

**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 GR Derzhavina*  
*Head of the Laboratory*  
E-Mail: nanosecurity@mail.ru

**Акимова Ольга Александровна**

ФГБОУ ВПО "Тамбовский государственный университет имени Г.Р. Державина"  
Аспирант  
*Akimova O.A.*  
*Tambov State University named after GR Derzhavina*  
*Post-graduate student*  
E-Mail: yalo5304@yandex.ru

**Крутяков Юрий Андреевич**

Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова  
Старший научный сотрудник  
Кандидат химических наук  
*Krutyakov Yu.A.*  
Lomonosov Moscow State University.  
Senior researcher  
E-Mail: sir\_yurii@mail.ru

**Климов Алексей Игоревич**

Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова  
Аспирант  
*Klimov A.I.*  
*Lomonosov Moscow State University.*  
*Post-graduate student*  
E-Mail: klimov\_alexey@yahoo.com

**Денисов Альберт Николаевич**

Группа компаний «АгроХимПром»  
Председатель совета директоров  
*Denisov A.N.*  
*"AgroKhimProm" GC*  
*Chairman of board of directors*  
E-Mail: mail@tdahp.ru

**Кузнецов Денис Валерьевич**

Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС»  
Заведующий кафедрой  
Кандидат технических наук  
*Kuznetsov D.V.*  
*National University of Science and Technology "MISIS"*  
*Head of department*  
E-Mail: dk@misis.ru

**Годымчук Анна Юрьевна**

Национальный исследовательский Томский политехнический университет

Доцент кафедры

Кандидат технических наук

*Godymchuk A.Yu.*

*National Research Tomsk Polytechnic University*

*Assistant professor*

E-Mail: [godymchuk@tpu.ru](mailto:godymchuk@tpu.ru)

**Ихалайнен Екатерина Сергеевна**

ФГБОУ ВПО "Тамбовский государственный университет имени Г.Р. Державина"

Аспирант

*Ihalainen E.S.*

*Tambov State University named after GR Derzhavina*

*Post-graduate student*

E-Mail: [eihalain@gmail.com](mailto:eihalain@gmail.com)

## **Влияние высокодисперсных частиц различной природы на ранние стадии онтогенеза растений рапса (*Brassica napus*)**

The influence of fine particles of different nature on the early stages of ontogeny rape plants (*Brassica napus*)

**Аннотация:** Исследованы биологические свойства трех типов высокодисперсных материалов – металлургического шлама, коллоидного серебра, модифицированного полигексаметилен бигуанидом гидрохлоридом, и многостенных углеродных нанотрубок на растениях рапса. Показано, что все материалы обладают биологической активностью, существенно стимулируя нарастание стеблей и корней. Максимальной эффективностью обладает коллоидное серебро. Также отмечено некоторое снижение энергии прорастания и всхожести семян, при этом минимальное подавляющее действие оказывает коллоидное серебро, максимальное – УНМ, шламы занимают промежуточное положение. Наилучшим суммарным эффектом обладают следующие концентрации: шлам – 0,1%; УНМ -0,01%; коллоидное серебро – 0,0015%.

*Работа выполнена при поддержке ГК 14.512.12.0002 от 22.02.2013 г.*

**Abstract:** The biological properties of the three types of fine materials - steel sludge, colloidal silver modified with polyhexamethylene biguanide hydrochloride, and multi-walled carbon nanotubes on canola plants. It is shown that all materials have biological activity, significantly stimulate the growth of stems and roots. Maximum efficacy of the colloidal silver. Also, there was some decline in vigor and germination of seeds, with a minimum inhibitory effect has colloidal silver, the maximum - CNM, sludge occupy an intermediate position. The best overall effect have the following concentrations: sludge - 0.1%, UNM -0.01% colloidal silver – 0,0015%.

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

**Ключевые слова:** Высокодисперсные материалы; наноматериалы; наночастицы; металлургические отходы; тяжелые металлы; металлургические шламы; нанопорошки; коллоидное серебро; полигексаметилен бигуанид гидрохлорид; многостенные углеродные нанотрубки; биологическая активность; рапс; предпосевная обработка семян.

**Keywords:** Superfine materials; nanomaterials; nanoparticles; metal waste; heavy metals; metal sludges; nanopowders; colloidal silver; polyhexamethylene biguanide hydrochloride; multi-walled carbon nanotubes; biological activity; rape; pre-sowing seed.

## Введение

В последние годы значительное внимание уделяется биологическим эффектам, которые оказывают высокодисперсные материалы на растения. Это связано с тем, что с развитием промышленности и, особенно, nanoиндустрии, поток наноразмерных частиц, поступающих в окружающую среду в составе специфической продукции или техногенных отходов постоянно возрастает. В то же время, большие надежды возлагаются на инновационные препараты для растениеводства, зачастую основанные на использовании высокодисперсных частиц или наночастиц.

В настоящей работе для исследования нами выбраны три широко распространенных в настоящее время типа высокодисперсных частиц – шламы аглодоменного производства, коллоидное серебро (наносеребро) и многостенные углеродные нанотрубки.

Для понимания биологического эффекта, который оказывают высокодисперсные металлургические отходы, целесообразно рассмотреть воздействие на растительные объекты их наиболее активной фракции – тяжелых металлов в форме различных соединений.

При попадании в почву металлы вступают в ряд физических, химических, физико-химических, биохимических и других взаимодействий, в ходе которых они аккумулируются, выщелачиваются, осуществляют межфазные переходы, поступают в растительные и животные организмы. В ходе этих взаимодействий свойства металлов для живых организмов может существенно меняться. Учитывая ультрадисперсность металлургического шлама, можно говорить о нестандартном механизме воздействия его компонентов на растения. Значительная часть исследователей указывает на токсичность металлов и их оксидов для растений [1-3]. Однако, тяжёлые металлы, такие как медь, цинк и др., входящие в состав шлама, являются микроэлементами, которые в небольших количествах необходимы для нормальной жизнедеятельности растений, а, следовательно, металлургические шламы могут оказывать не только негативное воздействие на растительные организмы.

Коллоидное серебро является компонентом многих продуктов nanoиндустрии. В работе [4] оценена экологическая токсичность трех типов наночастиц серебра, размером от 1 до 20 нм в концентрации 0-100 мг/л на прорастание семян на растениях плевела, ячменя и льна. Проращивание проводилось на почве и на песке. Оказалось, что подавление вегетации начиналось с концентрации 10 мг/л, однако полного подавления прорастания достигнуто не было. Размер наночастиц серебра не оказывал влияния на их токсичность. Тип почвы влиял на результаты незначительно. Более чувствительным, чем всхожесть семян, показателем токсичности оказался процесс удлинения проростков.

