

Гусев Александр Анатольевич

ФГБОУ ВПО "Тамбовский государственный университет имени Г.Р. Державина"
Заведующий лабораторией
Кандидат сельскохозяйственных наук
Gusev A.A.
Tambov State University named after G.R. Derzhavin
Head of the laboratory
E-Mail: nanosecurity@mail.ru

Шуклинов Алексей Васильевич

ФГБОУ ВПО "Тамбовский государственный университет имени Г.Р. Державина"
Ведущий специалист
Кандидат физико-математических наук
Shuklinov A.V.
Tambov State University named after GR Derzhavina
Leading specialist
E-Mail: tambovbest@yahoo.com

Акимова Ольга Александровна

ФГБОУ ВПО "Тамбовский государственный университет имени Г.Р. Державина"
Аспирант
Akimova O.A.
Tambov State University named after G.R. Derzhavin
Postgraduate
E-Mail: yalo5304@yandex.ru

Захарова Ольга Владимировна

ФГБОУ ВПО "Тамбовский государственный университет имени Г.Р. Державина"
Лаборант
Zakharova O.V.
Tambov State University named after G.R. Derzhavin
Laboratory assistant
E-Mail: olgazakharova1@mail.ru

Васюкова Инна Анатольевна

ФГБОУ ВПО "Тамбовский государственный университет имени Г.Р. Державина"
Инженер
Vasyukova I.A.
Tambov State University named after G.R. Derzhavin
Engineer
E-Mail: inok_tambov@mail.ru

**Электронномикроскопическое исследование клеток растений кукурузы под
воздействием металлургического шлама**

Electron microscopy of the corn plant cells under the influence of metallurgical sludge

Аннотация: Проведено электронномикроскопическое исследование клеток растений кукурузы под воздействием металлургического шлама. В тканях Кукурузы сладкой (*Zea Mays*), выращенной в присутствии металлургического шлама в концентрации 0,01% и 10% было зафиксировано бионакопление Ni, Al, Fe и Cu.

Работа выполнена при поддержке ГК 14.512.12.0002 от 22.02.2013 г.

Abstract: Electron microscopic study conducted corn plant cells under the influence of metallurgical sludge. In the tissues of sweet corn (*Zea Mays*), grown in the presence of metallurgical sludge in a concentration of 0.01% and 10% was recorded bioavailability Ni, Al, Fe and Cu.

The work was supported by the State Contract 14.512.12.0002 (22.02.2013).

Ключевые слова: Высокодисперсные материалы; металлургические отходы; металлургические шламы; бионакопление; кукуруза.

Key words: Superfine materials; metal waste; metal sludge; binakoplenie; corn.

Введение

Металлургический шлак является высокодисперсным отходом аглодоменного производства, в состав которого входит ряд металлов, таких как никель, алюминий, железо, медь и др. способные накапливаться в клетках и тканях растений. Перечисленные компоненты шлама, в свою очередь являются элементами необходимыми, в небольших количествах, для роста и развития растений.

Микроэлементы за счет своего каталитического действия позволяют растениям более эффективно использовать основные элементы питания - энергию солнца и воду, что в свою очередь положительно влияет на продуктивность растений и качество урожая. Кроме того они входят в состав ферментов и ферментных систем, без которых невозможно протекание биохимических процессов в организме растения. Микроэлементы способны усиливать свойство тканей растения к восстановлению, что в значительной степени уменьшает поражение растений заболеваниями [1].

Методы и материалы

В ходе исследования анализировались образцы шлама ОАО «Северсталь» отобранные из золошламонакопителя № ДП ЗШН-2, к-2 в марте 2013 г. По полученным данным был проведен количественный фазовый анализ с использованием встроенного программного обеспечения. Относительные доли компонентов определялись по интенсивности пиков. В ходе исследований в образце были идентифицированы фазы оксидов железа, кремния и кальция. Помимо этого в диапазоне углов 22-30° обнаруживается диффузное гало, которое указывает на присутствие аморфного углерода (коксовая пыль).

Таким образом, по данным рентгеновского анализа были определены четыре основные фазы, присутствующие в шламе. Надо отметить, что метод рентгеновской дифракции не обнаружил присутствие соединений достаточно тяжелого металла – цинка, что указывает на то, что они находятся в высокодисперсном состоянии.

