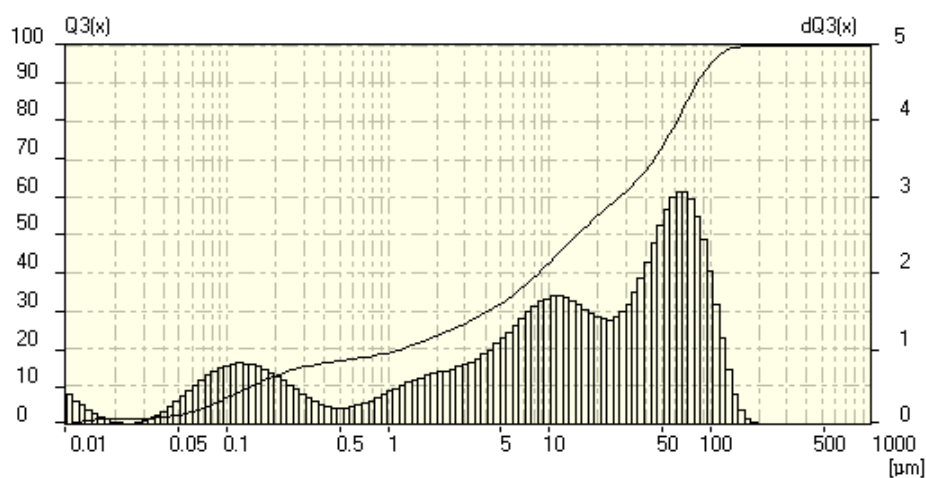


Рисунок 5. Гистограмма распределения частиц шлама по размерам

Для проведения исследования фазового состава был использован метод рентгеновской дифракции. Результаты исследования показаны в таблице 2.

Таблица 2. Фазовый состав образцов шламов

Фазы	Содержание, %
FeO	-
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5,2
C	30,6
CaCO <sub>3</sub>	2,5
Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub>	29,4
CaO	14,1
MgO	-
ZnO	3,1
Ca(OH) <sub>2</sub>	-
ZnFe <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	-
KCl	8,4
NaCl	6,7

Исследование морфологии образцов отходов проводилось методом сканирующей электронной микроскопии. На представленных микрофотографиях (Рис. 6) видно, что образцы преимущественно состоят из сферических частиц.

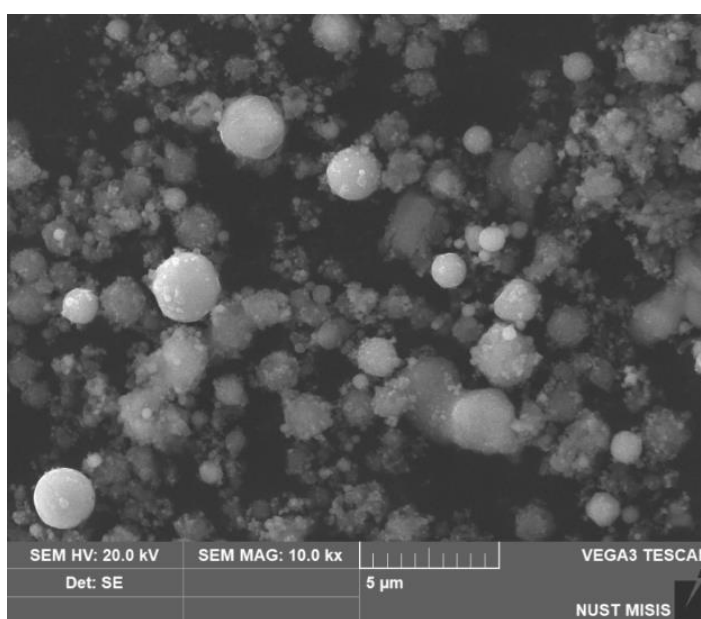


Рисунок 6. Микрофотографии образца шлама

Таким образом, исследуемый металлургический отход представляет собой мелко- и ультрадисперсный порошок, состоящий из частиц сферической формы размером 0.01 – 150 мкм. Среди основных микроэлементов в составе можно выделить Fe, Zn, Mg и Mn, находящихся в виде соединений, преимущественно в виде оксидов.

## 2.2. Тест-объекты

Для проведения исследования были выбраны пшеница и овес. Ниже приведено обоснование выбора этих культур для проведения лабораторных исследований.

