



# ОСОБЕННОСТИ КОНЦЕНТРАЦИОННОГО ВЛИЯНИЯ ГИДРОТЕРМАЛЬНОГО НАНОКРЕМНЕЗЕМА ПРИ ПРЕДПОСЕВНОЙ ОБРАБОТКЕ СЕМЯН РАСТЕНИЙ НА ПОКАЗАТЕЛИ БИОМАССЫ И ВЫСОТЫ РОСТКОВ ПРИ ПРОРАЩИВАНИИ В ТЕМНОТЕ

## PECULIARITIES OF THE CONCENTRATION EFFECT OF HYDROTHERMAL NANOSILICA IN THE PRE-SOWING TREATMENT OF PLANT SEEDS UPON INDICATORS OF BIOMASS AND SPROUTS HEIGHT IN THE DARK GROWTH MODE

В.Н.Зеленков<sup>1,2,3</sup>, к.х.н., д.с.-х.н., проф., гл. науч. сотр., (ORCID: 0000-0001-5481-2723), В.В.Латушкин<sup>1</sup>, к.с.-х.н., вед. науч. сотр., (ORCID: 0000-0003-1406-8965), В.В.Потапов<sup>4</sup>, д.т.н., проф., гл. науч. сотр., (ORCID: 0000-0001-6959-3324), В.В.Карпачев<sup>5</sup>, д.с.-х.н., проф., чл.-корр. РАН, гл. науч. сотр., (ORCID: 0000-0002-1141-2065), В.М.Косолапов<sup>6</sup>, д.с.-х.н., проф., акад. РАН, директор, (ORCID: 0000-0002-3480-3464), В.Т.Синеговская<sup>7</sup>, д.с.-х.н., проф., акад. РАН, гл. науч. сотр., (ORCID: 0000-0002-9048-3119), М.И.Иванова<sup>3</sup>, д.с.-х.н., проф. РАН, гл. науч. сотр., (ORCID: 0000-0001-7326-2157), А.А.Лапин<sup>2</sup>, к.х.н, доц., вед. науч. сотр., (ORCID: 0000-0001-9142-0403), П.А.Верник<sup>1</sup>, директор, (ORCID: 0000-0001-5850-7654) /zelenkov-raen@mail.ru

V.N.Zelenkov<sup>1,2,3</sup>, Doct. of Sc. (Agriculture), Prof., Chief Researcher, V.V.Latushkin<sup>1</sup>, Cand. of Sc. (Agriculture), Leading Researcher, V.V.Potapov<sup>4</sup>, Doct. of Sc. (Technical), Prof., Chief Researcher, V.V.Karpachov<sup>5</sup>, Doct. of Sc. (Agriculture), Prof., Corresponding Member of RAS, Chief Researcher, V.M.Kosolapov<sup>6</sup>, Doct. of Sc. (Agriculture), Prof., Academician of RAS, Director, V.T.Sinegovskaya<sup>7</sup>, Doct. of Sc. (Agriculture), Prof., Academician of RAS, Chief Researcher, M.I.Ivanova<sup>3</sup>, Doct. of Sc. (Agriculture), Prof., Chief Researcher, A.A.Lapin<sup>2</sup>, Cand. of Sc. (Agriculture), Docent, Leading Researcher, P.A.Vernik<sup>1</sup>, Institute Director

DOI: 10.22184/1993-8578.2021.14.1.44.60

Получено: 30.11.2020 г.

**В работе представлены результаты скрининговых исследований 14 сельскохозяйственных растений с отличающимися биологическими и хозяйственно-полезными свойствами (17 генотипов, включая разные виды, сорта и гибриды) по оценке влияния**

<sup>1</sup> Автономная некоммерческая организация "Институт стратегий развития", Москва, Россия / Independent NPO Institute for Socio-Economic Strategies and Development Technologies (Institute for Development Strategies), Moscow, Russia.

<sup>2</sup> ФГБНУ "Всероссийский научно-исследовательский институт лекарственных и ароматических растений", Москва, Россия / All-Russian Scientific Research Institute of Medicinal and Aromatic Plants, Moscow, Russia.

<sup>3</sup> Всероссийский научно-исследовательский институт овощеводства – филиал ФГБНУ "Федеральный научный центр овощеводства" (ВНИИО – филиал ФГБНУ ФНЦО), Московская область, Раменский район, д. Верея, Россия / All-Russian Scientific Research Institute of Vegetable Growing – the branch of FSBSI "Federal Scientific Center of Vegetable Growing", Moscow region, Russia.

<sup>4</sup> ФГБНУ Научно-исследовательский геотехнологический центр ДВО РАН, г. Петропавловск-Камчатский, Россия / Far Eastern Branch of the RAS, FSBSI "Research Geotechnological Center", Petropavlovsk-Kamchatsky, Russia.

<sup>5</sup> ФГБНУ "Всероссийский научно-исследовательский институт рапса", г. Липецк, Россия / All-Russian Research Institute of Rapeseed", Lipetsk, Russia.

<sup>6</sup> ФГБНУ "Федеральный научный центр кормопроизводства и агроэкологии имени В.Р.Вильямса", 141055, Московская обл., г. Лобня, Научный городок / V.R.Williams Federal Research Center for Feed Production and Agroecology, Moscow region, Russia.

<sup>7</sup> ФГБНУ "Всероссийский научно-исследовательский институт сои", г. Благовещенск, Россия / All-Russian Research Institute of Soybean, Blagoveshchensk, Russia.



гидротермального нанокремнезема на биомассу и высоту ростков при темновом проращивании. Выявлено четыре основных типа отклика (реакции) растений в изученном диапазоне концентраций (0,05; 0,01; 0,005; 0,001 и 0,0005%). Данные закономерности характерны как для показателя биомассы ростков, так и их высоты. Отмечена существенная роль генетического и эпигенетического факторов в формировании отзывчивости растений на применение гидротермального нанокремнезема при проращивании семян.

The research presents the results of screening studies of 14 agricultural plants with different biological and useful economic properties (17 genotypes, including different species, varieties, and hybrids) to assess the effect of hydrothermal nanosilica on biomass and sprout height in the dark growth germination. Four main types of plant response were revealed in the studied concentration range (0.05, 0.01, 0.005, 0.001 and 0.0005%). These dependencies are characteristic both of the biomass sprout indicator and of the sprout height. The essential role of genetic and epigenetic factors in the formation of the plant response when using hydrothermal nanosilica in seed germination is pointed out.