В связи с этим для анализа шламов целесообразно использовать также и элементный анализ. Наиболее рациональным с точки зрения эффективности и экспрессности является метод рентгенофлуоресцентной спектроскопии, в связи с чем он был использован для создания методики анализа шлама.

Еще одним эффективным и исчерпывающим методом наблюдения структуры частиц шлама, во многом определяющей процессы биоконверсии при контакте с почвой или живыми объектами является метод электронной сканирующей микроскопии. Исследование микроструктуры проводилось на электронном сканирующем микроскопе высокого разрешения Merlin (Carl Zeiss, Германия) со спектрометрами и сканирующем электронно-ионный микроскоп Neon 40 (Carl Zeiss, Германия). Пространственное разрешение прибора 2,5 нм, ускоряющее напряжение от 0,3кВ до 30 кВ, диапазон увеличений от x5 до x300 000, максимальный размер образца диаметр до 200 мм, высота до 80 мм, катод LaB6, безазотный кремний-дрейфовый SDD рентгеновский детектор X-MAX.

Проведенные исследования позволили выявить существенные различия в химическом составе крупных и мелких частиц шлама. В частности, при интегральном анализе большого количества частиц шлама концентрация железа достигает 62 % масс. Очевидно, что все железо находится в окисленной форме, что указывает на хорошее совпадение с данными рентгеновской дифрактометрии. Содержание цинка находится на уровне 9.7 % масс.

Напротив, крупные частицы содержат мало соединений цинка. При этом концентрация железа и кислорода остается на близком уровне.

Таким образом, использование совмещенного электронномикроскопического и элементного анализа позволило определить химический состав шлама (табл. 1).

Таблица 1

Результаты элементного анализа образца металлургического шлама

Элемент	Весовой %	Атомный %
Al	4,54	7,79
Si	11,24	18,52
S	4,40	6,35
K	0,67	0,79
Ca	6,49	7,49
Ti	0,22	0,21
Cr	0,08	0,08
Fe	62,17	51,52
Ni	0,48	0,38
Zn	9,17	6,88
Итого	100.00	100.00

Исследование влияния металлургического шлама проводилось на растениях кукурузы, являющейся одной из основных культур мирового земледелия. Благодаря высокой урожайности, разностороннему использованию и успехам селекции, кукуруза значительно продвинулась на север. Мировые площади под этой культурой постоянно расширяются [2].

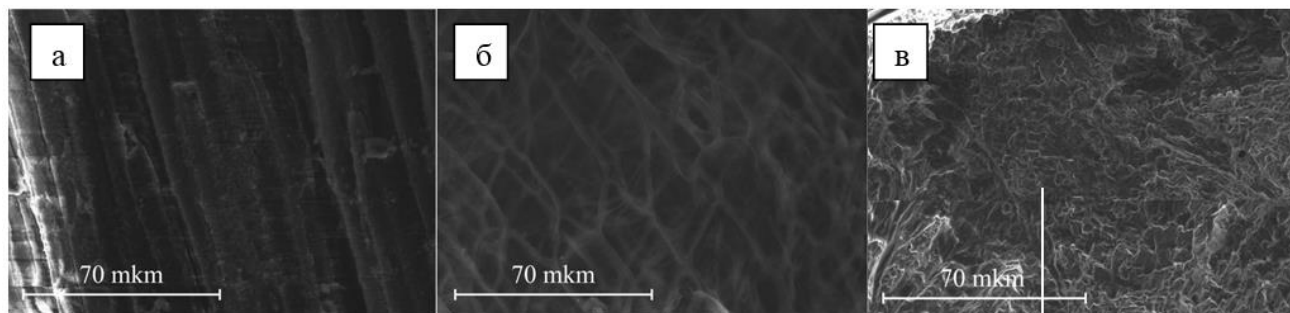
Кукуруза сахарная – представитель класса двудольных семейства Злаки, является единственным культурным представителем рода Кукуруза. Широко используется в сельском хозяйстве как кормовая культура, а также применяется в медицине и кулинарии.