В то же время, есть свидетельства позитивного воздействия, оказываемого наночастицами на растения, а также исследования показывающие зависимость биологического эффекта от вида растений [5]. В работах отечественных ученых достаточно широко описаны позитивные эффекты нанопорошков металлов на сельскохозяйственные растения [6-9]. Анализируя результаты этих исследований можно отметить, что нанопорошки металлов своим энергетическим воздействием стимулируют процессы адаптации и самоорганизации биологических систем к внешним условиям. Наночастицы, в какой-то мере, снижают отрицательное влияние неблагоприятных факторов окружающей среды.

Многостенные углеродные нанотрубки – ещё один представитель нанопродукции, имеющей широкое распространение. Перспективы применения углеродных нанотрубок в

биологии и медицине во многом связаны с их уникальной способностью проникать через клеточную мембрану [10].

В исследовании [11] методом просвечивающей электронной микроскопии на растении эспарцет (*Onobrychis arenaria*) показано, что многостенные углеродные нанотрубки проникают не только в корни, но и достигают листьев растений, поднимаясь по проводящей системе. При концентрации наноматериала от 100 до 1000 мг/л наблюдалась стимуляция вегетации проростков и усиление пероксидазной активности.

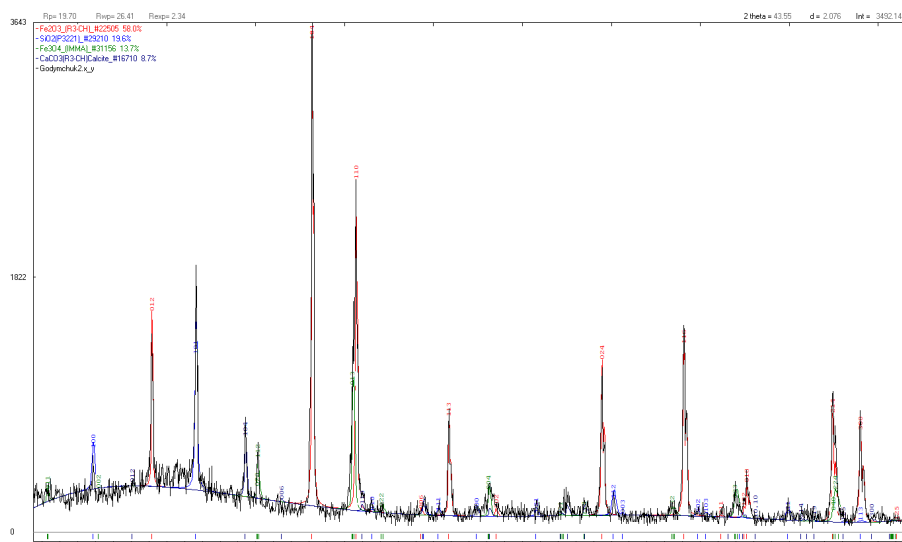
В исследовании [12] показано, что углеродные нанотрубки способствуют росту и развитию растений, не повреждая их клетки. Авторы работы поливали турецкий горох (*Cicer arietinum*) растворами, содержащими водорастворимые фракции углеродных нанотрубок с концентрацией до 6 мкг/л. Было обнаружено, что нанотрубки ускоряют рост всех органов растений – корней, побегов и стеблей. Авторы предполагают, что в присутствии нанотрубок клетки растений лучше усваивают поступающую в них воду и питательные элементы за счет того, что нанотрубки способствуют появлению в растениях «каналов», по которым вода и другие растворимые в воде материалы перемещаются более эффективно.

Результаты этих работ позволяют предположить, что некоторые нанотрубки могут оказывать положительное влияние на растительные организмы. Однако этот вывод нельзя рассматривать как обобщенный, и влияние нанотрубок на биологический объект может зависеть от биологических и физических свойств наноматериала, типа растения и условий его культивирования. Таким образом, для окончательного ответа на вопрос о вреде и пользе нанотрубок для растений необходимо еще значительное количество исследований.

Задачей настоящего исследования стала оценка влияния высокодисперсных частиц – металлургического шлама, коллоидного серебра и многостенных углеродных нанотрубок на ранние стадии онтогенеза растений рапса.

### **Методы и материалы**

Металлургический шлак. Анализировались образцы шлама ОАО «Северсталь» отобранные из золошламонакопителя № ДП ЗШН-2, к-2 в марте 2013 г. Шлак представляет собой высокодисперсный отход аглодоменного производства. Рентгеновский дифракционный профиль металлургического шлама представлен на рис. 1. 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). Результаты количественного фазового анализа представлены в таблице 1.



**Рис. 1.** Рентгеновский дифракционный профиль образца шлама

**Таблица 1**

**Результаты количественного рентгеновского фазового анализа образца металлургического шлама**

Кристаллическая фаза	Объемная доля, %
Оксид железа (III)	58.0
Оксид железа (II)	13.7
Карбонат кальция	8.7
Оксид кремния	19.6

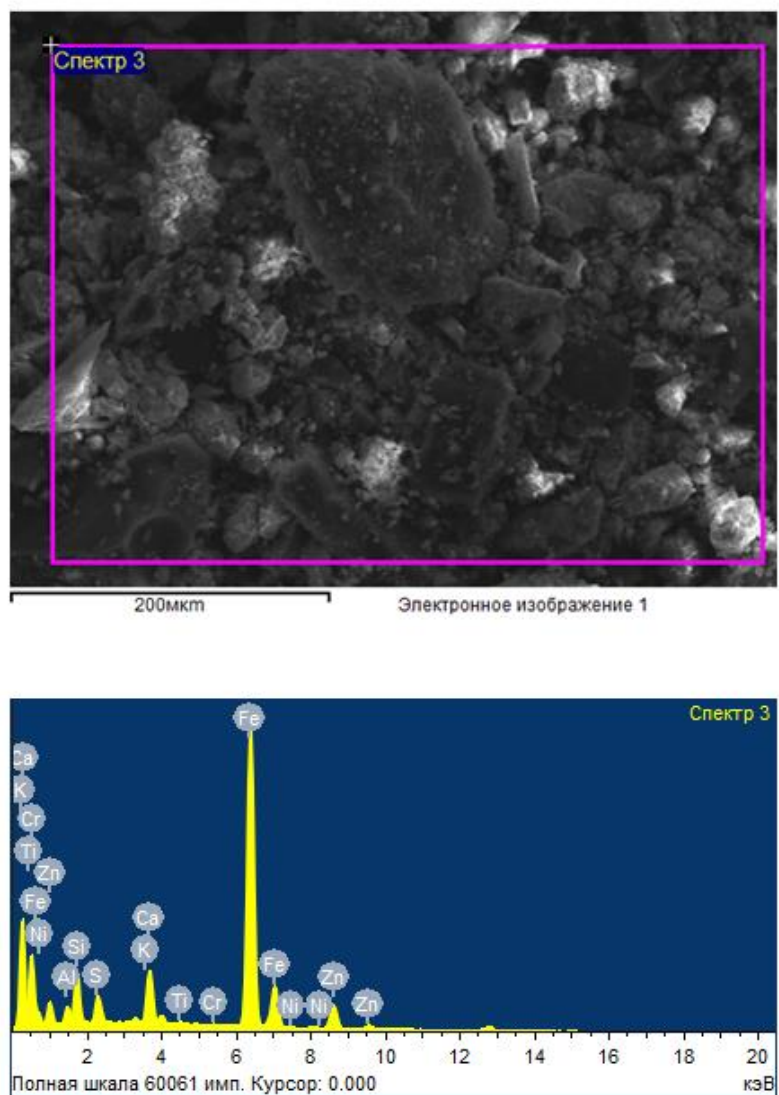
Таким образом, по данным рентгеновского анализа были определены четыре основные фазы, присутствующие в шламе. Надо отметить, что метод рентгеновской дифракции не обнаружил присутствие соединений достаточно тяжелого металла – цинка, что указывает на то, что они находятся в высокодисперсном состоянии.