## ВВЕДЕНИЕ

В последние десятилетия активно развивается научное направление по разработке экологически чистых природоподобных технологий использования минеральных ресурсов для растениеводства и биотехнологии. Одним из перспективных направлений улучшения свойств растений в условиях открытого и защищенного грунта является

использование соответствующих групп регуляторов роста растений, в частности гидротермального нанокремнезема (ГНК) [1-2]. Проведенный ранее цикл многолетних исследований по получению наночастиц кремнезема из природных геотермальных вод из скважин Мутновской ГеоЭС (Камчатка) выявил биологически активные свойства ГНК, способствующие повышению

## INTRODUCTION

In recent decades the development of environmentally friendly and nature-like technologies of using mineral resources for crop production and biotechnology has been widely studied. One of the prospective fields to improve the plants properties in open and protected ground is the use of appropriate groups of plant growth regulators, in particular, hydrothermal nano-dispersed silica [1-2]. An earlier cycle of long-term research in obtaining silica nanoparticles from natural geothermal waters from the wells of the Mutnovskaya GeoPP (Kamchatka) revealed the biologically active properties of the nanosize forms of silica (HNS) that contribute to increasing

the agricultural plants and animals productivity [3-5].

Chemical and biological mechanisms of governing the nanoparticles influence on growth and plant development began to be studied not long ago following receipt of the data that corroborate effectiveness of bio-nanotechnologies in agricultural science [6-8]. The studies at the primary stages of ontogenesis play a special role, in particular, on germinating seeds when genetically determined plant parameters are laid with due account of the epigenetic factor and emergence of a new factor of influence - hydrothermal silica nanoparticles [9]. In particular, cultivation of plants in the systems with a controlled microclimate and ability to model the limiting

productivity factors has both scientific and practical applications [10-11]. For practical purposes, knowledge of the mechanisms of interaction between nanoparticles and plant cells can be used to develop technological methods of their use in varietal technologies of pre-sowing treatment in open and protected ground crop production. Development of technologies to improve product quality and obtain functional food products is also promising [12-14].

The work [15] shows the effect of hydrothermal nanosilica of various concentrations on seed germination (in terms of germination and germination energy) of a number of agricultural plants differing in biological and useful economic characteristics. This work is a continuation of



продуктивности сельскохозяйственных растений и животных [3–5].

Вопрос о химических и биологических механизмах влияния наночастиц на рост и развитие растений начал изучаться сравнительно недавно в соответствии с появлением данных об эффективности бионанотехнологии в приложении к сельскохозяйственной науке [6–8]. Особую роль играют исследования на первичных этапах онтогенеза, в частности на прорастающих семенах, когда закладываются генетически обусловленные параметры растения с учетом эпигенетического фактора и появления нового фактора воздействия – наночастиц гидротермального кремнезема [9]. В частности, выращивание растений в системах с управляемым микроклиматом с возможностью моделирования лимитирующих факторов продуктивности имеет как научное, так и практическое приложение [10–11]. В практических целях знание о механизмах взаимодействия наночастиц и растительных клеток может использоваться для разработки технологических приемов их применения в сортовых технологиях предпосевной обработки в растениеводстве открытого и защищенного грунта. Перспективно также направление работ по разработке технологий повышения качества продукции, а также получения продуктов функционального питания [12–14].

В работе [15] показано влияние гидротермального нанокремнезема разных концентраций на прорастание семян (по показателям

всхожести и энергии прорастания) ряда сельскохозяйственных растений, различающихся по биологическим и хозяйственным характеристикам. Настоящая работа является продолжением исследований по изучению влияния на развитие растений в начальном периоде проращивания семян в темноте при первичном гетеротрофном питании после обработок семенного материала гидротермальным нанокремнеземом.

Целью настоящего исследования являлась скрининговая экспериментальная оценка отклика семян разных сельскохозяйственных культур на их предпосевную обработку наночастицами кремнезема гидротермального происхождения в единой шкале концентраций наночастиц при темновом лабораторном проращивании по показателям "масса 100 ростков" и "высота ростков".

### МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Проращивание проводили в камере синерготрона – экспериментальном образце модели ИСР 1.01 (разработка АНО "Институт стратегий развития"). В соответствии с целью экспериментальной работы изучали биомассу и высоту ростков, полученных из семян 14 сельскохозяйственных культур разного назначения (овощных, масличных, кормовых, лекарственных), отличающихся по биологическим особенностям, генетической природе, химическому и физико-химическому составу и строению семян и их кожуры. Всего изучено 17 генотипов, включая разные

the research devoted to a study of the hydrothermal nanosilica seed treatment effect on plant development in the initial period of seed germination in the dark mode with primary heterotrophic nutrition.

The purpose of this study was a screening experimental assessment of the response of different agricultural crops seeds to their pre-sowing treatment with hydrothermal silica nanoparticles in a single scale of nanoparticle concentrations in the laboratory dark growth in terms of "weight of 100 sprouts" and "sprout height".

### MATERIALS AND RESEARCH METHODS

Germination was carried out in a synergotron chamber – an experimental model of the ISR 1.01 model (developed by the Institute for Development Strategies). In accordance with the purpose of the experimental work, the biomass and height of sprouts obtained from the seeds of 14 agricultural crops for various purposes (vegetables, oilseeds, fodder, medicinal), differing in biological characteristics, genetic nature, chemical and physicochemical composition and structure of seeds

and their peels, were studied. In total, 17 genotypes were studied, including different species, varieties and hybrids. The duration of germination of plant seeds in the experiment was maintained according to a period required to determine the germination rate in accordance with GOST 12038-84 "Seeds of agricultural crops. Methods for determining germination ability": radish – 6 days, rapeseed, meadow clover, soybeans, alfalfa – 7 days, tomato, beetroot, meadow fescue and festulium, salad – 10, bent grass – 14, coriander – 15 days. Sugar beet



виды, сорта и гибриды. Длительность проращивания семян растений в эксперименте выдерживали по требуемому для определения всхожести времени согласно ГОСТ 12038-84 "Семена сельскохозяйственных культур. Методы определения всхожести": редис – 6 суток, рапс, клевер луговой, соя, люцерна изменчивая – 7 суток, томат, свекла столовая, салат, овсяница луговая и фестулолиум – 10, полевица – 14, кориандр – 15 суток. Семена свеклы сахарной проращивали согласно ГОСТ 22617.2-94 "Семена сахарной свеклы. Методы определения всхожести, однородности и доброкачественности" в течение 10 суток. По новой сельскохозяйственной культуре, нугу абиссинскому, еще не разработан ГОСТ на проращивание, поэтому длительность проращивания и посевные свойства в эксперименте определяли на седьмые сутки по аналогии с другими быстро всхожими сельскохозяйственными культурами. Методика проращивания соответствует указанным государственным стандартам с изменениями: включающими замену фильтровальной бумаги на использование подложки из минеральной ваты, размещенной на полках камеры синерготрона. Температура проращивания составляла 23–24 °С, повторность трехкратная. Полив осуществляли дистиллированной водой по мере подсыхания подложки. Контрольные группы семян перед посевом замачивали в дистиллированной воде в течение 2 ч, а опытные группы семян замачивали в дистилляте, в который вводили разбавленный гидротермальный золь наночастиц так, чтобы обеспечить их концентрацию