Были проведен элементный анализ и картирование химических элементов образцов корней и зеленых частей экспериментальных растений с помощью электронного сканирующего микроскопа высокого разрешения Merlin (Carl Zeiss, Германия) со

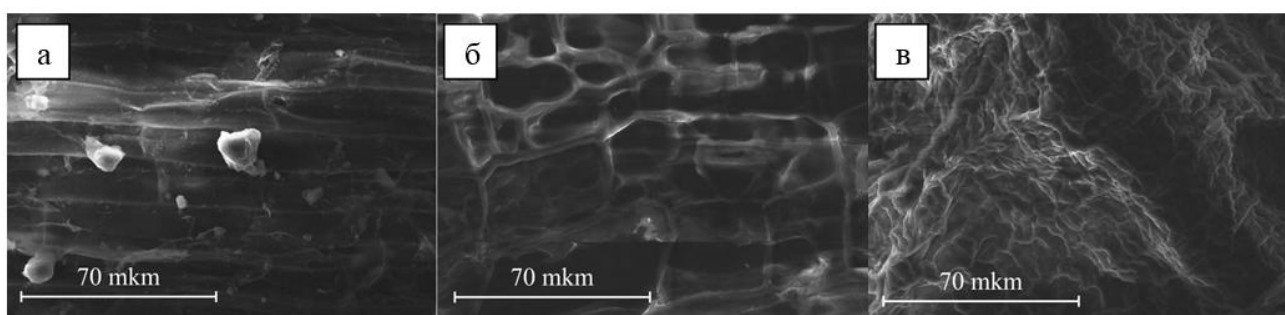
спектрометрами. Наибольший интерес для нас представляло содержание металлов в растениях.

Результаты исследования

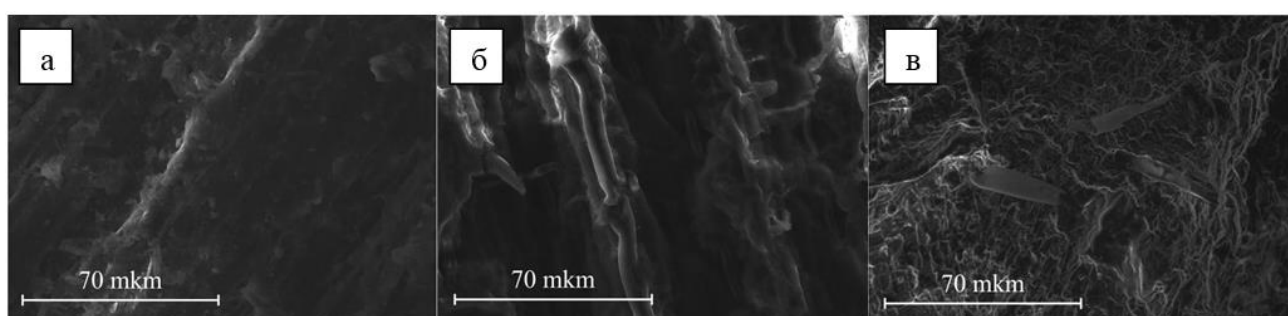
На рис. 1-3 представлены электронные фотографии корня, листьев и семян экспериментальных и контрольных растений.



*Рис. 1. Электронные фотографии растения из контрольной группы:
а) корень; б) листья; в) семена*



*Рис. 2. Электронные фотографии растения, обработанного иламом в концентрации 0,01%:
а) корень; б) листья; в) семена*



*Рис. 3. Электронные фотографии растения, обработанного иламом в концентрации 10%:
а) корень; б) листья; в) семена*

Согласно результатам элементного анализа в тканях растений были обнаружены следующие металлы: Ni, Al, Fe, и Cu.

В таблице 2 и на рис. 4 и представлены данные о весовом (%) распределении Ni в тканях кукурузы сладкой.

Таблица 2

Содержание Ni в тканях экспериментальных растений кукурузы сладкой (*Zea Mays*)

Группа	Корень, вес. %	Листья, вес. %	Семена, вес. %
Контроль	0	0	0
Шлам 0,01%	0,05±0,01	0,04±0,01	0,08±0,01
Шлам 10%	0,05±0,01	0,07±0,02	0,07±0,01