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 методом исследования структуры частиц шлама 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.

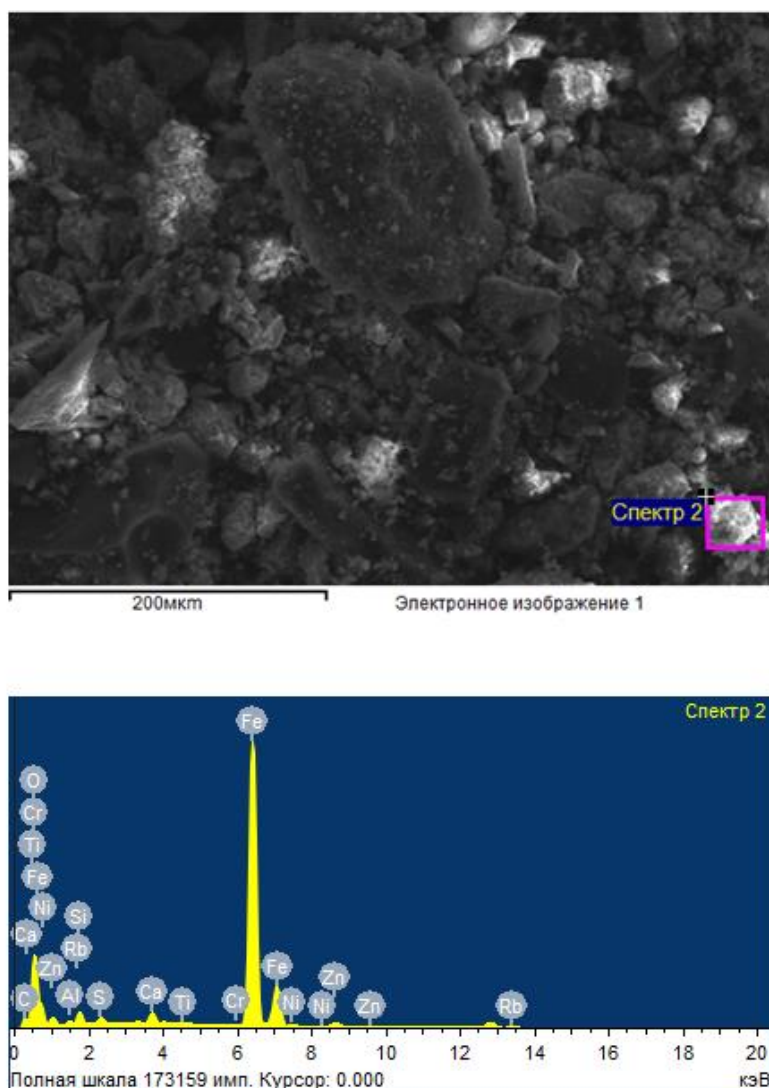
Результаты электронномикроскопического исследования с данными микрозондового анализа представлены на рис. 2-3. Проведенные исследования позволили выявить существенные различия в химическом составе крупных и мелких частиц шлама. В частности, при интегральном анализе большого количества частиц шлама концентрация 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.



*Рис. 2. Данные электронной микроскопии и рентгенофлуоресцентного анализа больших и малых частиц шлама (интегральный метод)*

Напротив, крупные частицы содержат мало соединений цинка. Как видно из рис. 3, его концентрация на локальных участках снижается до 1,7 % масс. При этом концентрация железа и кислорода остается на близком уровне.



**Рис. 3.** Данные электронной микроскопии и рентгенофлуоресцентного анализа больших частиц шлама (интегральный метод)

Таким образом, использование совмещенного электронномикроскопического и элементного анализа позволило определить химический состав шлама (табл. 2).

Можно отметить, что исследуемый образец шлама содержит ряд металлов, которые могут быть как потенциально опасными для растений, так и проявлять фитостимулирующие свойства, являясь компонентами многих витаминов и ферментов.

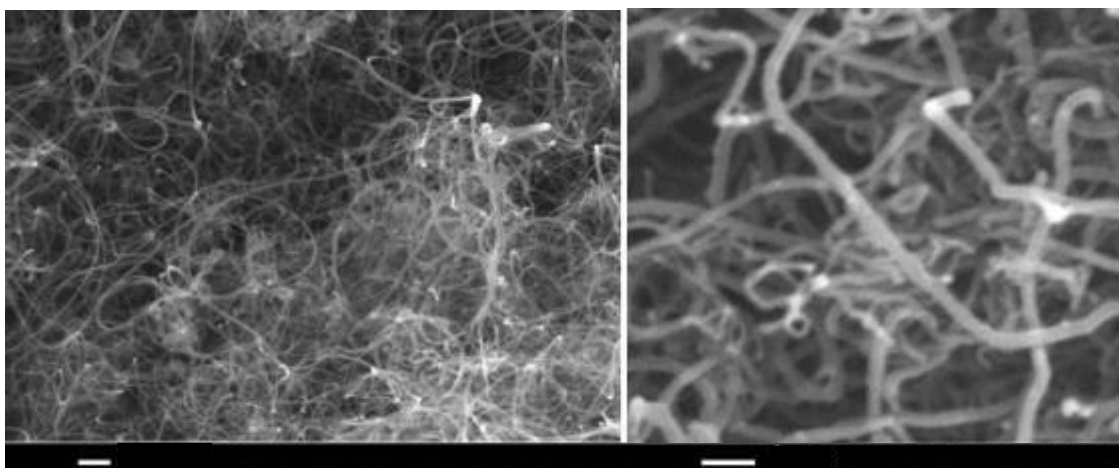
Образец шлама для проведения исследований диспергировали в дистиллированной воде с помощью ультразвуковой установки в концентрациях 0,0001 – 0,1% по массе.