в водной среде 0,05; 0,01; 0,005; 0,001; 0,0005 масс. %. Исключением являлись семена сои, где их замачивание проводили в течение 15 мин, так как в процессе работы было установлено, что дальнейшее увеличение продолжительности замачивания не приводит к увеличению количества поглощенного семенами водного раствора с препаратом, а целостность семян сои нарушается и они легко травмируются при посеве. Рабочий раствор указанных концентраций готовили непосредственно перед обработкой семян (в течение не более 30 мин) из 2,5%-ного водного золя ГНК. Исходной средой был гидротермальный золь с содержанием наночастиц кремнезема 37,5 масс. %, полученный по технологии ультрафильтрационного мембранного концентрирования в ООО НПФ "Наносилика" (г. Петропавловск-Камчатский). Более детально характеристики исходного концентрата ГНК приведены в статье [15]. Так как целью настоящей работы являлось сравнение эффектов влияния гидротермального нанокремнезема на различные сельскохозяйственные культуры (17 генотипов), то для сопоставления и анализа результатов экспериментов все данные были пересчитаны в относительные величины – изменение (прибавка) по массе и высоте ростков в % по отношению к контролю по каждой культуре (т.е. варианту без обработки ГНК).

### РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Обработка семян раствором наноразмерного кремнезема в эксперименте позволила увеличить

seeds were germinated according to GOST 22617.2-94 "Sugar beet seeds. Methods for determining germination, single sprout and good quality" within 10 days. For the new agricultural crop called Abyssinian nougat, GOST has not yet been developed for germination, therefore, the duration of germination and sowing properties in the experiment were determined on the 7th day by analogy with other rapidly germinating agricultural crops. The germination technique complies with the specified state standards with the following

changes which include replacement of filter paper with a mineral wool substrate placed on the synergotron chamber shelves. The germination temperature was 23–24 °C, the repetition was three times. Watering was carried out with distilled water as the substrate dries up. Before sowing, the control groups of seeds were soaked in distilled water for 2 h, and the experimental groups of seeds were soaked in a distillate into which a diluted hydrothermal sol of nanoparticles was introduced so as to ensure their concentration in an aqueous medium of 0.05,

0.01, 0.005, 0.001, 0.0005 wt. %. The exception was soybean seeds, as they were soaked for 15 minutes, since during the work it was found that a further increase in duration of soaking does not lead to an increase in the amount of the aqueous solution with the preparation absorbed by the seeds, and integrity of the soybean seeds is disturbed and they are easily injured when sowing. The working solution of the indicated concentrations was prepared immediately before seed treatment (not exceeding 30 minutes) from 2.5% aqueous HNS sol. The

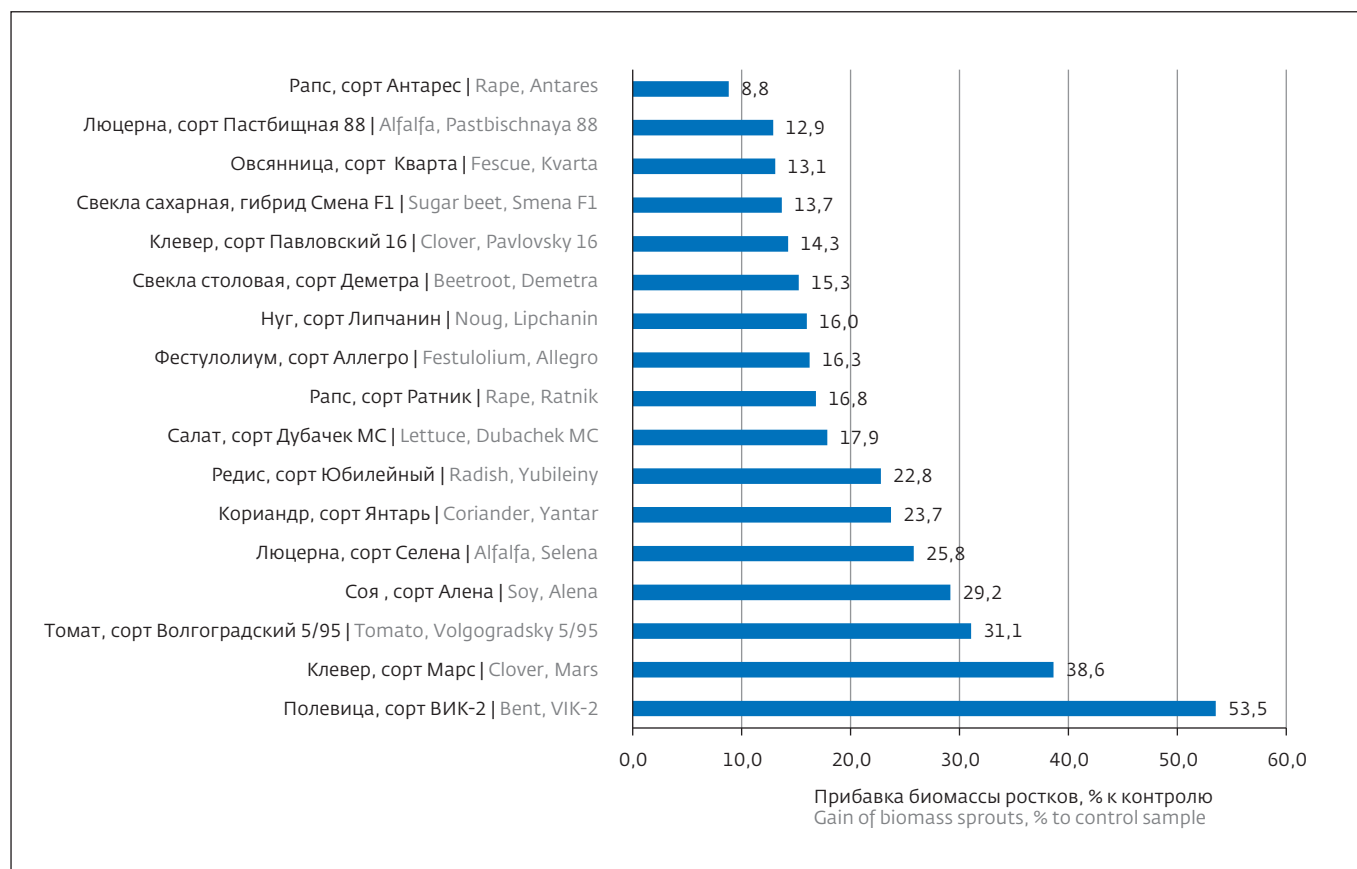


Рис.1. Прибавка биомассы 100 ростков разных культур при наиболее эффективной для каждой культуры концентрации ГНК (0,05% ГНК – фестулолиум, свекла столовая, 0,01% – полевица, овсяница, 0,005% – клевер, кориандр, нуг, 0,001% – томат, свекла сахарная, соя, люцерна, рапс и 0,0005% – редис, салат)

