

## **ВЛИЯНИЕ ДОМЕННОГО ШЛАМА И КОНВЕРТЕРНОГО ШЛАКА НА РАСТЕНИЯ ВИКИ ПОСЕВНОЙ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ КИСЛОТНОСТИ СРЕДЫ**

П.А. Баранчиков, С.П. Чеботарева, О.В. Захарова

*ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный университет имени Г.Р. Державина»,  
г. Тамбов, Россия*

**Аннотация.** Использование отходов в качестве сырья для получения коммерчески перспективных продуктов позволяет решить целый комплекс экологических, экономических и социальных проблем, особенно в кризисный период. Основную долю неиспользуемых отходов составляют отходы металлургии, которые могут являться источником микроэлементов для растений. Шлаковые отходы в силу своего компонентного состава также могут выступать в качестве раскислителя почв. Целью работы является создание технологии применения осушенных доменных шламов самостоятельно или в комбинации с конвертерным шлаком в сельскохозяйственном производстве в качестве микроэлементного удобрения для повышения урожайности сельскохозяйственных растений; снижение объема размещаемых на полигонах металлургических отходов.

При помощи электронной микроскопии было установлено, что гранулы доменного шлака достигают размера 15 мкм, в то время как размер частиц конвертерного шлака лежит в пределах от 20 до 500 мкм. Анализ элементного состава образца шлака показал, что отход содержит в себе Ca, Fe, Mg, Si, Al, Mn. В состав доменного шлака входят Fe, Zn, Al, Ca, Si, Na. С помощью рентгеноструктурного анализа установлено, что преобладающим соединением в конвертерном шлаке является оксид кальция (53%). В состав доменного шлака входит преимущественно оксид железа.

По результатам исследования показана высокая толерантность вики посевной при концентрации шлака 0.1 г/кг в условиях закисленного грунта, прирост длины стебля увеличился на 17%, его сырая биомасса увеличилась на 30%. Прирост длины корня составил 48%. Наибольший прирост сухой массы стебля наблюдался при внесении шлака в концентрациях 0.01 г/кг (+71%) и 1 г/кг (+86%) в закисленном грунте на фоне добавления шлака. Также установлено накопление извлеченного из доменного шлака цинка в растительных тканях вики посевной.

Таким образом, исследуемые отходы металлургического производства могут использоваться в качестве минерального удобрения, так как имеют в своем составе микроэлементы, необходимые для минерального питания растений.

**Ключевые слова:** доменный шлак; вика посевная; конвертерный шлак; мелиоранты; раскисление почв.

## INFLUENCE OF BLAST FURNACE SLUDGE AND CONVERTER SLAG ON VETCH PLANTS DEPENDING ON THE ACIDITY OF THE ENVIRONMENT

P.A. Baranchikov, S.P. Chebotaryova, O.V. Zakharova

*Derzhavin Tambov State University, Tambov, Russia*

**Abstract.** The use of waste as raw material to obtain commercially promising products allows us to solve a whole range of environmental, economic and social problems, especially during a crisis. The main share of unused waste consists of metallurgical waste, which can be a source of microelements for plants. Slag waste, due to its component composition, can also act as a soil degrader. The goal of the work is to create a technology for using dried blast furnace sludge alone or in combination with converter slag in agricultural production as a microelement fertilizer to increase the productivity of agricultural plants; reducing the volume of metallurgical waste disposed of in landfills.

Using electron microscopy, it was found that blast furnace sludge granules reach a size of 15 microns, while the size of converter slag particles ranges from 20 to 500 microns. Analysis of the elemental composition of the slag sample showed that the waste contains Ca, Fe, Mg, Si, Al, Mn. The composition of blast furnace slurry includes Fe, Zn, Al, Ca, Si, Na. Using X-ray diffraction analysis, it was established that the predominant compound in the converter slag is calcium oxide (53%). The composition of blast furnace sludge mainly includes iron oxide.