В работе исследовался углеродный наноматериал «Таунит» (УНМ «Таунит»), состоящий из многостенных нанотрубок (более 95-98 мас. %), лукович, фуллеренов, графита и аморфного углерода. Диаметр нанотрубок составляет 11÷28 нм, длина – 5÷10 мкм; расстояние между слоями атомов углерода в нанотрубках ~ 0,25 нм. УНМ представляют собой агломераты размером от 1...1000 мкм со структурой спутанных пучков многостенных углеродных нанотрубок (рис. 1). Данный материал синтезируется методом газофазного химического осаждения (ГФХО или CVD-процесс) путём каталитического пиролиза углеводородов. Его крупнотоннажное производство освоено ООО «НаноТехЦентр» в г. Тамбове.

**Таблица 2.**

**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	9.71	6.88
Итого	100.00	100.00



**Рис. 4.** Морфология исследуемого углеродного наноматериала (электронная микроскопия)

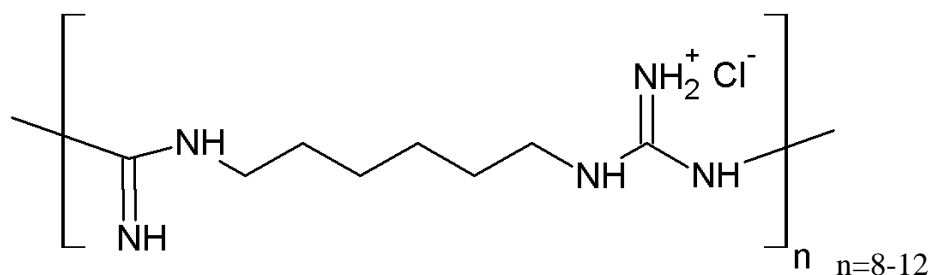
УНМ «Таунит» является перспективным материалом для авиационной, атомной, космической промышленности, медицины, фармацевтики, для производства суперкомпьютеров, видеотехники, плоских экранов, мониторов, фильтров широкого назначения. Добавка УНМ «Таунит» улучшает качество смазок, конструкционных композитов, строительных материалов. Гранулы «Таунита» могут служить носителями катализаторов или лекарственных препаратов, также в качестве адсорбентов, источников холодной эмиссии электронов [13].

Основой биологического действия углеродных нанотрубок является, прежде всего, их высокая проникающая способность и сорбционная активность.



УНМ для проведения исследований диспергировали в дистиллированной воде с помощью ультразвуковой установки в концентрациях 0,0001 – 0,1% по массе.

Исследуемые в настоящей работе наночастицы серебра были получены путем восстановления аммиачного комплекса серебра глюкозой в присутствии УФ-облучения по методике, описанной в [14-16]. В качестве полимера-стабилизатора был использован полигексаметилен бигуанид гидрохлорид (ПГМБ), производимый компанией Arch Chemicals под торговым названием Vantocil TG. Структурная формула данного соединения приведена ниже.



Макромолекула вышеуказанного катионного биоцидного полимера содержит от 8 до 12 структурных звеньев. Особенность данного вещества заключается в возможности стабилизации им высококонцентрированных аквазолей серебра с содержанием металла свыше 5 г/л. Ниже приведены электронные микрофотографии наночастиц серебра, стабилизированных ПГМБ, и данные по распределению частиц по размерам, полученные на основе обработки результатов, полученных методами просвечивающей электронной микроскопии и динамического светорассеяния.

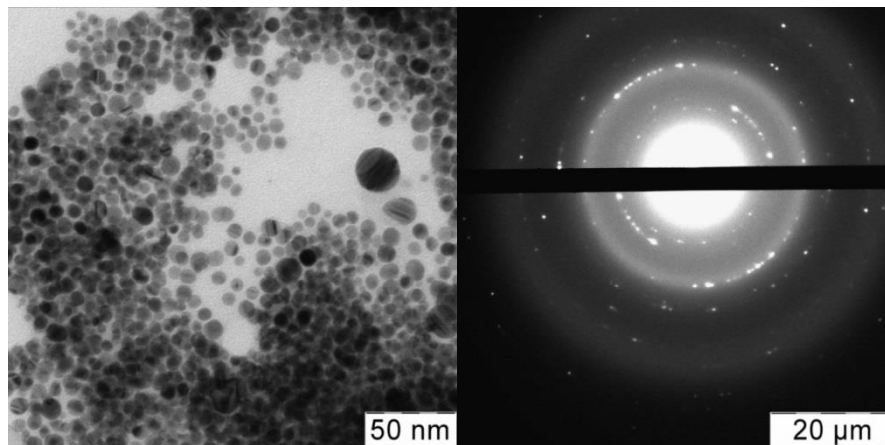
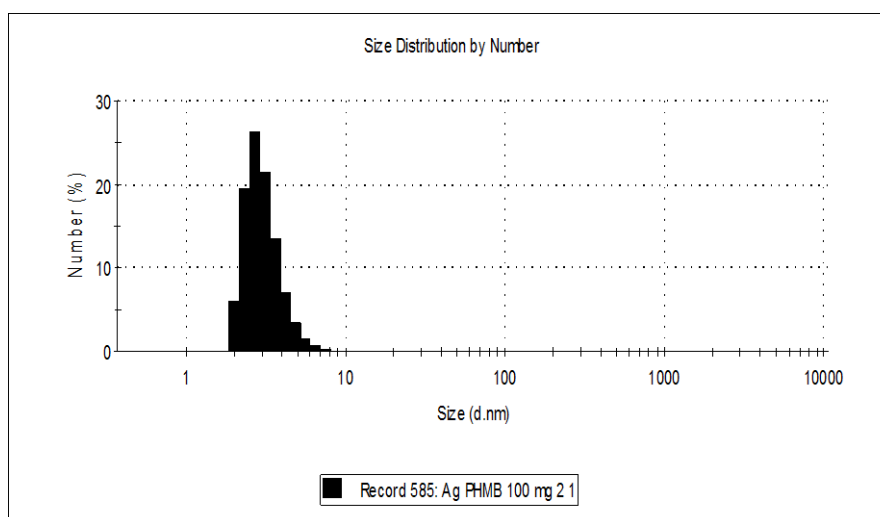
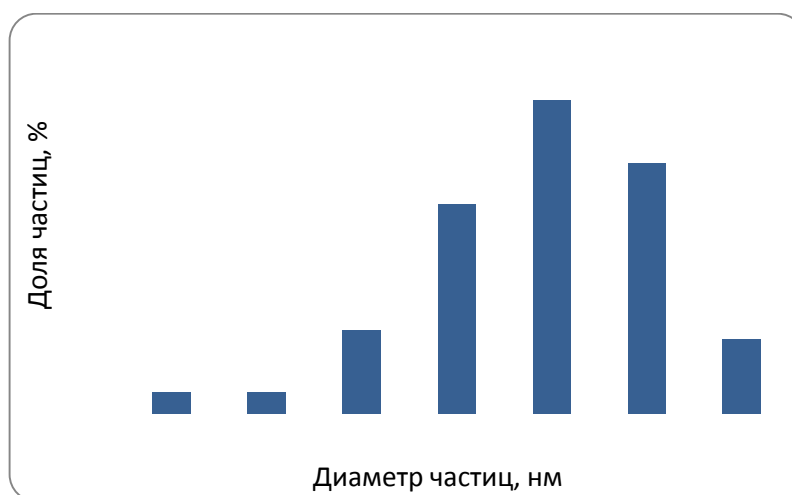