Fig.1. Gain in biomass of 100 sprouts of different crops at the most effective for each crop concentration of HNS (0.05% HNS – festulolium, table beet, 0.01% – bent grass, fescue, 0.005% – clover, coriander, nougat, 0.001% – tomato, beet sugar, soy, alfalfa, rapeseed and 0.0005% – radish, lettuce)

initial medium was a hydrothermal sol containing 37.5 wt.% Silica nanoparticles obtained by the technology of ultrafiltration membrane concentration at NPF Nanosilika LLC (Petrovsk-Kamchatsky). For more details on the characteristics of the initial concentrate of HNS see [15]. Since the purpose of this work was to compare the effects of the influence of hydrothermal nanosilica on various agricultural crops (17 genotypes) and for comparison and analysis of the experimental results, all data were recalculated into relative values (change (increase)) in

the weight and sprout height in % relative to the control by each crop (i.e., the option without treatment with HNS).

## RESULTS AND THEIR DISCUSSION

The treatment of seeds with a nanosized silica solution in the experiment made it possible to increase the biomass of sprouts at the end of the germination period for different crops from 8.8% to 53.5% (Fig.1). The indicator is calculated based on the most effective HNS concentration for each crop: 0.05% HNS – festulolium, table beet, 0.01% – bent grass, fescue,

0.005% – clover, coriander, nougat, 0.001% – tomato, sugar beet, soy, alfalfa, rapeseed and 0.0005% – radish, lettuce. On average, the increase for 17 genotypes was 21.7%. Data on the efficiency of HNS for the mass of 100 sprouts when using other concentrations are given below.

Thus, the contribution of the genetic factor to form the biological effects of nanosilica is very significant. Different varieties of the same crop can respond to varying degrees to treatment with the HNS which confirms the need to develop a varietal agricultural technology and a



Таблица 1. Диапазон колебаний прироста биомассы ростков (% от контроля) при обработке семян разными концентрациями ГНК  
 Table 1. The range of sprout growth biomass fluctuations (% of control sample) at seeds treatment with various HNS concentrations

Культура, сорт (гибрид) Corp, variety (hybrid)	Наиболее эффективная концентрация ГНК <sup>*</sup> The most effective HNS concentration		Наименее эффективная концентрация ГНК The least effective concentra- tion of GOC		Среднее значение прибавки, % Average increase value, %	Разница максимального и минимального значений прибавки, % The difference between the maximum and minimum values of the increase, %
	Прибавка, % к контролю Increase to control sample	Концентрация ГНК, % масс HNS concen- tration, % wt	Прибавка, к контролю, % Increase to control sample, %	Концентрация ГНК, % масс HNS concen- tration, % wt		
Полевица, сорт ВИК-2 Bent, VIK-2	53,5	0,01	0,0	0,0005	36,3	53,5
Клевер, сорт Марс Clover, Mars	38,6	0,005	9,1	0,0005	24,4	29,5
Томат, сорт Волгоградский 5/95 Tomato, Volgogradsky 5/95	31,1	0,001	9,8	0,0005	19,5	21,3
Соя, сорт Алена Soy, Alena	29,2	0,001	8,3	0,05	19,6	20,8
Люцерна, сорт Селена Alfalfa, Selena	25,8	0,001	6,5	0,05	17,4	19,4
Кориандр, сорт Янтарь Coriander, Yantar	23,7	0,005	0,9	0,0005	15,9	22,8
Редис, сорт Юбилейный Radish, Yubileiny	22,8	0,0005	10,8	0,01	15,8	12,0
Салат, сорт Дубачек МС Lettuce, Dubachek MC	17,9	0,0005	4,0	0,0005	11,5	13,9
Рапс, сорт Ратник Rape, Ratnik	16,8	0,001	2,7	0,0005	7,6	14,1
Фестулолиум, сорт Аллегро Festulolium, Allegro	16,3	0,05	4,2	0,0005	11,3	12,1
Нуг, сорт Липчанин Noug, Lipchanin	16,0	0,005	4,0	0,05	10,4	12,0
Свекла столовая, сорт Деметра Beetroot, Demeter	15,3	0,05	0,0	0,0005	7,5	15,3
Клевер, сорт Павловский 16 Clover, Pavlovsky 16	14,3	0,005	0,0	0,01	6,7	14,3
Свекла сахарная, гибрид Смена F1 Sugar beet, hybrid F1	13,7	0,001	3,3	0,05	8,1	10,4
Овсяница, сорт Кварта Fescue, Kvarta	13,1	0,01	1,4	0,0005	7,9	11,7
Люцерна, сорт Пастбищная 88 Alfalfa, Pastbischpnaya 88	12,9	0,001	0,0	0,0005	6,5	12,9
Рапс, сорт Антарес Rape, Antares	8,8	0,001	0,4	0,05	5,0	8,4

\* Под наименее эффективной концентрацией подразумевается концентрация ГНК, дающая минимальный прирост биомассы ростков по сравнению с контролем.



биомассу ростков в конце периода проращивания по разным культурам от 8,8 до 53,5% (рис.1). Показатель рассчитан исходя из наиболее эффективной концентрации ГНК по каждой культуре: 0,05% ГНК – фестулолиум, свекла столовая, 0,01% – полевица, овсяница, 0,005% – клевер, кориандр, нуг, 0,001% – томат, свекла сахарная, соя, люцерна, рапс и 0,0005% – редис, салат. В среднем по 17-ти генотипам прибавка составила 21,7%. Данные по эффективности ГНК по параметру "масса 100 ростков" при использовании других концентраций приведены ниже.

Таким образом, вклад генетического фактора в формирование биологических эффектов нанокремнезема очень значителен. Разные сорта одной культуры могут в разной степени отзываться на обработку ГНК, что подтверждает необходимость разработки сортовой агротехники и паспорта сорта (гибрида). Так, в настоящем эксперименте прирост биомассы различался более чем в два раза по сравнению с контролем у разных сортов рапса, люцерны и клевера. Также высока роль (значимость) эпигенетического фактора воздействия наночастицами, в частности проявление эффектов изменения массы 100 ростков в зависимости от концентрации ГНК у одного и того же сорта или гибрида.