The results of the study showed high tolerance of vetch at a sludge concentration of 0.1 g/kg in acidified soil conditions, the increase in stem length increased by 17%, and its wet biomass increased by 30%. The increase in root length was 48%. The greatest increase in the dry mass of the stem was observed when sludge was added at concentrations of 0.01 g/kg (+71%) and 1 g/kg (+86%) in acidified soil against the background of the addition of slag. The accumulation of zinc extracted from blast furnace sludge in plant tissues of vetch has also been established.

Thus, the studied waste from metallurgical production can be used as a mineral fertilizer, since it contains microelements necessary for the mineral nutrition of plants.

**Keywords:** blast furnace sludge; seed vetch; converter slag; ameliorant; soil deoxidation.

### **Введение**

На территориях, располагающихся около предприятий металлургической промышленности, размещается значительное количество полигонов хранения отходов металлургического производства, объем которых в Российской Федерации составляет около 2 млрд тонн [1]. Необходимость утилизации отходов металлургического производства заключается не только в снижении объемов их захоронения, но и в содержании в них опасных компонентов - тяжелых металлов. При несвоевременной утилизации таких отходов, содержащиеся в них тяжелые металлы, могут мигрировать на прилегающие территории и в подземные воды [2]. К отходам металлургического производства, содержащих тяжелые металлы, относятся, в частности, доменный шлак и

конвертерный шлак, которые в свою очередь, имеют в своем составе кремниевую кислоту ( $\text{SiO}_2$ ), Mn, Fe, Zn, Si и др., что делает перспективным использование данных отходов в растениеводстве в качестве источника микроэлементов, что может способствовать решению проблемы утилизации отходов металлургического производства. Сообщается, что шлак содержит большое количество извести ( $\text{CaO}$ ) и  $\text{MgO}$ , что делает его потенциальным агентом для известкования, способным увеличивать pH почвы, поэтому шлаковые отходы могут стать заменой традиционных известковых препаратов для мелиорации закисленных почв. Внедрение технологий применения шлаковых и шламовых отходов в сферу сельского хозяйства имеет большое значение, так как это позволит повысить не только урожайность сельскохозяйственных культур, но и улучшить качество посевов.

**Цель исследования** - изучение влияния доменного шлама, а также комбинации шлама и шлака в качестве агрохимиката для растениеводства в условиях лабораторного опыта по морфометрическим и биохимическим показателям вики посевной.

**Материал и методы исследования.** Морфологию и размер гранул отходов перед началом эксперимента определяли методом сканирующей электронной микроскопии. Оценка элементного состава осуществлялась с применением приставки для энергодисперсионного анализа. Рентгеноструктурные исследования проводились при комнатной температуре.

Для проведения эксперимента по оценке влияния доменного шлама и смеси шлама и шлака на растительную культуру были получены культивационные среды, содержащие различные концентрации отходов. В качестве основы для сред использовался предварительно простерилизованный песок. Обеззараживание проводили путем прокаливанию песка в сушильном шкафу. Стерильный песок помещали в контейнеры объемом 0.5 л и доводили кислотность водной вытяжки из песка до pH 6.5 – модельный нейтральный грунт и pH 4.5 – модельный закисленный грунт. Внесение отходов осуществляли путем равномерного распыления по поверхности грунта. Рабочие концентрации: шлам – 0.01; 0.1 и 1 г/кг; шлак – 0.8 г/кг в закисленном субстрате и 0.6 г/кг в нейтральном.

Опыт проводился в лабораторных условиях согласно ГОСТу ИСО 22030-2009. Для проведения исследований, в полученный модельный грунт высевали семена растительной культуры в количестве 30 шт. на контейнер. В качестве тест-объекта использовали вику посевную (сорт Льговская 22).

Измерения изучаемых показателей (всхожесть, длина стебля, сырая и сухая масса стебля, длина корня, сырая и сухая масса корня, интенсивность фотосинтеза) осуществляли в трех повторностях.