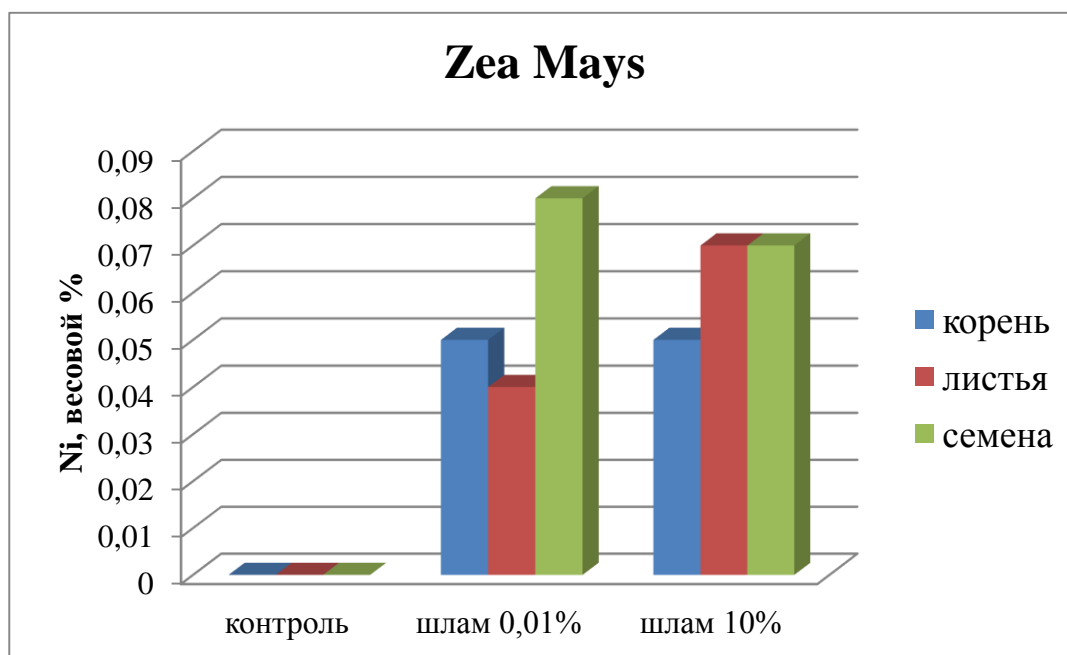


Рис. 4. Содержание Ni в тканях кукурузы сахарной (*Zea Mays*)

Здесь можно отметить, что максимальная концентрация Ni зафиксирована в семенах растений, обработанных шлагом в концентрации 0,01%, минимальная – в листьях растений этой же группы. В клетках корнях растений обеих экспериментальных групп содержание искомого металла на одном уровне. В клетках листьев и семян растений из группы, обработанной шлагом в концентрации 10% содержание Ni одинаково и на ~30% больше, чем в клетках корня тех же растений.

Картирование Ni в клетках исследуемых растений характеризуется равномерностью распределения во всех частях растения как в образцах, обработанных шлагом в концентрации 0,01% (рис. 5), так и в концентрации 10% (рис.6).

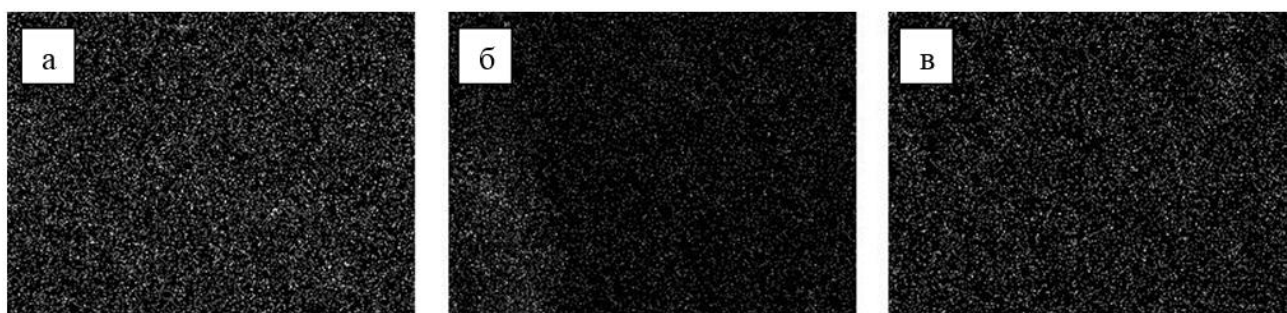


Рис. 5. Данные картирования содержания Ni в растениях, обработанных шлагом в концентрации 0,01%: а) корень; б) листья; в) семена