В методологическом и практическом аспектах необходимо изучение концентрационных зависимостей биологических эффектов ГНК. В табл.1 приведены данные по концентрациям

ГНК, при которых в эксперименте наблюдали максимальный и минимальный прирост биомассы по сравнению с контролем. Разница в приросте биомассы ростков одной культуры при разных концентрациях ГНК составила 8,4–53,5% по разным генотипам. Отметим, что наибольшая разница эффективности воздействия концентраций ГНК проявилась у полевицы ВИК-2 (53,5%) и клевера Марс (29,5%). По этим растительным культурам отмечен и максимальный прирост биомассы (соответственно на 53,5 и 38,1%). Следовательно, у данных растительных культур максимальная прибавка биомассы происходит как следствие обработки семян ГНК какой-то одной определенной концентрации, тогда как другие концентрации дают меньший эффект. В других случаях эффективность разных концентраций ГНК не так сильно различается.

Для более детальной оценки концентрационных зависимостей эффектов ГНК нами построены графики откликов показателей массы ростков по каждому виду растений в эксперименте. Скрининг семян разных растительных культур и сортов по реакции показателей биомассы ростков на обработку ГНК разных концентраций (0,05; 0,01; 0,005; 0,001 и 0,0005%) показал существование нескольких типов таких реакций отклика.

На рис. 2–4 представлены четыре обобщенные группы культур, различающихся по геометрической форме отклика – отображения на графике

variety (hybrid) passport. Thus, in the present experiment, the increase of biomass differed by more than twice as compared with the control samples in different varieties of rape, alfalfa, and clover. The role (significance) of the epigenetic factor of exposure to nanoparticles is also high, in particular, the manifestation of the effects of changing the mass of 100 sprouts depending on the concentration of HNS in the same variety or hybrid.

In the methodological and practical aspects it is necessary to study the concentration dependences of the HNS

biological effects. Table 1 shows data of HNS concentrations when the experiment revealed the maximum and minimum increase of biomass in comparison with the control sample. The difference in one crop sprout biomass growth at various concentrations of HNS was 8.4–53.5% for different genotypes. It should be noted that the biggest difference in the effectiveness of HNS impact concentrations was manifested in the VIK-2 bent (53.5%) and Mars clover (29.5%). For these crop plants the maximum increase in biomass was also noted (by 53.5% and 38.1%,

respectively). Consequently, in these crop plants the maximum increase in biomass occurs as a result of the HNS treatment of seeds with a particular concentration, while other concentrations give a lesser effect. In other cases, the effectiveness of different HNS concentrations does not differ so much.

To assess the accuracy of the HNS effect concentration dependences in greater detail, we have constructed graphs of responses of the sprout mass indexes for each plant species in the experiment. Screening of seeds of various crops and varieties

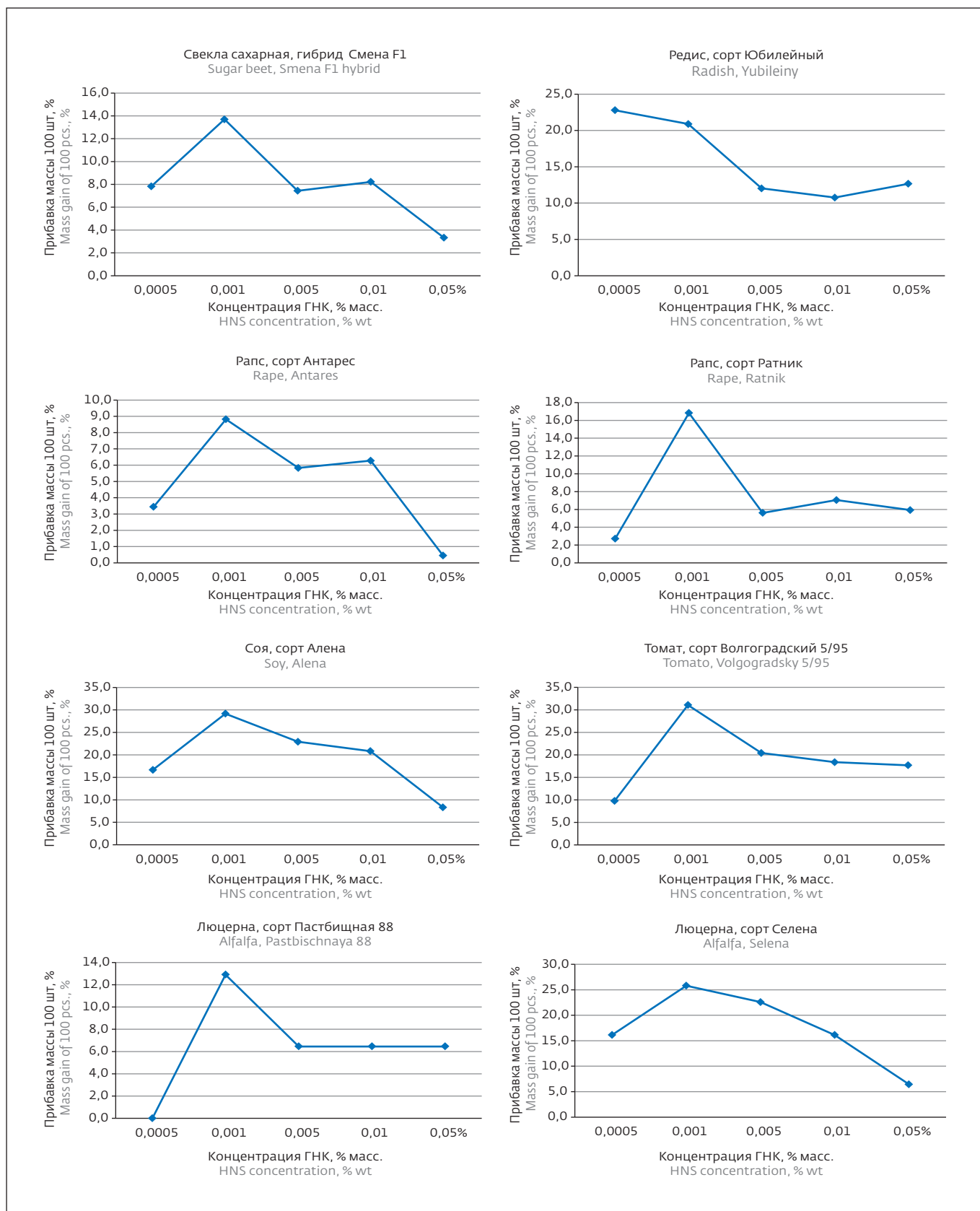


Рис.2. Прибавка массы 100 ростков (% к контролю) в конце периода проращивания семян растений в зависимости от концентрации ГНК для первой группы по типам отклика