Для вычисления сухой биомассы стебли и корни растений помещали в бюксы и высушивали в течение 1 часа при 90 °C в сушильном шкафу. В ходе исследования также анализировался показатель максимального квантового выхода флуоресценции ( $F_v/F_m$ ), который можно использовать для оценки эффективности ФСП.

Дополнительно определяли содержание цинка в растительных тканях при помощи атомно-абсорбционного спектрометра по методике ГОСТа [3].

Статистическую обработку получаемых данных осуществляли путем вычисления среднего арифметического значения, стандартного отклонения и расчета критерия Фишера.

### **Результаты исследования и их обсуждение**

#### ***Физико-химический анализ конверторного шлака и доменного шлака***

Установлено, что гранулы доменного шлака достигают размера 15 мкм, в то время как гранулы конверторного шлака намного крупнее: их размер лежит в пределах от 20 до 500 мкм.

Элементный анализ образца шлака (Таблица 1) показал, что отход содержит в себе следующие химические элементы: Ca, Fe, Mg, Si, Al, Mn. В состав доменного шлака входят: Fe, Zn, Al, Ca, Si, Na. Рентгеноструктурный анализ показал, что преобладающим соединением в конверторном шлаке является оксид кальция (53%). В состав доменного шлака входит преимущественно оксид железа.

Таблица 1. Элементный состав образцов шлака и шлама

Образец шлака		Образец шлама	
Элемент	Вес, %	Элемент	Вес, %
O	43.98	O	12.07
Mg	3.37	Na	0.42
Al	1.96	Al	0.74
Si	3.31	Si	0.61
Ca	38.77	Ca	0.71
Mn	1.92	Fe	84.42
Fe	6.69	Zn	1.03

#### ***Морфологические и биохимические показатели***

В условиях закисленного грунта, всхожесть семян вики увеличилась на 20% при минимальной концентрации шлака (Рис. 1 а). Повышение дозы отхода снижало стимулирующее действие, а при 1 г/кг наблюдалось подавление всхожести на 5% относительно контрольных значений.

Оценка влияния анализируемых металлургических отходов на всхожесть семян вики посевной в условиях нейтрального грунта показала, что шлак в целом оказал ингибирующее влияние на данный показатель (Рис. 1 б). Добавление шлака усиливало подавление всхожести, но в то же время в варианте с максимальной концентрацией шлака добавление шлака нивелировало негативное действие шлака и анализируемый показатель был на уровне контрольных значений.

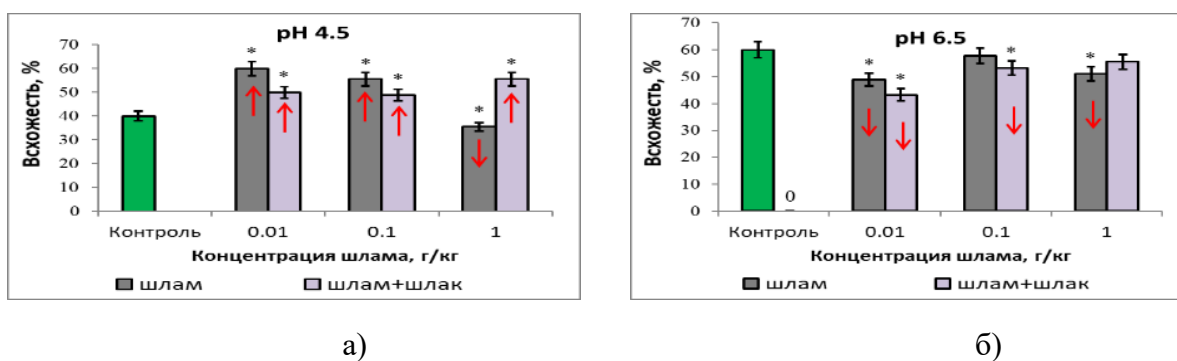


Рисунок 1. Всхожесть вики посевной: а) в закисленном грунте; б) в условиях нейтрального грунта (здесь и далее на графиках представлены: среднее арифметическое и среднеквадратичное отклонение, \* - обозначены варианты, в которых отмечено достоверное различие с контрольными значениями при  $p < 0,05$ )

Результаты оценки всхожести семян вики показывают разнонаправленное действие шлама в зависимости от кислотности грунта – в нейтральном субстрате всхожесть преимущественно подавлялась, в закисленном грунте наблюдался стимулирующий эффект.