Пшеница яровая (*Triticumaestivum* L., 1753)

Пшеница яровая – одна из важнейших злаковых культур. Это главная продовольственная культура для большинства населения Земли. Ценность зерна пшеницы заключается в том, что оно способно образовывать клейковину, имеющую важное значение для выпечки хлеба и хлебобулочных изделий, изготовления макарон, производства манной крупы. Хлеб из пшеничной муки лучшего качества, более вкусный и полнее усваиваемый, чем из зерна других культур (ржи, ячменя, овса, кукурузы). Пшеничная мука и продукты на ее основе имеют высокую пищевую ценность, многие из них имеют лечебное или профилактическое назначение. Пшеничную муку и крахмал, кроме того, используют для косметических, медицинских, технических и других целей [26]. Отходы мукомольной промышленности (отруби) – ценный концентрированный корм для животных. Соломой и половой также кормят скот [27].

Пшеничное зерно содержит от 8 до 24% белка, 53-70% крахмала, 1,7% жировых веществ, 1,6% – золы (солей) и около 2% клетчатки. Отруби, представляющие собой отходы при помоле зерна в муку (оболочка зерна, алейроновый слой и зародыш) являются хорошим концентрированным кормом для животных. Из пшеничного зерна вырабатывают манную крупу, крахмал. Лучшие сорта макарон и вермишели изготавливают из сортов

твердой пшеницы. Из пшеничного крахмала вырабатывают спирт, из зародышей или ротков пшеничного зерна – масло. Солома используется на корм животным, как органическое удобрение и в бумажной промышленности. Зерно пшеницы - важнейшая часть государственных запасов и предмет экспорта [28].

Овёс посевной (*Avénasativa* L., 1753)

Овес – это широко распространенный род травянистых однолетних растений, входящий в семейства Мятликовые (Злаки). Самый популярный представитель рода – Овес посевной. Его активно возделывают как кормовую и пищевую культуру.

Согласно текущей ботанической классификации, в род включено порядка 20 видов, которые преимущественно растут и возделываются в Южной и Северной Америке и странах Европы. В хозяйственном плане наиболее важным видом является Овес посевной, а остальные относят к сорным [29].

Зерно овса – прекрасный концентрированный корм. Оно имеет большое значение при выращивании молодняка и птицы, при откорме животных. В зерне овса содержится 12...13% белка, 40...45 % крахмала и около 4...6 % жира. Хорошим грубым кормом служит овсяная солома.

Овес широко используется на зеленый корм, сено и силос.

В составе белков овса имеются все незаменимые для человека и животных аминокислоты. По их содержанию белки овса не уступают белкам пшеницы, а по некоторым аминокислотам даже превосходят их [30].

### **2.3. Методика исследования**

Особо важной стадией развития растений является их прорастание, с учетом этого, в приведенном опыте с растениями, этому этапу онтогенеза уделено большое внимание. Лабораторный эксперимент проводили согласно ГОСТ 12038–84. В ходе эксперимента определяли показатели всхожести, а также морфометрические параметры проростков. Диспергирование шлама в

воде осуществлялось с помощью метода предложенного Шуклиновым и др. «Способ приготовления водных суспензий высокодисперсных материалов с использованием ультразвуковой обработки» (Ноу-хау №2013-0002). Рабочие концентрации шлама: 0,01; 0,1 и 1 г/л. Полученными суспензиями увлажняли бумажные фильтры (ГОСТ 12038–84), помещённые в чашки Петри, на которые впоследствии высеивали семена. Контроль – дистиллированная вода. В каждую чашку высеивалось по 30 семян, опыт проводили в 3-х повторностях (Рис. 7).





Рисунок 7. Закладка опыта

На 7 сутки проращивания определялась всхожесть семян, через 10 дней определяли морфометрические показатели проростков, путем измерения корней и стеблей растений (Рис. 8).