Fig.2. Weight addition of 100 sprouts at the end of the plant seeds germination period depending on the HNS concentration for the first group by response types



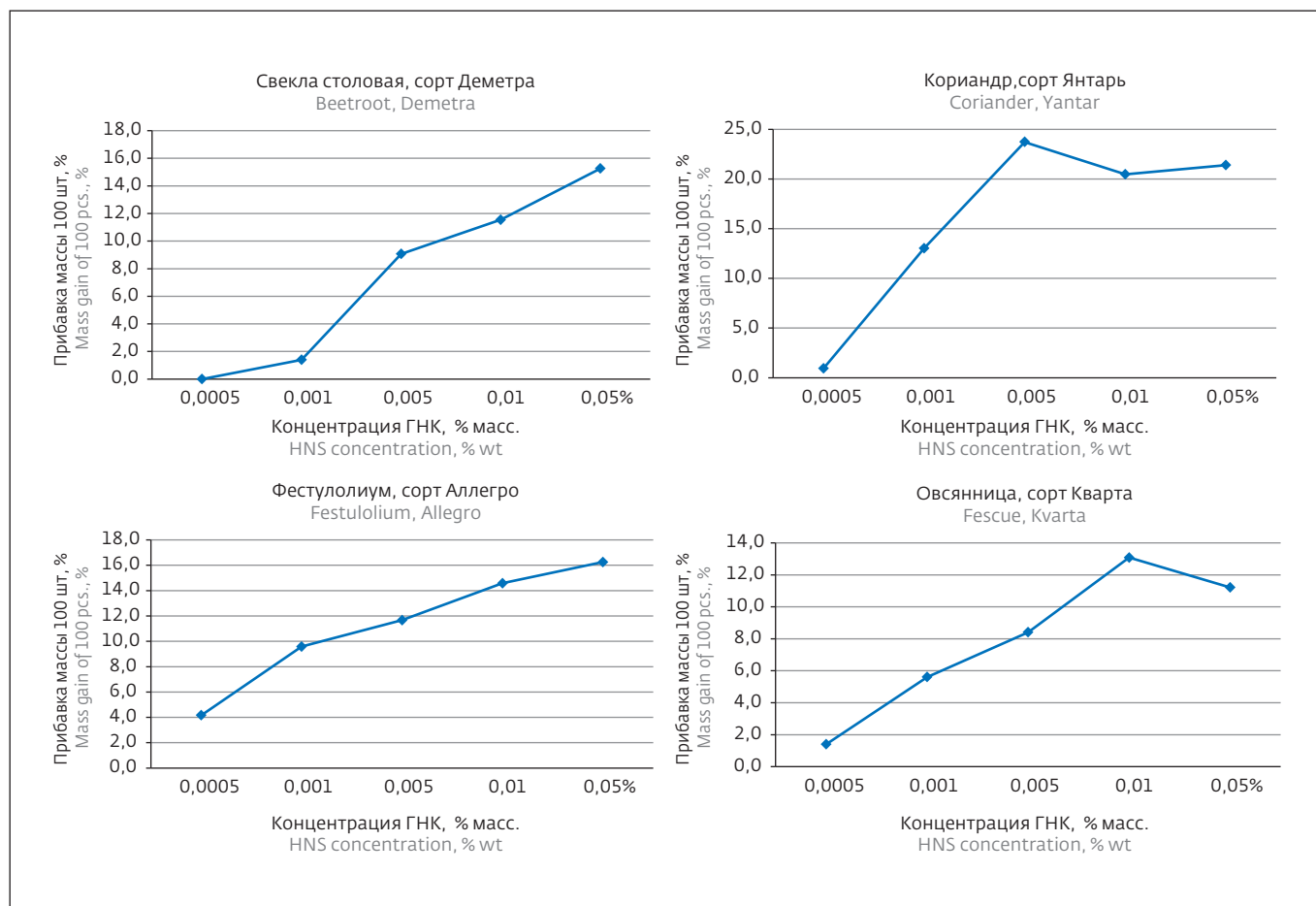


Рис.3. Прибавка массы 100 ростков (% к контролю) в конце периода проращивания семян растений в зависимости от концентрации ГНК для второй группы по типам отклика

Fig.3. Weight addition of 100 sprouts (% to the control) at the end of the germination period of plant seeds depending on the HNS concentration for the second group by response types

according to the response of sprout biomass indexes to treatment with HNS of different concentrations (0.05, 0.01, 0.005, 0.001 and 0.0005%) showed the existence of several types of such response reactions.

Figs.2-4 show four generalized groups of crops, differing in the geometric form of the response – the display on the dependence curve of the mass index of 100 sprouts to control samples depending on the concentration of HNS aqueous sols during pre-sowing seed treatment. Inclusion of different plants in groups was carried out

by visualizing these diagrams reflecting the response forms of seeds (sprouts) of the corresponding crops. Note that the identified four types of reactions can also be traced by the germination energy and seed germination indexes presented in the publication [15]. However, there is no complete coincidence. This is probably due to the fact that the combination of the manifestation of biochemical (specificity and activity of enzymes), biophysical (seed structure), chemical (chemical composition of seed nutrients) and physiological factors (germination

features) form the characteristic "mass of 100 sprouts" feature on the diagrams, which gives additional significant differences (change the ranking of the significant factors) along with the genome specificities.

Group 1. The maximum increase due to the HNS application is observed in the area of low and moderate concentrations of nanoparticles in terms of the mass of 100 sprouts: sugar beet (hybrid Smena F1), radish (Yubileiny variety), soybean (Alena variety), tomato (Volgogradsky 5/95 variety),

зависимости показателя массы 100 ростков к контролю в зависимости от концентрации водных зелей ГНК при предпосевной обработке семян. Включение разных растений в группы проводили путем визуализации данных диаграмм, отражающих формы отклика семян (ростков) соответствующих культур. Отметим, что выделенные четыре типа реакций прослеживаются также по показателям энергии прорастания и всхожести семян, представленных в публикации [15]. Однако, полного совпадения не наблюдается. Вероятно, это связано с тем, что совокупность проявления биохимических (специфичность и активность ферментов), биофизических (структура семени), химических (химический состав питательных веществ семени) и физиологических факторов (особенности прорастания) формируют характерный признак "масса 100 ростков" на диаграммах, что придает дополнительные существенные отличия (меняют ранжировку значимости факторов) наряду со специфичностью геномов.