В ходе оценки морфометрических параметров растений установлено, что анализируемый отход либо не оказывал влияния, либо стимулировал прирост стебля (рис. 2, а). Исключением стал вариант внесения шлама в максимальной концентрации в условиях нейтрального субстрата, где отмечено снижение показателя на 30 %. В целом можно отметить благоприятное влияние шлама в совокупности со шлаком в кислой среде.

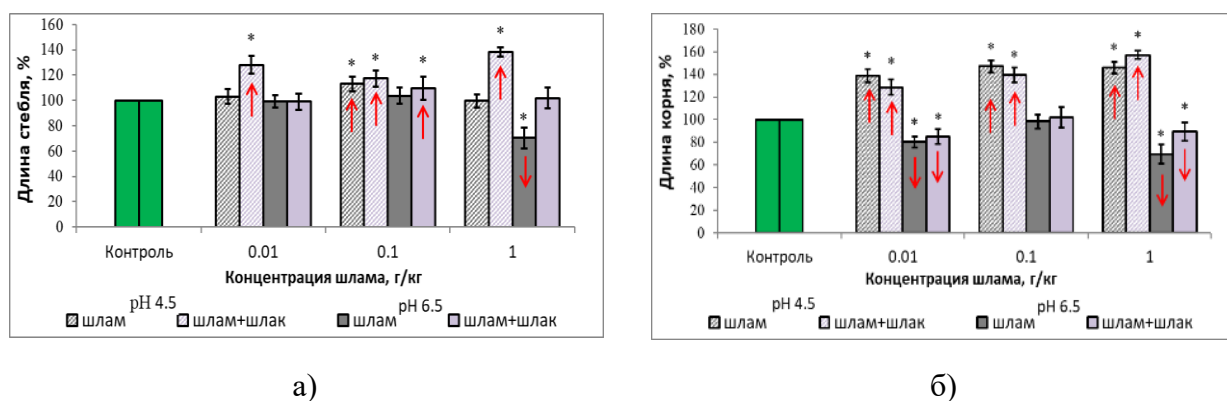


Рисунок 2. а) влияние шлама и шлама/шлака на рост стеблей вики; б) влияние шлама и шлама/шлака на рост корней вики

Развитие корневой системы стимулировалось во всех вариантах опыта в закисленном субстрате (Рис. 2 б). Наибольший прирост отмечен при максимальной дозе шлама – в чистом виде - +46%, с добавлением шлака - +57%. В нейтральном грунте отмечено снижение показателя при 0.01 и 1 г/кг шлама (- 10 – 30%), причем минимум зафиксирован в группах без добавления шлака.

На рисунке 3, а и б представлены результаты анализа массы стеблей растений вики. Как видно из диаграммы 3 а, в условиях закисленного грунта внесение шлама

благоприятно сказалось на приросте биомассы, масса стебля увеличивалась на 12-31% обратно пропорционально концентрации шлама. Добавление шлака негативно сказалось на анализируемом показателе – при 0.01 г/кг не было эффекта, т.е. значения были на уровне контроля, однако при 0.1 г/л шлама масса стебля уменьшилась на 26%. При 1 г/кг показатель отличался от контроля на 7% в сторону уменьшения.

В нейтральном субстрате (Рис 3 б) наблюдался обратный эффект – внесение шлама без шлака либо не оказало влияния на массу стеблей (0.01 и 1 г/кг), либо наблюдалось подавление на 13% при 0.1 г/кг. Внесение раскислителя стимулировало прирост биомассы при 0.01 и 0.1 г/кг шлама на 4 и 9%, соответственно.