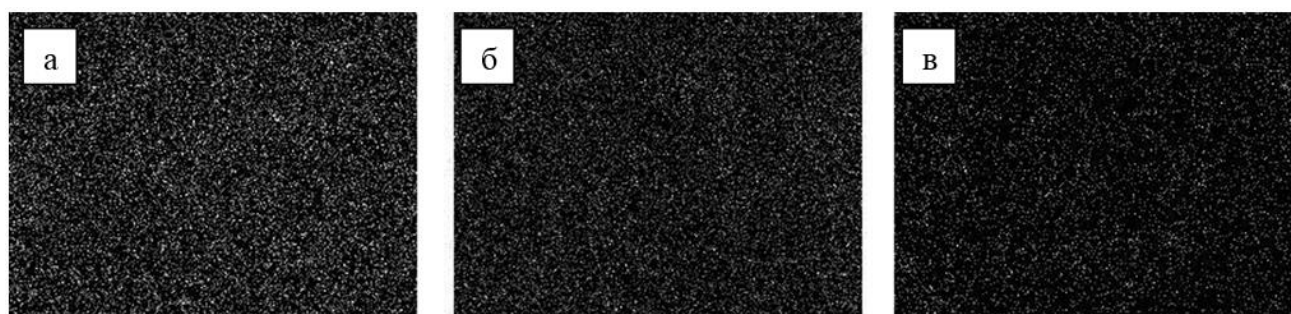


Рис. 6. Данные картирования содержания Ni в растениях, обработанных шламом в концентрации 10%: а) корень; б) листья; в) семена

Бионакопление Al в тканях экспериментальных растений характеризуется следующим образом: максимальное количество зафиксировано в семенах растений, обработанных 10% раствором шлама; минимальное количество – в листьях и семенах растений, обработанных 0,01% раствором шлама. В группе, обработанной 10% раствором шлама наблюдается увеличение концентрации Al от корней к семенам (таблица 3, рис. 7). В контрольных образцах тканей кукурузы искомый элемент не зафиксирован.

Таблица 3

Содержание Al в тканях экспериментальных растений кукурузы сладкой (Zea Mays)

Группа	Корень, вес. %	Листья, вес. %	Семена, вес. %
Контроль	0	0	0
Шлам 0,01%	0,16±0,01	0,09±0,02	0,08±0,01
Шлам 10%	0,22±0,02	0,3±0,04	0,64±0,06

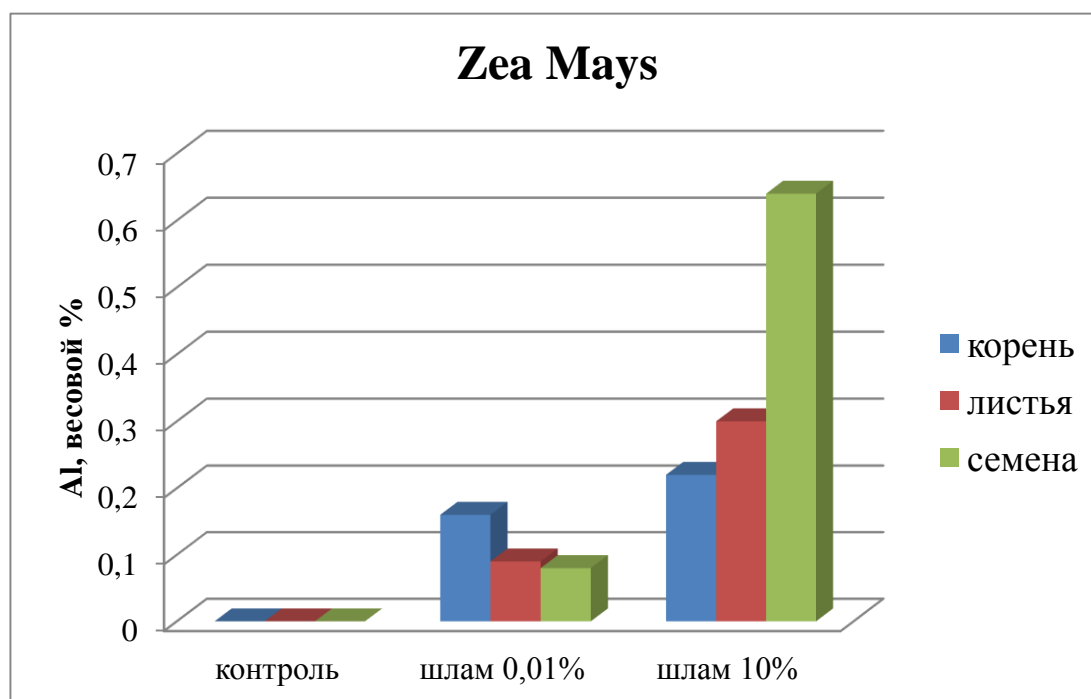


Рис. 7. Содержание Al в тканях кукурузы сахарной (Zea Mays)