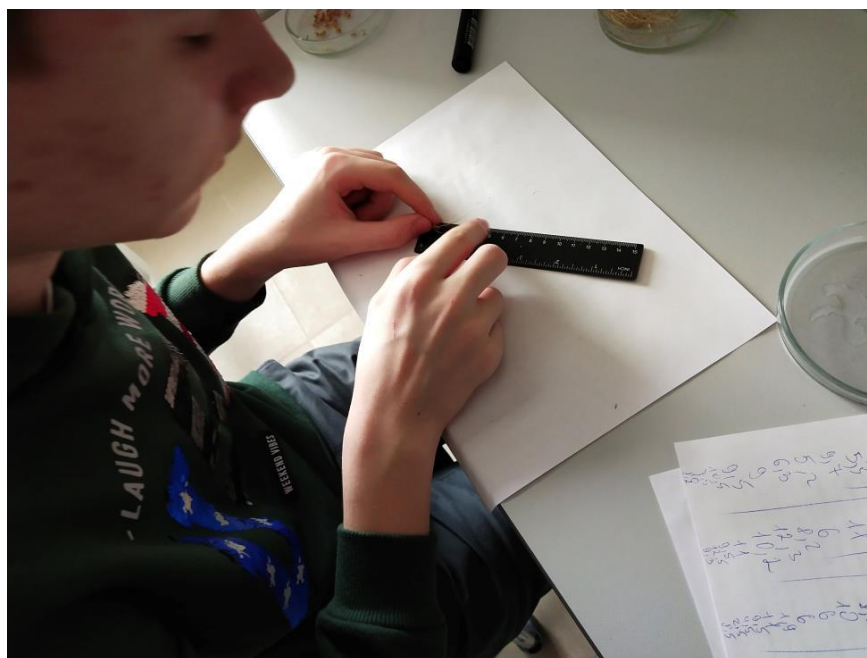


Рисунок 8. Измерение проростков

При анализе изучаемых параметров использовались стандартные методы статистической обработки данных, которые предусматривали расчет следующих показателей:

1. Средняя арифметическая – величина, вокруг которой «концентрируются» варианты. Общая формула для определения величины средней арифметической – это отношение суммы значений всех вариантов ( $x_i$ ) выборки к их числу (объему выборки,  $n$ ):

$$M = \frac{\sum x_i}{n}$$

2. Среднее квадратичное отклонение, которое характеризует разброс показателей внутри данной выборки.

$$S_{\Sigma} = \sqrt{\frac{\sum S^2(n-1)}{\sum n-k}},$$

где  $S_{\Sigma}$  – усредненная величина среднего квадратичного отклонения для суммарного распределения,

$S$  – усредняемые значения стандартного отклонения,

$n$  – объемы отдельных выборок,

$k$  – число усредняемых стандартных отклонений.

### ГЛАВА 3. РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Определение всхожести семян пшеницы яровой под действием конвертерного шлама показало, что при внесении в культивационную среду анализируемого отхода показатели всхожести достоверно не изменялись, за исключением концентрации 0.1 г/л, где наблюдалось снижение показателя на 7 % относительно контроля (Рис. 9).

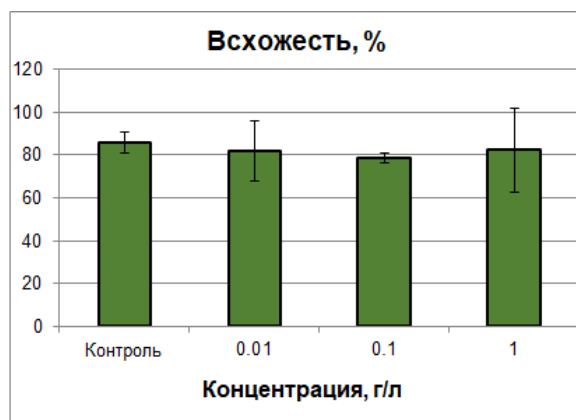


Рисунок 9. Всхожесть пшеницы яровой

Анализ всхожести овса посевного показал повышение всхожести семян на 5 % при концентрации шлама 0,01 г/л (Рис. 10). Дальнейшее повышение концентрации до 0,1 г/л повлекло снижение всхожести на 7 %, однако увеличение дозы до 1 г/л не показало различий показателей между опытом и контролем.