Рис. 5. Электронная микрофотография и дифрактограмма наночастиц Ag-ПГМБ



**Рис. 6.** Гистрограмма распределения наночастиц по размеру, полученная методом динамического светорассеяния



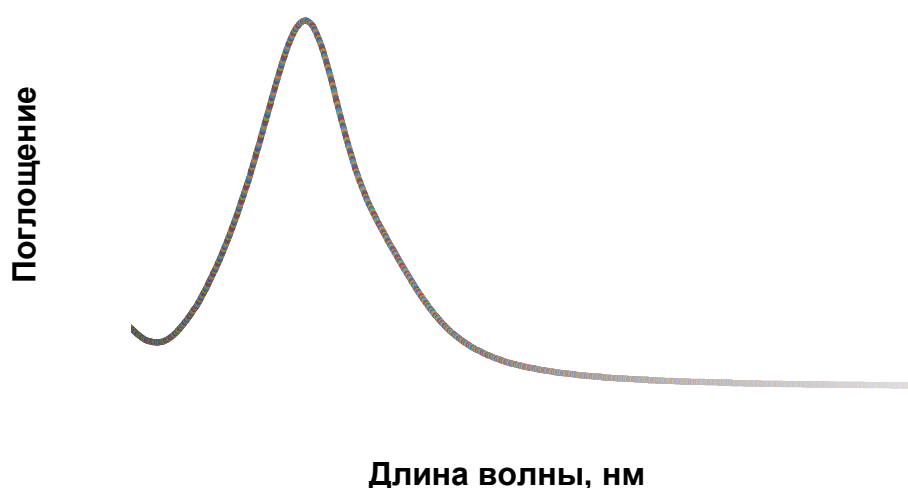
**Рис. 7.** Гистрограмма распределения наночастиц по размеру, полученная после обработки ПЭМ-микрофотографий

Из представленных результатов (рис. 5 -7) можно увидеть, что средний диаметр НЧ, стабилизированных ПГМБ, составляет 10 нм. Данные электронной микродифракции отчетливо выявляют кристалличность образца НЧ серебра.

Данные исследования НЧ методом динамического светорассеяния коррелируют с результатами исследований методом ПЭМ.

Наличие стабилизатора ПГМБ на поверхности наночастиц серебра подтверждается исследованием агрегировавших зольей методом РФЭС.

Из спектров плазмонного поглощения наночастиц (рис.8) можно сделать выводы о наличии характеристической полосы, находящейся в диапазоне 408-415 нм



**Рис. 8.** Спектр поглощения разбавленного аквазоля серебра с исходной концентрацией Ag-ПГМБ 500 мкг/мл

Следует отметить, что катионный полимер ПГМБ проявил себя в качестве исключительного эффективного стабилизатора, позволяющего получать высококонцентрированные дисперсии наночастиц серебра (свыше 5000 мг/л по серебру), устойчивые к разведению как минимум до 0,02 мг/л по серебру. Однако, дисперсии, стабилизированные ПГМБ, теряли агрегативную устойчивость в присутствии даже незначительных количеств хлорид-иона. Сама по себе адсорбция хлорид-иона на поверхности не способна ослабить взаимодействие положительно заряженной молекулы этого азотсодержащего полимера с поверхностью серебра. Кроме того, адсорбировавшиеся на поверхности серебра хлорид-ионы присутствуют в этих дисперсиях изначально (в синтезах был использован гидрохлорид полигексаметиленбигуанида) и не препятствуют стабилизации. Также при увеличении концентрации хлорид-ионов прочная координационная связь азота и серебра не разрушается, и отрыва молекул стабилизатора от поверхности наночастицы не происходит. Однако увеличившаяся ионная сила раствора приводит к падению  $\zeta$ -потенциала наночастиц ниже уровня, соответствующего стабильности дисперсии ( $\pm 30$  мВ), что вызывает их агрегацию и седиментацию.

Наночастицы серебра, известные в качестве эффективного антибактериального препарата для человека и животных, вероятно, также могут оказать фитостимулирующее и фитопротекторное действие.

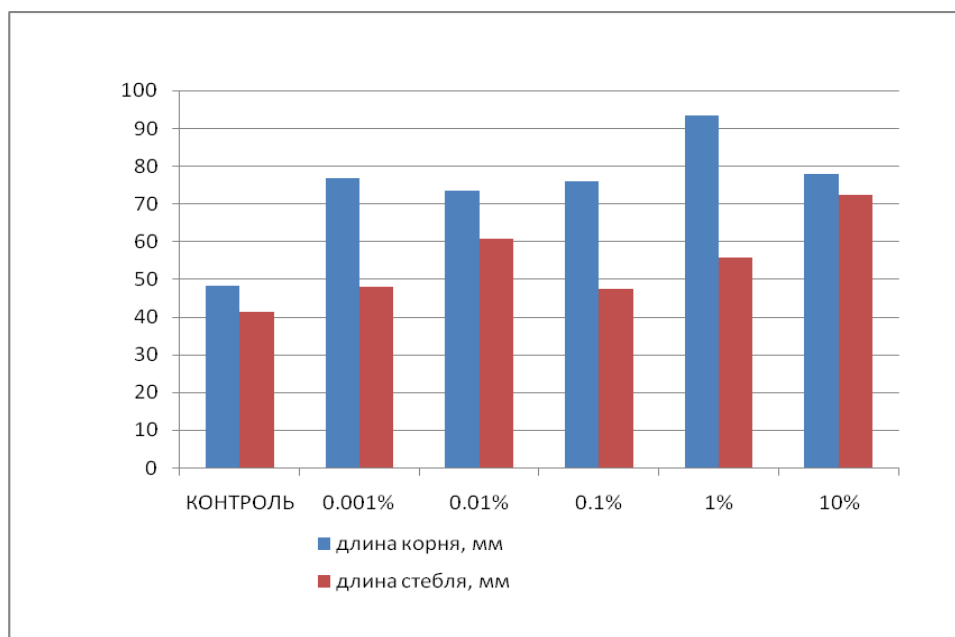
Семена растений рапса проращивались в чашках Петри на средах, содержащих 10 – 0,0001% исследуемых материалов в дистиллированной воде в течение 7 суток, контроль – дистиллированная вода. Конкретные тестируемые концентрации выбирали исходя из литературных данных и результатов предыдущих экспериментов.

Определение энергии прорастания и всхожести проводили по ГОСТ 12038-84 «Семена сельскохозяйственных культур. Методы определения всхожести».