Картирование распределения Al в тканях экспериментальных растений характеризуется неравномерным распределением и наличием крупных агрегатов (рис. 8, 9). Особенно это проявляется при картировании тканей растений из группы, обработанной 10% раствором металлургического шлама (рис. 9). В тканях листьев растений этой группы наблюдаются отдельные крупные локализации Al (рис. 9 б).

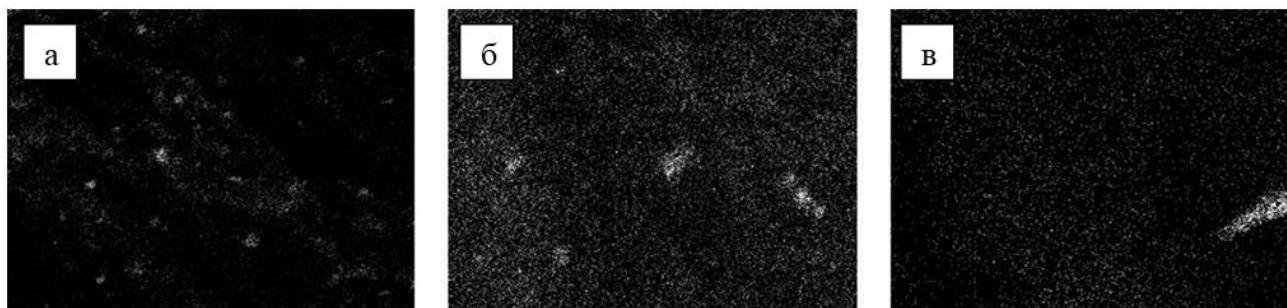


Рис. 8. Данные картирования содержания Al в растениях, обработанных шламом в концентрации 0,01%: а) корень; б) листья; в) семена

Fe, в отличие от элементов, описанных выше аккумулируется в корнях растений. При этом на корни приходится до 85% от общего содержания Fe в растении. Этот факт справедлив как для тканей растений, обработанных шламом в концентрации 0,01%, так и для растений, обработанных 10% раствором шлама (таблица 4, рис. 10). В контрольных образцах тканей растений содержание Fe не зафиксировано.

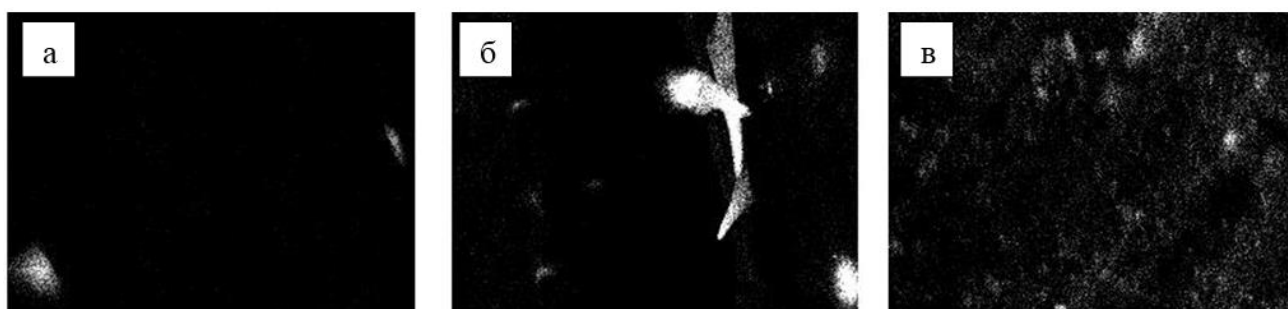


Рис. 9. Данные картирования содержания Al в растениях, обработанных шламом в концентрации 10%: а) корень; б) листья; в) семена

Таблица 4

Содержание Fe в тканях экспериментальных растений кукурузы сахарной (Zea Mays)

Группа	Корень, вес%	Листья, вес%	Семена, вес%
Контроль	0	0	0
Шлам 0,01%	0,08±0,01	0,02±0,01	0,01±0,01
Шлам 10%	0,1±0,02	0,01±0,01	0,01±0,01