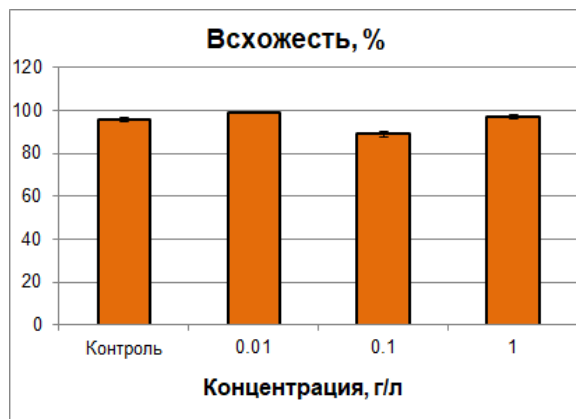


Рисунок 10. Всхожесть овса посевного

В ходе анализа морфометрических показателей проростков установлено стимулирующее влияние шлама на прирост длины стебля (Рис. 11). В то же время, средняя длина корня уменьшалась под действием шлама, максимально ингибирующий эффект отмечен в варианте 0,01 г/л – уменьшение показателя на 0,6 см относительно контроля.

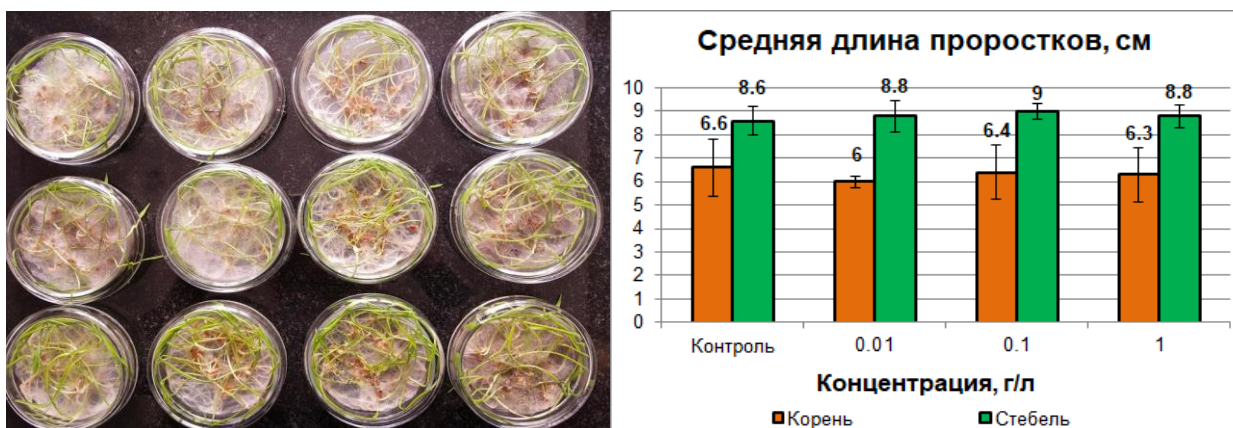


Рисунок 11. Проростки пшеницы и их морфометрические показатели

Оценка морфометрических показателей проростков овса посевого показала стимулирующее влияние шлама на прирост длины стебля, максимально при 0,1 г/л – прирост длины составил 1,5 см (Рис. 12). Также под действием анализируемого шлама увеличилась длина корня при концентрации 0,1 г/л на 0,4 см относительно контроля. Однако при максимальной концентрации отмечалось снижение показателя на 0,3 см.