Группа 1. Максимальный прирост от применения ГНК наблюдается в области низких и умеренных концентраций наночастиц по показателю массы 100 ростков: свекла сахарная (гибрид Смена F1), редис (сорт Юбилейный), соя (сорт Алена), томат (сорт Волгоградский 5/95), люцерна (сорты Селена и Пастбищная 88), рапс (сорты Ратник и Антарес) – см. рис.2.

Группа 2. Максимальная прибавка от применения ГНК преимущественно в диапазоне высоких и умеренно высоких концентраций наночастиц по показателю массы 100 ростков: свекла столовая (сорт Деметра), кориандр (сорт Янтарь), фенхулолиум (сорт Аллегро), овсяница (сорт Кварта) – см. рис.3.

Группа 3. Максимальная прибавка наблюдается преимущественно в области средних концентраций ГНК по показателю массы 100 ростков: полевица (сорт ВИК-2), клевер (сорт Павловский 16), нуг (сорт Липчанин) – см. рис.4.

Группа 4. Характеризуется наличием двух выраженных максимумов и минимумов по показателю массы 100 ростков: клевер (сорт Марс), салат (сорт Дубачек МС) – см. рис.5. В эксперименте, кроме показателя "масса 100 ростков",

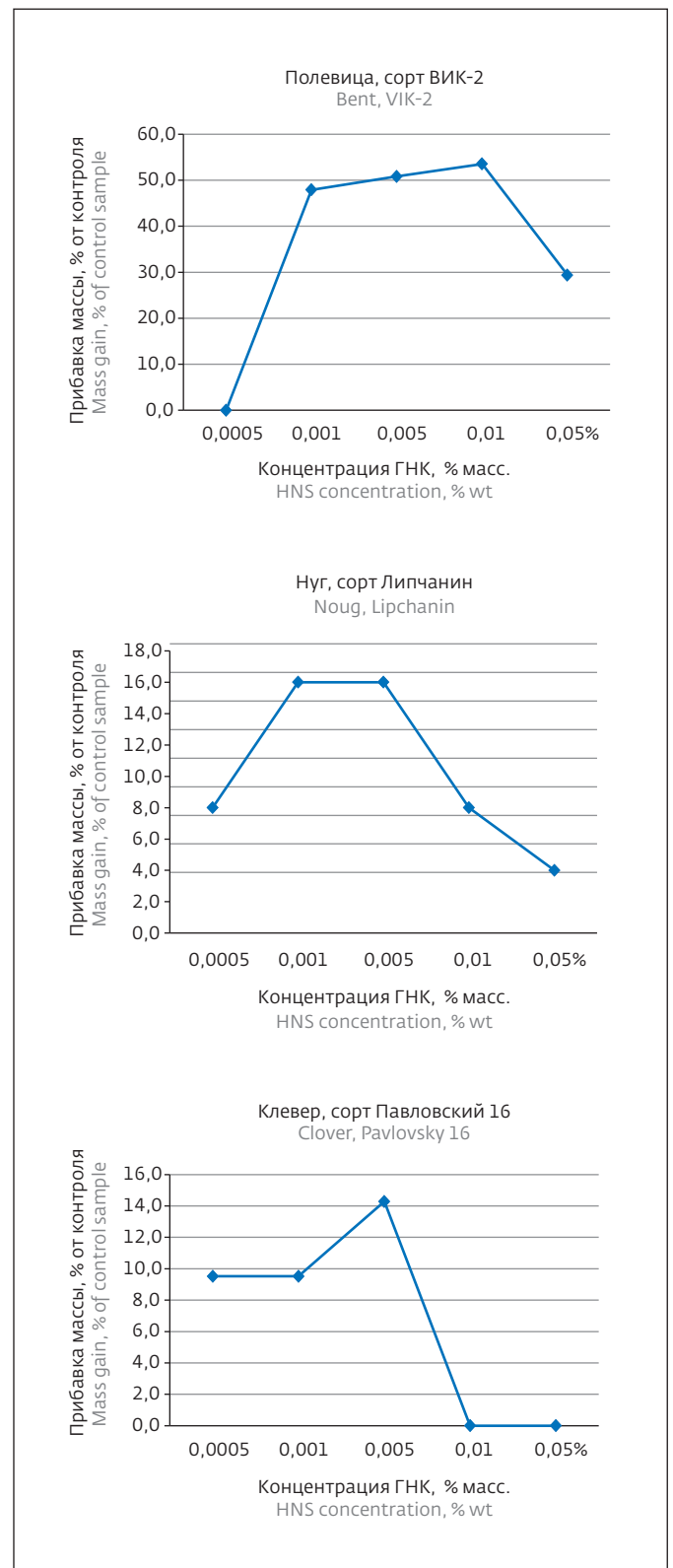


Рис.4. Прибавка массы 100 ростков (% к контролю) в конце периода проращивания семян растений в зависимости от концентрации ГНК для третьей группы по типам отклика Fig.4. Weight фвшешщшт of 100 sprouts (% to the control) at the end of the plant seeds germination period depending on the HNS concentration for the third group by types of response



Таблица 2. Диапазон колебаний прироста высоты ростков (% от контроля) при обработке семян разными концентрациями ГНК  
 Table 2. The fluctuation range of the sprout height increment (% of control sample) when treating seeds with different HNS concentrations

Культура, сорт (гибрид) Corp, variety (hybrid)	Наиболее эффективная концентрация ГНК* The most effective HNS concentration		Наименее эффективная концентрация ГНК The least effective concentra- tion of GOC		Среднее значение прибавки, % Average increase value, %	Разница максимального и минимального значений прибавки, % The difference between the maximum and minimum values of the increase, %
	Прибавка, % к контролю Increase to control sample	Концентрация ГНК, % масс HNS concen- tration, % wt	Прибавка, % к контролю, % Increase to control sam- ple, %	Концентрация ГНК, % масс HNS concen- tration, % wt		
Соя, сорт Алена Soy, Alena	51,3	0,001	1,2	0,05	25,2	50,1
Полевица, сорт ВИК-2 Bent, VIK-2	22,2	0,005	0,0	0,0005	11,7	22,2
Свекла сахарная, гибрид Смена F1 Sugar beet, Smena F1	18,1	0,005	5,7	0,05	12,0	12,4
Клевер, сорт Марс Clover, Mars	17,1	0,01	4,9	0,0005	12,2	12,2
Свекла столовая, сорт Деметра Beetroot, Demetra	12,1	0,05	0,0	0,0005	5,5	12,1
Нуг, сорт Липчанин Noug, Lipchanin	14,3	0,001	2,4	0,0005	9,5	11,9
Клевер, сорт Павловский 16 Clover, Pavlovsky 16	11,8	0,005	0,0	0,0005	4,1	11,8
Томат, сорт Волгоградский 5/95 Tomato, Volgogradsky variety 5/95	11,3	0,05	0,9	0,0005	5,9	10,4
Кориандр, сорт Янтарь Coriander, Yantar	16,2	0,05	6,1	0,0005	12,6	10,1
Редис, сорт Юбилейный Radish, Yubileiny	17,2	0,001	9,0	0,005	12,8	8,2
Салат, сорт Дубачек МС Lettuce, Dubachek MC	7,1	0,01	0,0	0,005	3,6	7,1
Люцерна, сорт Пастбищная 88 Alfalfa, Pastbischnaya 88	6,3	0,005	0,0	0,05	3,2	6,3
Люцерна, сорт Селена Alfalfa, Selena	5,0	0,005	0,0	0,0005	2,3	5,0
Рапс, сорт Антарес Rape, Antares	5,4	0,01	0,7	0,005	2,6	4,7
Фестулолиум, сорт Аллегро Festulolium, Allegro	4,2	0,05	0,2	0,0005	3,0	4,0
Овсяница, сорт Кварта Fescue, Kvarata	4,0	0,05	0,9	0,0005	2,9	3,1
Рапс, сорт Ратник Rape, Ratnik	2,1	0,001	0,0	0,01	1,3	2,1