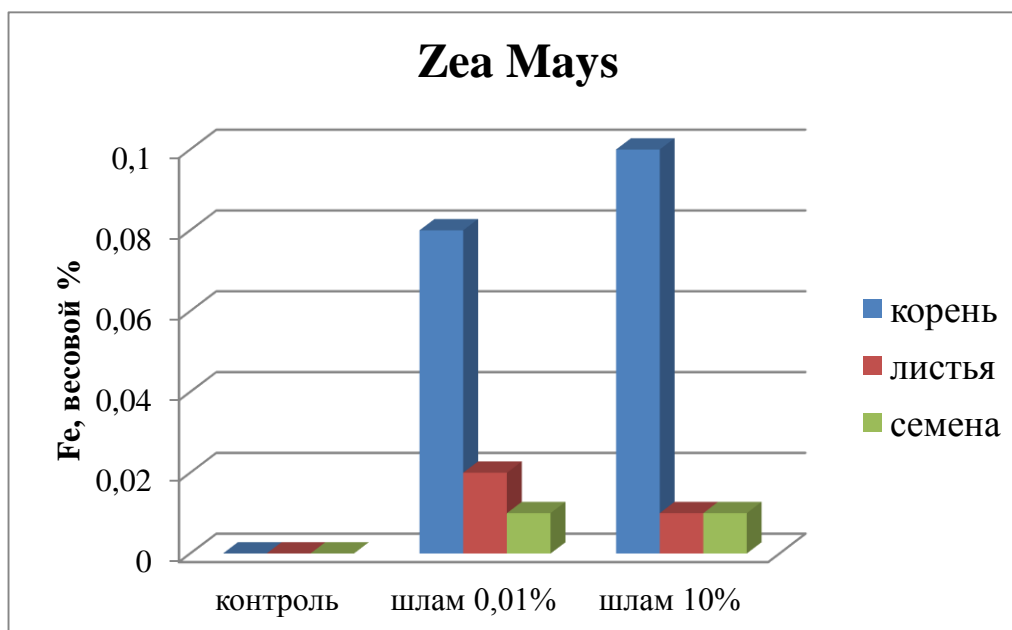


Рис. 10. Содержание Fe в тканях кукурузы сахарной (*Zea Mays*)

Картирование Fe в тканях экспериментальных растений, так же как и Ni характеризуется равномерностью распределений по клеткам. Данное свойство справедливо как для растений, обработанных 0,01% раствором, так и для растений, обработанных 10% раствором металлургического шлама (рис. 11, 12).

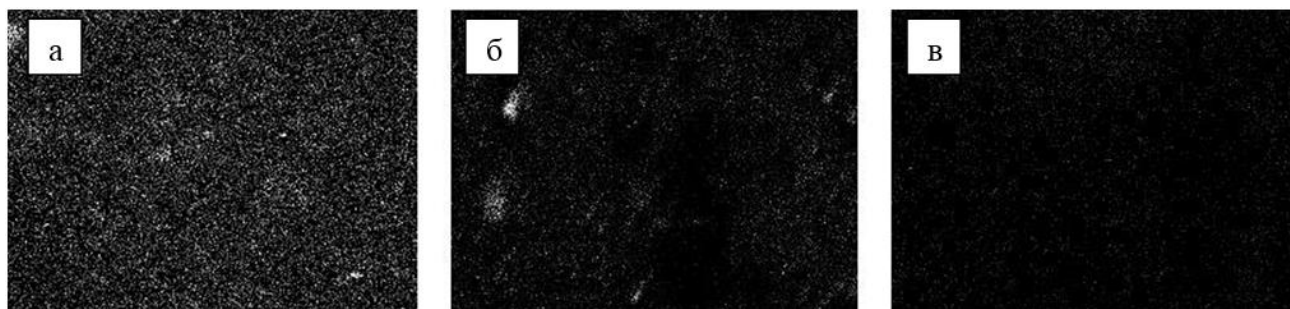


Рис. 11. Данные картирования содержания Fe в растениях, обработанных шламом в концентрации 0,01%: а) корень; б) листья; в) семена