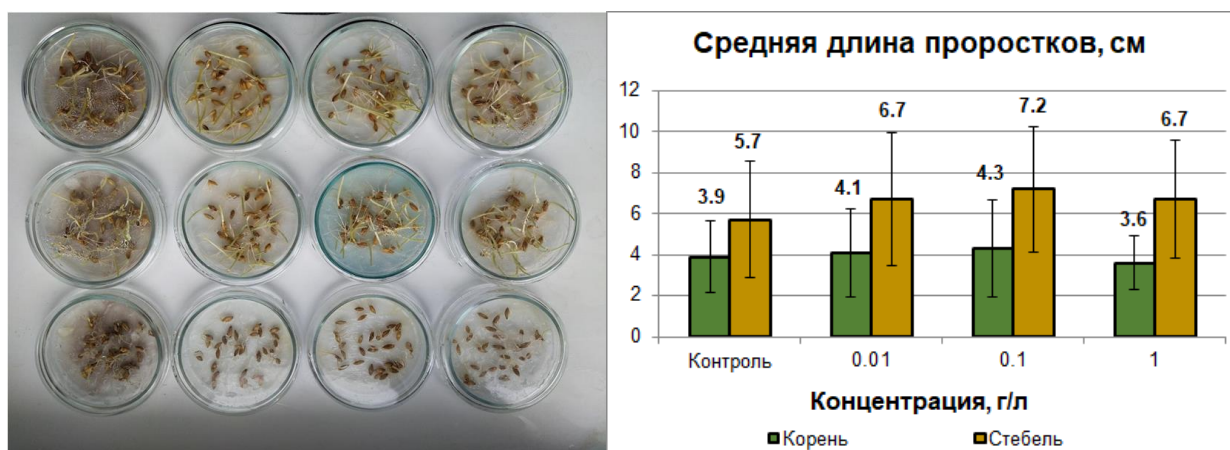


Рисунок 12. Проростки овса и их морфометрические показатели

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенное исследование влияния конвертерного шлама на всхожесть и развитие вегетативных органов пшеницы яровой и овса посевного показало концентрационно зависимые эффекты. Наблюдалось небольшое подавление всхожести для обеих культур при средней концентрации шлама (0,1 г/л), при минимальной и максимальной либо не наблюдалось эффектов, либо отмечалась незначительная стимуляция. Внесение шлама во всех концентрациях активировало прирост длины стеблей, однако в случае с пшеницей при увеличении наземной части побега происходило уменьшение корней, в варианте 0,01 г/л – уменьшение показателя на 0,6 см относительно контроля. Для растений овса при концентрации 0,1 г/л длина корня увеличивалась на 0,4 см относительно контроля. Однако при максимальной концентрации также отмечалось снижение показателя на 0,3 см.

Таким образом, проведенное исследование показывает перспективность использования высокодисперсного шлама сталеплавильного производства при выращивании сельскохозяйственных культур, однако необходимо проведение дальнейших исследований по оценке влияния шлама в условиях долгосрочного полевого опыта с оценкой экологической безопасности.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Деринг А. Утилизация отходов / А. Деринг // Проблемы окружающей среды и природных ресурсов: обзорная информ. / ВИНТИ. – 2007. – No 4. – С. 54–55.
2. Липенков А.Д. Управление отходами предприятий промышленного региона / А.Д. Липенков, Ю. Я. Фарафонов // Экономика региона. – 2006. – No 4. – С. 180–189.
3. Ануров С.А. Рекуперация отработанных при очистке сточных вод минеральных адсорбентов в технологиях строительных материалов / С.А. Ануров, С. Бангура, М.А. Суаре // Химическая промышленность сегодня. – 2007. – No 4. – С. 35–36.
4. Байтелова А. Промышленная экология [Электронный ресурс]: учеб. пособие / А.И. Байтелова, М.Ю. Гарицкая; М–во образования и науки РФ, Гос. образов. учреждение высш. проф. образования ОГУ. – Оренбург : ГОУ ОГУ, 2007. – Ч. 1. – Режим доступа: <http://artlib.osu.ru/web/books/work07/work91.pdf>.
5. Бакаев А.Я. Утилизация зольных отходов / А.Я. Бакаев, Н.Б. Бушуева // ЭЖиП: Экология и промышленность России. – 2005. – No 3. – С. 24–25 : ил. – Библиогр.: с. 25
6. Monitoring formation of solid industrial waste and its recycling in a forest complex / A.K. Kozhevnikov, N.V. Aksenov, A.V. Rubinskaya, D.N. Sedrisev // International journal of experimental education. – 2014. – No2. – P. 72–74.
7. Innovation in metallurgical waste management / T. Lis, K. Nowacki, M. Żelichowska, H. Kania // МЕТАВК. – 2015. – Vol. 54(1). – P. 283–285
8. Волынкина Е.П. Развитие концепции управления отходами и разработка методологии её реализации на металлургическом предприятии / Е.П. Волынкина // Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук. – Новокузнецк, 2007. – 404 с.

9. Пахненко Е.П. Осадки сточных вод и другие нетрадиционные органические удобрения: учебное пособие / Е.П. Пахненко – М.: Бионим. Лаборатория знаний, 2009. – 311 с.

10. Андропова Л.А. Эколого-агрохимическая оценка применения осадков сточных вод и компостов на основе коры и лигнина при выращивании сельскохозяйственных растений на дерново-подзолистой почве / Л.А. Андропова // Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата биологических наук. – М.: МГУ, 2002. – 25 с.

11. Пасенко А.В. Применение шламовых отходов водоочистки теплоэлектростанций в качестве химического мелиоранта. Проблемы рекультивации отходов быта, промышленного и сельскохозяйственного производства / А.В. Пасенко // Материалы III Международной научной экологической конференции. Краснодар: Кубанский государственный аграрный университет, 2013. – 518 с.