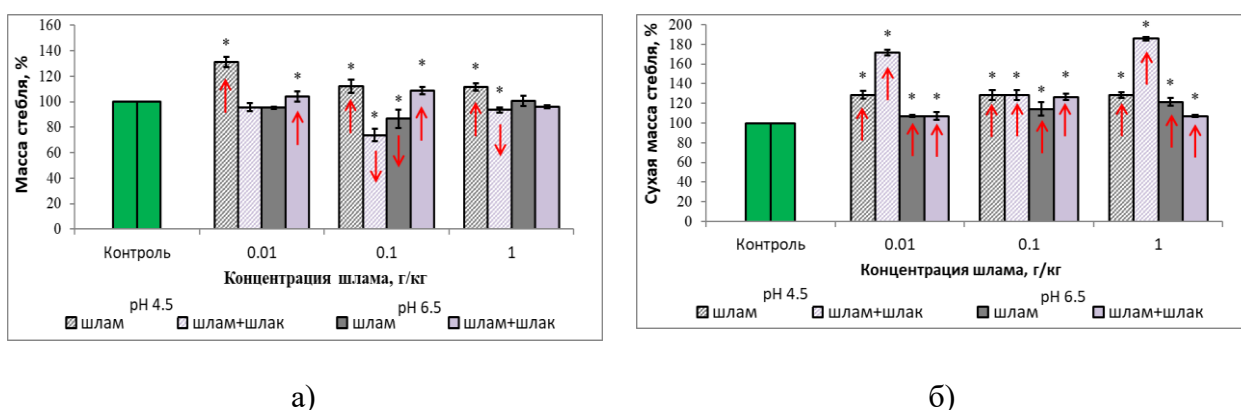


Рисунок 3. Масса стеблей вики посевной: а) сырая биомасса; б) сухая биомасса

Показанные эффекты можно связать с особенностями накопления влаги под действием металлургических отходов, т.к. после высушивания растений, масса стеблей при всех вариантах опыта была больше, чем в контрольном варианте.

В отличие от массы стеблей, сырая масса корней в целом увеличивалась под действием шлама, максимальный показатель (+82%) отмечен при 0.1 г/кг шлама в нейтральном субстрате на фоне шлака (Рис. 4 а). Сухая масса корней экспериментальных растений также была больше массы корней растений контрольной группы (Рис. 4 б).

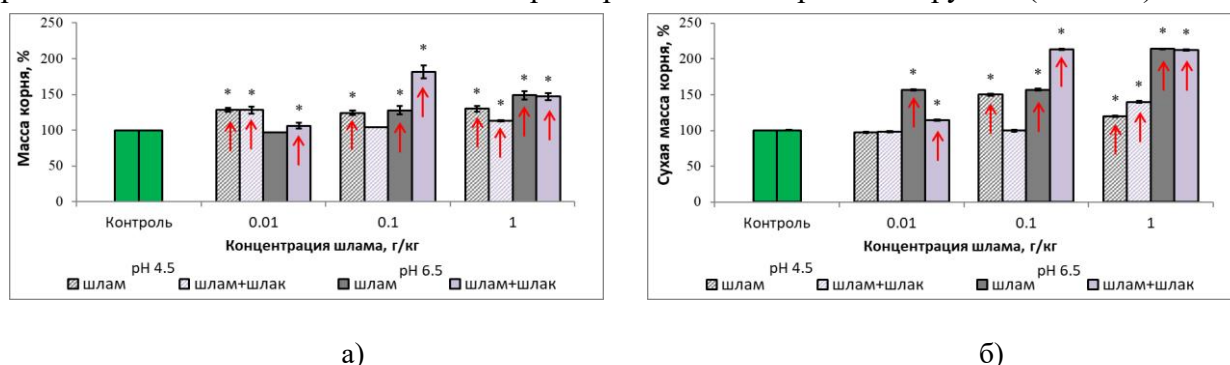


Рисунок 4. Масса корней вики посевной: а) сырая биомасса; б) сухая биомасса

Также установлено, что анализируемые металлургические отходы не оказали достоверного влияния на эффективность фотосинтетической системы II растений вики посевной.