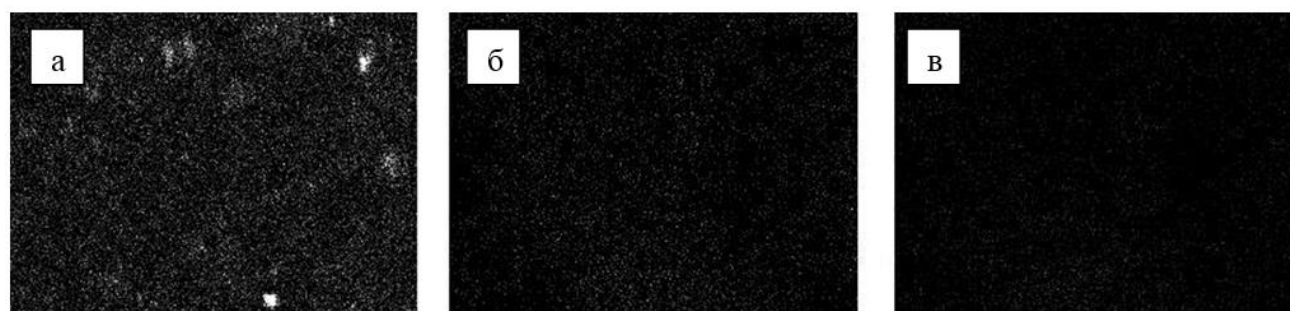


Рис. 12. Данные картирования содержания Fe в растениях, обработанных шламом в концентрации 10%: а) корень; б) листья; в) семена

Помимо вышеописанных металлов в тканях исследуемых растений обнаружены небольшие примеси Си. Однако нельзя утверждать, что данный элемент не содержится в тех частях экспериментальных растений, где он достоверно не зафиксирован, так как значения могут быть ниже границы чувствительности используемого метода (таблица 5).

Таблица 5

Содержание Си в тканях экспериментальных растений кукурузы сахарной (*Zea Mays*)

Группа	Корень, вес%	Листья, вес%	Семена, вес%
Контроль	0,03±0,01	–	–
Шлам 0,01%	–	–	0,04±0,01
Шлам 10%	–	–	0,01±0,01

Выводы

Таким образом, в тканях Кукурузы сладкой (*Zea Mays*), выращенной в присутствии металлургического шлама в концентрации 0,01% и 10% было зафиксировано бионакопление Ni, Al, Fe и Cu.

Максимальная концентрация Ni зафиксирована в клетках семян растений из группы, обработанной 0,01% раствором шлама, минимальная концентрация зафиксирована в тканях растений этой же группы. По результатам картирования можно сделать вывод о равномерном распределении Ni в тканях всех частей экспериментальных растений. В образцах тканей контрольных растений наличие Ni не зафиксировано.

В бионакоплении Al в клетках экспериментальных растений можно выделить следующие особенности: минимальное количество Al зафиксировано в клетках листьев и семян растений из группы, обработанной 0,01% раствором шлама, максимальное – в семенах растений из группы, обработанной 10% раствором шлама. Содержание искомого металла в группе, обработанной меньшей концентрацией шлама уменьшается от корня к семенам, а в группе, обработанной большей концентрацией, наоборот, увеличивается от корня к семенам. Картирование тканей на содержание Al в клетках отличается наличием крупных металлических агрегатов.

Биораспределение Fe характеризуется неравномерностью в разных частях экспериментальных растений. Так, в клетках корней экспериментальных растений сконцентрировано до 85% от общего количества зафиксированного в растении Fe. Данное явление характерно как для группы, обработанной 0,01% раствором шлама, так и для группы растений, обработанных 10% раствором металлургического шлама. В клетках контрольных растений Fe не обнаружено.

Содержание Cu достоверно зафиксировано в клетках корня растений контрольной группы и в клетках семян экспериментальных групп.

ЛИТЕРАТУРА

1. Полевой В.В. Физиология растений - М.: Высшая школа, 1989. - 464 с.
2. Посыпанов Г.С., Долгодворов В.Е., Жеруков Б.Х. Растениеводство. Москва/ изд. «КолосС», 2006

Рецензенты: Кондаков Сергей Эмильевич, д.фарм.н., профессор, профессор кафедры Функциональных Наносистем и Высокотемпературных Материалов, НИТУ «МИСиС», Москва.

Лёвина Вера Васильевна, д.т.н., профессор, профессор кафедры Функциональных Наносистем и Высокотемпературных Материалов, НИТУ «МИСиС», Москва.