12. Council Directive 86/278/EEC of 12 June 1986 on the protection of the environment, and in particular of the soil, when sewage sludge is used in agriculture.

13. Karimi E. Synergistic co-processing of an acidic hardwood derived pyrolysis bio-oil with alkaline Red Mud bauxite mining waste as a sacrificial upgrading catalyst / E. Karimi, I.F.Teixeira, A. Gomez et al. // Applied Catalysis B: Environmental. – 2014. – Vol. 145. – P. 187–196.

14. Захарова О.В. Воздействие высокодисперсного металлургического шлама на сельскохозяйственные растения / О.В. Захарова // Диссертация на соискание ученой степени кандидата биологических наук. Москва, 2017. – 143 с.

15. Общая металлургия / Д.Д. Бурдаков, Ю.Д. Бурдаков, С.А. Володин, Н.К. Жилкин – Москва: Металлургия, 1971. – 259 с.

16. Экономика России, цифры и факты. Часть 8 Металлургия. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://utmagazine.ru/posts/10561-ekonomika-rossii-cifry-i-fakty-chast-8-metallurgiya>

17. Экспортеры России. Единый информационный портал. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.rusexporter.ru/news/detail/2102/>

18. Добровольский И.П., Рымарев П.Н., Сафина Т.А. Перспективная технология применения шламов и пыликонверторного производства. Вестник Челябинского государственного университета, 2008.

19. Чикенева И.В. Эколого-биогеохимическая оценка растительного покрова зоны влияния ОрскоНовотроицкого промышленного узла // дис. канд. биол. наук. – Оренбург, 2009, – 174 с.

20. Nahid A.A. Siddig, Asma A. Ahmed, Sarra A.M. Saad, Faisal HammadMekkyKoua. 2019. Heavy metals accumulation from sewage sludge in the Nile tilapia *Oreochromis niloticus* (Trewavas, 1983) during a sludge-earthworm-fish short-term cycling // Ital J Food Saf.

21. Чикенева И., Абузярова Ю.В. 2011. Содержание тяжёлых металлов в побочной продукции полевых культур в условиях техногенного воздействия // Известия ОГАУ – № 4 (32) – с. 280–282.

22. Усов Б.А., Окольников Г.Э., Акимов С.Ю. 2017. К вопросу состояния инновационных направлений развития производства строительных материалов из отходов промышленности // Акционерное общество «Ассоциация композитных строительных материалов», г. Москва. Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Российский университет дружбы народов», г. Москва. Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский политехнический университет», г. Москва

23. Боброва З.М., Ильина О. Ю., Хохряков А.В., Цейтлин Е.М. 2015. Применение отходов горно-металлургических и металлургических производств в целях рационального природопользования // Текст научной статьи по специальности «Экономика и экономические науки».

24. Гусева Ю.О., Сычева Т.С., Моторина О.С., Сериченко Ю.С., Боброва З.М. 2013. Формирование шлаков металлургического передела и основные

направления их применения // Журнал «Теория и технология металлургического производства». Экономика и экономические науки.

25. Шаповалов Н.А., Загороднюк Л.Х., Тикунова И.В., Шекина А.Ю. 2013. Рациональные пути использования сталеплавильных шлаков // Фундаментальные исследования. № 1-2. – С. 439-443.

26. Характеристика пшеницы: яровая, озимая, твердая, мягкая, сорта пшеницы. [Электронный ресурс] – Режим доступа: [http://agrogold.ru/harakteristika\\_pshenicy\\_yarovaya,\\_](http://agrogold.ru/harakteristika_pshenicy_yarovaya,_)

27. Народнохозяйственное значение яровой пшеницы. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://agrosbornik.ru/zernovye-kultury/122-yarovaya-pshenicza/1214-narodnohozyajstvennoe-znachenie-yarovoj-psheniczy.html>

28. Характеристика яровой пшеницы. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://biofile.ru/bio/37048.html>

29. Овес посевной и другие виды. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://proamco.ru/chto-za-rastenie-oves-oves-posevnoi-lechenie-ovsom-posevnym-otvary-iz-ovsa-dlya/>

30. Народнохозяйственное значение овса. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://agrosbornik.ru/zernovye-kultury/100-oves/1248-narodnohozyajstvennoe-znachenie-ovsa.html>