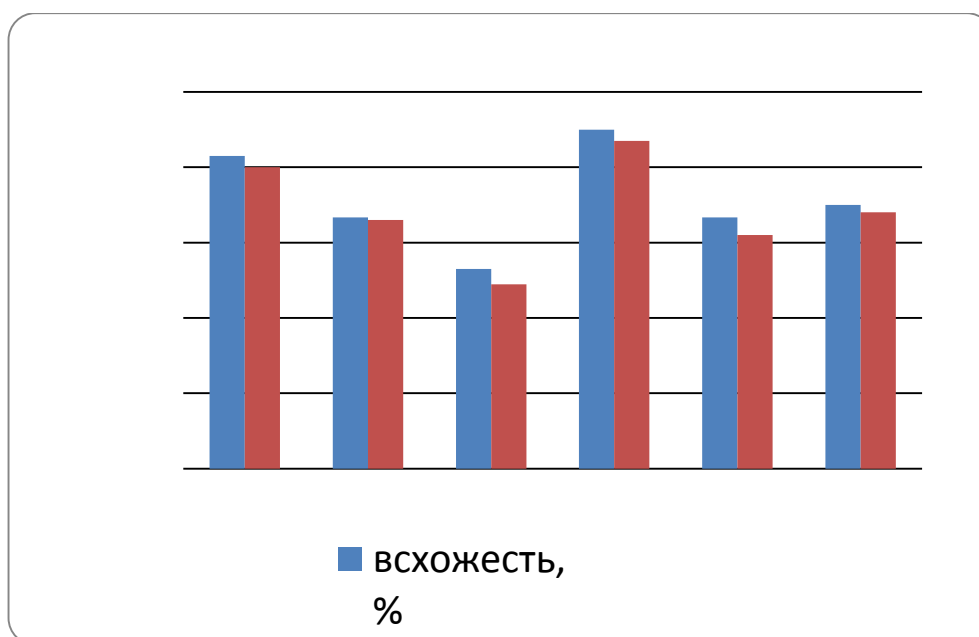
Кроме того, определяли линейные размеры и массу надземных и подземных частей растений по окончании культивации.

## Результаты и обсуждение

**Металлургический шлак.** В ходе проведённого эксперимента было установлено, что все концентрации шлака оказывают стимулирующий эффект на рост побегов. Достоверные эффекты отмечаются на концентрациях 0,01, 1 и 10%. Максимальная стимуляция роста корней (на 48%) наблюдается при концентрации 1%, максимальная стимуляция роста стеблей (на 43%) – при 10% (рис. 9). Всхожесть и энергия прорастания в большинстве случаев подавляются, стимуляция (на 10%) происходит только на концентрации 0,1%. Максимальное подавление (на 30%) – на 0,01% (рис. 10).



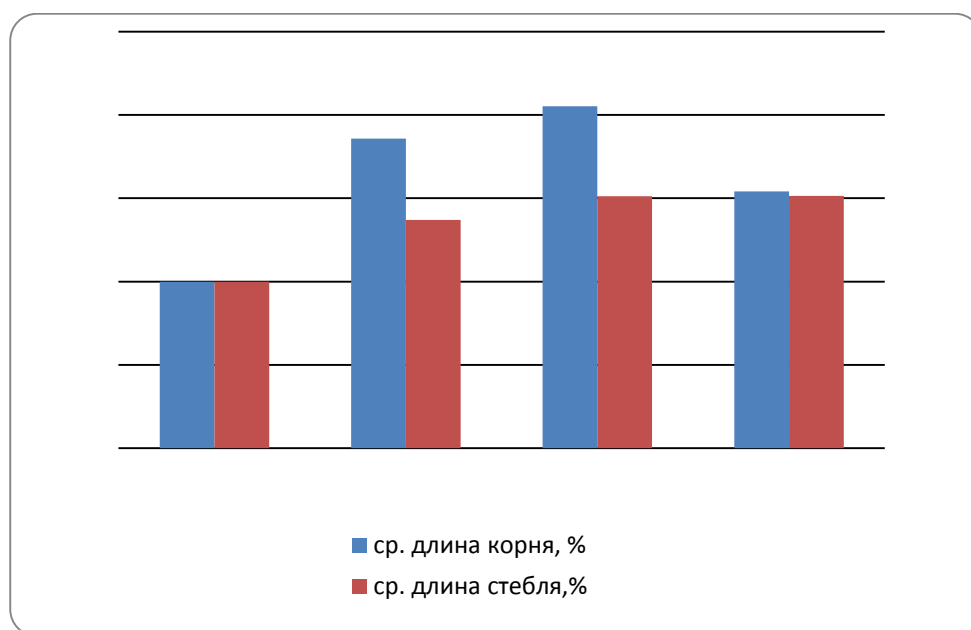
**Рис. 9.** Влияние металлургического шлака на вегетативные показатели растений рапса



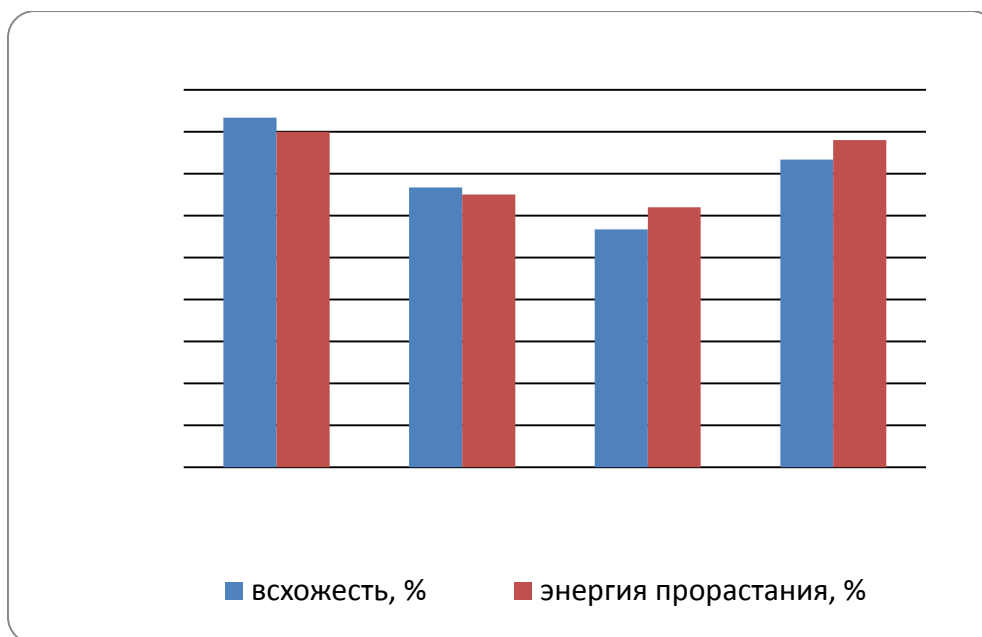
**Рис. 10.** Влияние металлургического шлака на всхожесть и энергию прорастания семян рапса

Можно предположить, что в данном случае имеют место особенности химического взаимодействия ультрадисперсных частиц с жидкой средой, которые является одним из определяющих факторов в стимулировании развития растений, что дает возможность применения ультрадисперсных металлов в качестве микроудобрений и стимуляторов роста, обладающих пролонгированным действием. Нанокристаллические металлы обладают большими возможностями в минеральном питании и энергетическом воздействии. За счёт некомпенсированных связей, они легко образуют комплексные соединения с органическими веществами. В результате чего синтезируются и активируются различные ферменты, влияющие на углеводный и азотный обмены, синтез аминокислот, реакции фотосинтеза и дыхания клеток [6, 7, 8]. В то же время, отмеченные эффекты подавления всхожести и энергии прорастания могут быть связаны с токсическим действие тяжелым металлов.