### ***Результаты накопления цинка вегетативными органами растения***

По результатам атомно-абсорбционной спектрометрии (Рис. 5) установлено, что накопление цинка надземной частью (прирост концентрации относительно контроля) растения составило 0.00018 мкг/г, корнями – 0.00025 мкг/г.

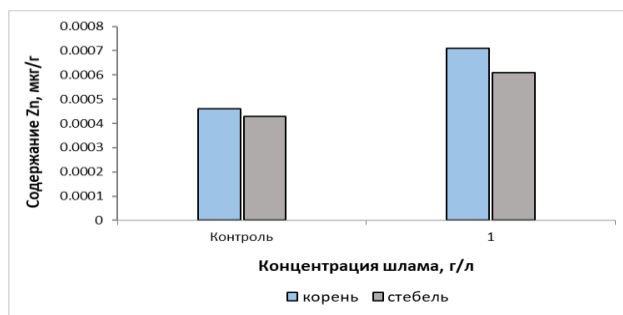


Рисунок 5 – Содержание цинка в растительных тканях вики посевной

По результатам исследования можно сказать, что исследуемый доменный шлак, отдельно, или в смеси со шлаком, благоприятно действует на изучаемые показатели вики посевной на кислых почвах.

### **Заключение**

Согласно результатам анализа морфометрических признаков и биомассы, конверторный шлак и доменный шлак положительно влияют на данные показатели вики посевной на кислых почвах. Наибольший прирост длины стебля (17%) и его сырой массы (30%) наблюдается у проростков в кислом субстрате при концентрации шлака 0.1 г/кг. Прирост длины корня в кислой среде при концентрации шлака 0.1 – 1 г/составил 48 %. Также установлено накопление цинка в растительных тканях вики посевной.

Таким образом, доменный шлак может использоваться в качестве минерального удобрения, так как входящие в его состав компоненты являются микроэлементами, необходимыми для минерального питания растений. Добавление конвертерного шлака вызывал прирост всех исследуемых показателей по сравнению с внесением доменного шлака. Так как внесение конвертерного шлака в кислый субстрат способствует повышению ряда показателей у исследуемой сельскохозяйственной культуры по сравнению с действием чистого доменного шлака, то конвертерный шлак возможно применить в качестве аналога извести для мелиорации почв.

Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (тема № 1023080200005-3-1.6.19 Фундаментальные основы формирования взаимодействий синтетических высокодисперсных частиц с микроорганизмами и растениями).

### Список литературы

1. Бажин В. Ю. Отходы металлургического производства как альтернативный минерально-сырьевой ресурс / В. Ю. Бажин // Металлургия легких и тугоплавких металлов : материалы III Междунар. науч.-техн. конф., 10-11 октяб. 2014 г. — Екатеринбург : УрФУ, 2014. — С. 96-100.
2. Московченко, Е. Н. Загрязнение земель Московской области: масштабы и специфика // Теория и практика общественного развития. – 2013. – №. 5. – С. 327-329.
3. ФАО. 2013 год. Обеспечение качества работы лабораторий по анализу кормов для животных. Руководство ФАО по вопросам животноводства и здоровья животных, №14. – Рим, 2013.

### References

1. Bazhin V. Yu. Waste from metallurgical production as an alternative mineral resource / V. Yu. Bazhin // Metallurgy of light and refractory metals: materials of the III International. scientific-technical Conf., 10-11 Oct. 2014 - Ekaterinburg: UrFU, 2014. - pp. 96-100.
2. Moskovchenko, E. N. Land pollution in the Moscow region: scale and specificity // Theory and practice of social development. – 2013. – No. 5. – pp. 327-329.
3. FAO. year 2013. Ensuring the quality of work of laboratories for the analysis of animal feed. FAO Guide to Livestock Production and Health, No. 14. – Rome, 2013.