Коллоидное серебро. Анализируя данные, полученные в результате исследования биологического эффекта наночастиц серебра, можно отметить, что все концентрации показывают достоверные различия для длины корней и стеблей, наблюдается значительная стимуляция. Максимальный эффект (на 100% для корня, на 20% для стебля) достигается при концентрации 0,1% (рис. 11). Всхожесть и энергия прорастания несколько снижаются по сравнению с контролем, максимально на концентрации 0,1% (около 20%) (рис. 12).



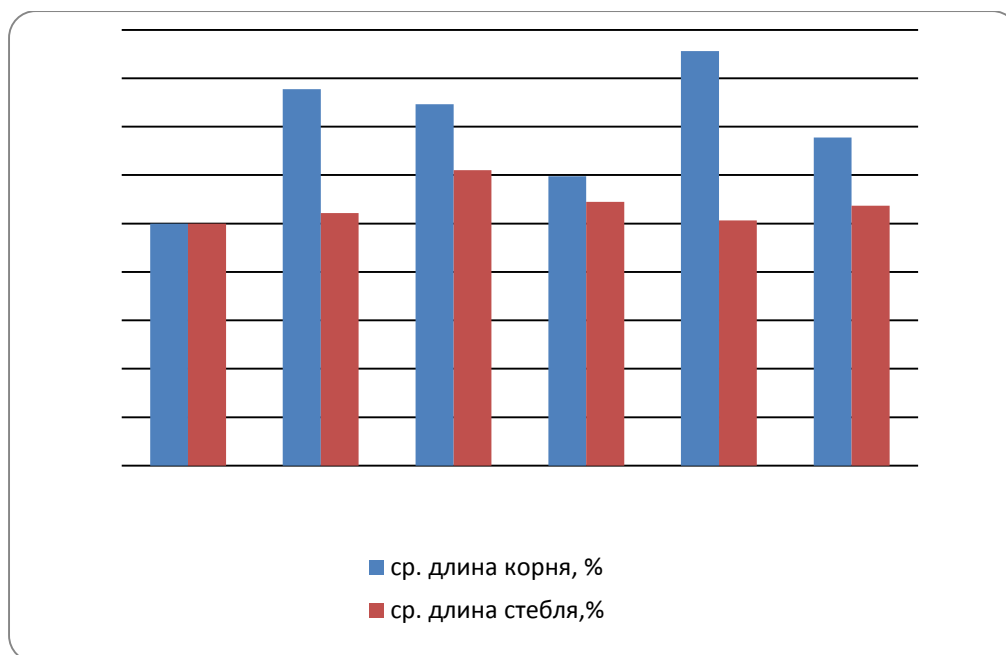
**Рис. 11.** Влияние наночастиц серебра на вегетативные показатели растений рапса



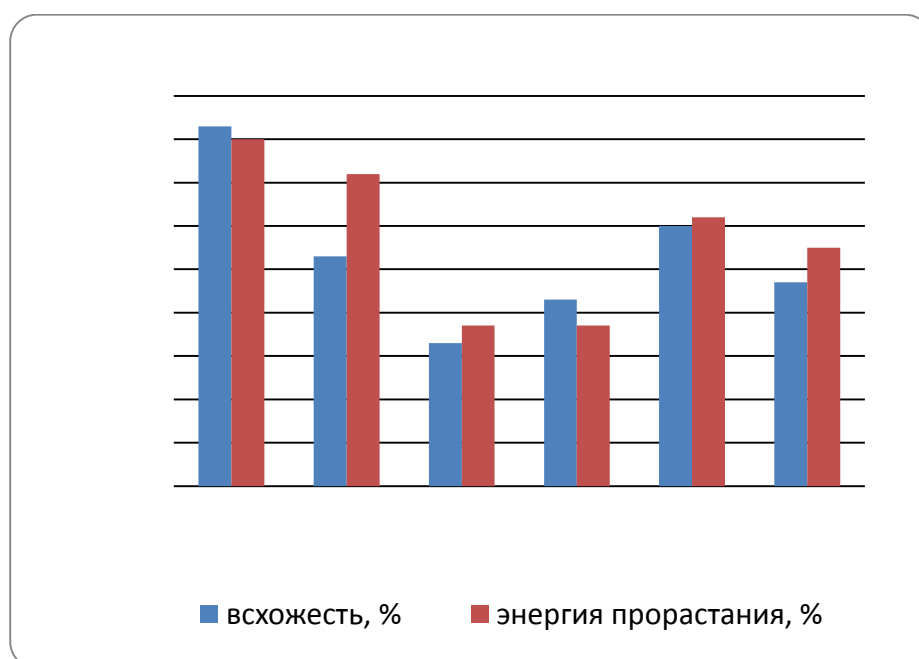
**Рис. 12.** Влияние наночастиц серебра на всхожесть и энергию прорастания семян рапса

Данные результаты находят подтверждение в литературе [17], где показано, что некоторые концентрации наночастиц серебра обладают выраженным фитостимулирующим эффектом на растения тополя и арабидопсиса. Механизмом фитостимуляции может быть подавление наночастицами серебра активности патогенной для растений микрофлоры, а также включение серебра в биохимические процессы.

Углеродный наноматериал. В результате работы по исследованию воздействия коллоидных водных растворов углеродных нанотрубок на семена рапса было установлено, что все концентрации наночастиц оказывают стимулирующее воздействие на длины корня и стебля. Максимальной длины (+70%) корень достигает при концентрации 0,01%, стебель (+10%) – при 0,0001%. Достоверные различия получены для длины корня на концентрации 0,00001, 0,0001 и 0,01% (рис. 13). Всхожесть и энергия прорастания подавляются во всех пробах, наиболее выражен (около 50%) этот эффект при концентрации 0,0001% (рис. 14).



**Рис. 13.** Влияние многостенных углеродных нанотрубок на вегетативные показатели растений рапса



**Рис. 14.** Влияние многостенных углеродных нанотрубок на всхожесть и энергию прорастания семян рапса

Полученные данные согласуются с результатами других исследований [11, 12]. Возможно, что углеродные нанотрубки, создавая дополнительные водные каналы, обеспечивают проростки дополнительной влагой, что является причиной ускоренной вегетации. Также возможны более сложные механизмы стимуляции, связанные с изменением биохимического статуса [12], экспрессией определенных генов, а также влиянием наноматериала на микробиоту [18, 19].

## Выводы

Все исследуемые материалы обладают биологической активностью, существенно стимулируя нарастание стеблей и корней. Максимальной эффективностью обладает коллоидное серебро. Также отмечено некоторое снижение энергии прорастания и всхожести семян, при этом минимальное подавляющее действие оказывает коллоидное серебро, максимальное – УНМ, шламы занимают промежуточное положение. Наилучшим суммарным эффектом обладают следующие концентрации: шлам – 0,1%; УНМ – 0,01%; коллоидное серебро – 0,0015%. Таким образом, для предпосевной обработки семян можно рекомендовать указанные концентрации исследованных материалов. В то же время, отмеченные негативные эффекты всех трех типов высокодисперсных частиц требуют дальнейшего изучения их потенциальной токсичности.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Yadav S. K. Heavy metals toxicity in plants: An overview on the role of glutathione and phytochelatins in heavy metal stress tolerance of plants // South African Journal of Botany. Volume 76, Issue 2, April 2010, Pages 167–179.
2. Fazal Ur Rehman Shah, Nasir Ahmad, Khan Rass Masood, Jose R. Peralta-Videa, Firoz ud Din Ahmad. Heavy Metal Toxicity in Plants/Plant Adaptation and Phytoremediation, 2010, pp 71-97.
3. Nagajyoti P. C., Lee K. D., Sreekanth T. V. M. Heavy metals, occurrence and toxicity for plants: a review // Environmental Chemistry Letters. 04/2012; 8(3):199-216.
4. El-Temsah Y. S., Joner E. J. 2010. Impact of Fe and Ag nanoparticles on seed germination and differences in bioavailability during exposure in aqueous suspension and soil. Environmental Toxicology. DOI: 10.1002/tox.20610.
5. Lin D, Xing B. 2007. Phytotoxicity of nanoparticles: Inhibition of seed germination and root growth. Environmental Pollutants 2007. Vol. 150. Iss. 2. PP. 243-250.
6. Горбачев А. А. Повышение всхожести семян перца и моркови за счет обработки их ультрадисперсными и сверхтонкими препаратами (УДП) металлов: Дисс. к. с.-х.н. Москва, 2001. 211с.
7. Фолманис Г.Э., Коваленко Л.В. Ультрадисперсные металлы в сельскохозяйственном производстве. М.: ИМЕТ РАН, 1999. 80 с.
8. Жеглова Т.В., Воронцова С.В., Назарова А.А., Чурилов Г.И. Влияние железа в ультрадисперсном состоянии на химический состав растений и семян кукурузы. // Инновационные фундаментальные и прикладные исследования в области химии сельскохозяйственному производству: (сборник). Материалы III Международной интернет - конференции. Орел: Изд-во Орел ГАУ, 2010. – С. 16-20.
9. Еськов Е.К., Чурилов Г.И. Влияние обработки семян кукурузы ультрадисперсным порошком железа на развитие растений и аккумуляцию в них химических элементов//Агроэкология. 2011. №10.
10. ПерсТ 16, вып. 4, с. 5 (2009)
11. Смирнова Е. А., Гусев А. А., Зайцева О. Н., Лазарева Е. М., Онищенко Г. Е., Кузнецова Е. В., Ткачев А. Г., Феофанов А. В., Кирпичников М. П. Углеродные нанотрубки проникают в ткани и клетки и оказывают стимулирующее



- воздействие на проростки эспарцета *Onobrychis arenaria* (Kit.) Ser. Acta naturae. Т. 3. № 1 (8) 2011. С. 106-113.
12. Tripathi S., Sonkar S. K. and Sarkar S. Growth stimulation of gram (*Cicer arietinum*) plant by water soluble carbon nanotubes. *Nanoscale*, 2011, 3, 1176.
  13. Ткачев А.Г., Золотухин И.В. Аппаратура и методы синтеза твердотельных наноструктур // Монография. – М.: Издательство Машиностроение-1, 2007. – 316 с.
  14. Le A. T., Huy P.T., Huy T. Q., Cam P.D., Kudrinskiy A.A., Olenin A.Yu., Lisichkin G.V., Krutyakov Yu.A. Photochemical Synthesis of Highly Bactericidal Silver Nanoparticles. *Nanotechnologies in Russia* (2010) v. 5 (7–8), p. 554–563.
  15. Le A.T., Tam L.T., Tam P.D., Huy P.T, Huy T.Q., Hieu N.V., Kudrinskiy A.A., Krutyakov Yu.A. Synthesis of oleic acid-stabilized silver nanoparticles and analysis of their antibacterial activity. *Materials Science and Engineering: C* (2010) v. 30 (6), p. 910-916.
  16. Le A.T., Huy P.T., Tam P.D., Huy T.Q., Cam P.D., Kudrinskiy A.A., Krutyakov Yu.A. Green synthesis of finely-dispersed highly bactericidal silver nanoparticles via modified Tollens technique. *Current Applied Physics* (2010) v. 10 (3), p. 910-916.
  17. Wang Jing, Koo Yeonjong, Alexander Anne, Yang Yu, Westerhof Samantha, Zhang Qingbo, Schnoor Jerald L., Colvin Vicki L., Braam Janet, and Alvarez Pedro J. J. Phytostimulation of Poplars and Arabidopsis Exposed to Silver Nanoparticles and Ag+ at Sublethal Concentrations // *Environ. Sci. Technol.*, 2013, 47 (10), pp 5442–5449.
  18. Khodakovskaya Mariya, Dervishi Enkeleda, Mahmood Meena, Xu Yang, Li Zhongrui, Watanabe Fumiya and Biris Alexandru S. / Retraction Notice for Carbon Nanotubes Are Able To Penetrate Plant Seed Coat and Dramatically Affect Seed Germination and Plant Growth // *ACS Nano*, 2012, 6 (8), pp 7541–7541.
  19. Khodakovskaya MV, Kim BS, Kim JN, Alimohammadi M, Dervishi E, Mustafa T, Cernigla CE. Carbon nanotubes as plant growth regulators: effects on tomato growth, reproductive system, and soil microbial community // *Small*. 2013 Jan 14;9(1):115-23. doi: 10.1002/smll.201201225. Epub 2012 Sep 28.

**Рецензенты:** Кондаков Сергей Эмильевич, доктор фармакологических наук., профессор, профессор кафедры Функциональных Наносистем и Высокотемпературных Материалов, НИТУ «МИСиС», Москва.

Лёвина Вера Васильевна, доктор технических наук., профессор, профессор кафедры Функциональных Наносистем и Высокотемпературных Материалов, НИТУ «МИСиС», Москва.