\* Под наиболее эффективной концентрацией подразумевается концентрация ГНК, при использовании которой получен максимальный прирост биомассы ростков в конце периода прорастивания по сравнению с контролем.

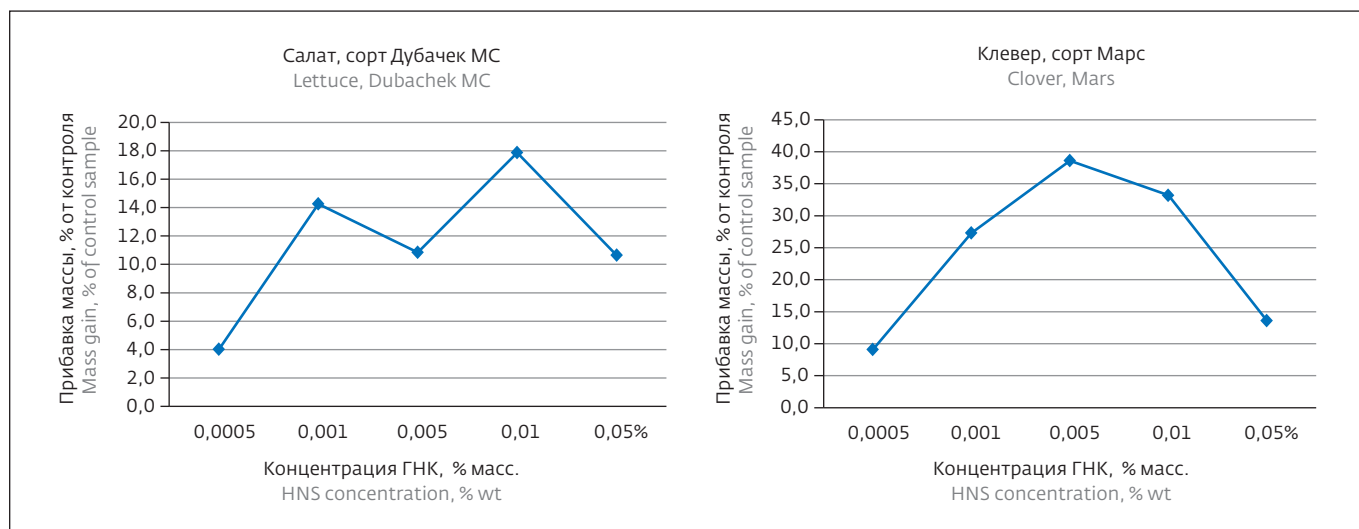


Рис.5. Прибавка массы 100 ростков (% к контролю) в конце периода проращивания семян растений в зависимости от концентрации ГНК для четвертой группы по типам отклика

Fig.5. Weight addition of 100 sprouts (% to the control) at the end of the plant seeds germination period depending on the HNS concentration for the fourth group by response

проведен учет растений по высоте ростков в конце периода проращивания. Прирост высоты по сравнению с контролем составил по разным культурам от 2,1 до 51,3% (рис.6). Показатель рассчитан исходя из наиболее эффективной концентрации ГНК по каждой культуре: 0,05% ГНК – фестулолиум, овсяница, свекла столовая, томат, кориандр, 0,01% – салат, рапс Антарес, клевер Марс, 0,005% – полевица, свекла сахарная, люцерна, клевер Павловский 16, 0,001% – соя, нуг, редис, рапс Ратник. В среднем по 17 генотипам

прибавка составила 13,3%. Данные по эффективности ГНК по параметру высоты ростков при использовании других концентраций приведены ниже.

В табл.2 приведены данные по концентрациям ГНК, при которых в эксперименте наблюдали максимальный и минимальный прирост высоты по сравнению с контролем. Разница в приросте высоты ростков одной культуры при разных концентрациях ГНК составила 2,1–50,1% по разным генотипам.

lucerne (varieties Selena and Pastbishnaya 88), rape (varieties Ratnik and Antares) – see Fig.2.

Group 2. The maximum increase due to the HNS application mainly in the range of high and moderately high concentrations of nanoparticles in terms of mass of 100 sprouts: table beet (Demetra variety), coriander (Yantar variety), festulolium (Allegro variety), fescue (Kvarta variety) – see Fig.3.

Group 3. The maximum increase is observed mainly in the area of average HNS concentrations in terms of the

mass of 100 shoots: bent grass (variety VIK-2), clover (variety Pavlovsky 16), nougat (variety Lipchanin) – see Fig.4.

Group 4. It is characterized by the presence of two pronounced maxima and minima in terms of the mass of 100 shoots: – clover (Mars variety), lettuce (Dubachek MS variety) – see Fig.5 In the experiment, in addition to the mass index of 100 sprouts, the plants were counted according to the height of sprouts at the end of the germination period. The increase in height

in comparison with the control sample ranged for different cultures from 2.1 to 51.3% (see Fig.6). The index is calculated on the basis of the most effective concentration of HNS for each crop: 0.05% HNS – festulolium, fescue, beetroot, tomato, coriander, 0.01% – lettuce, Antares rape, clover Mars, 0.005% – bent grass, sugar beet, alfalfa, Pavlovsky 16 clover, 0.001% – soybeans, nougat, radish, rape Ratnik. On average, the increase for 17 genotypes comprised 13.3%. The data on the efficiency of HNS in terms of the height of sprouts when

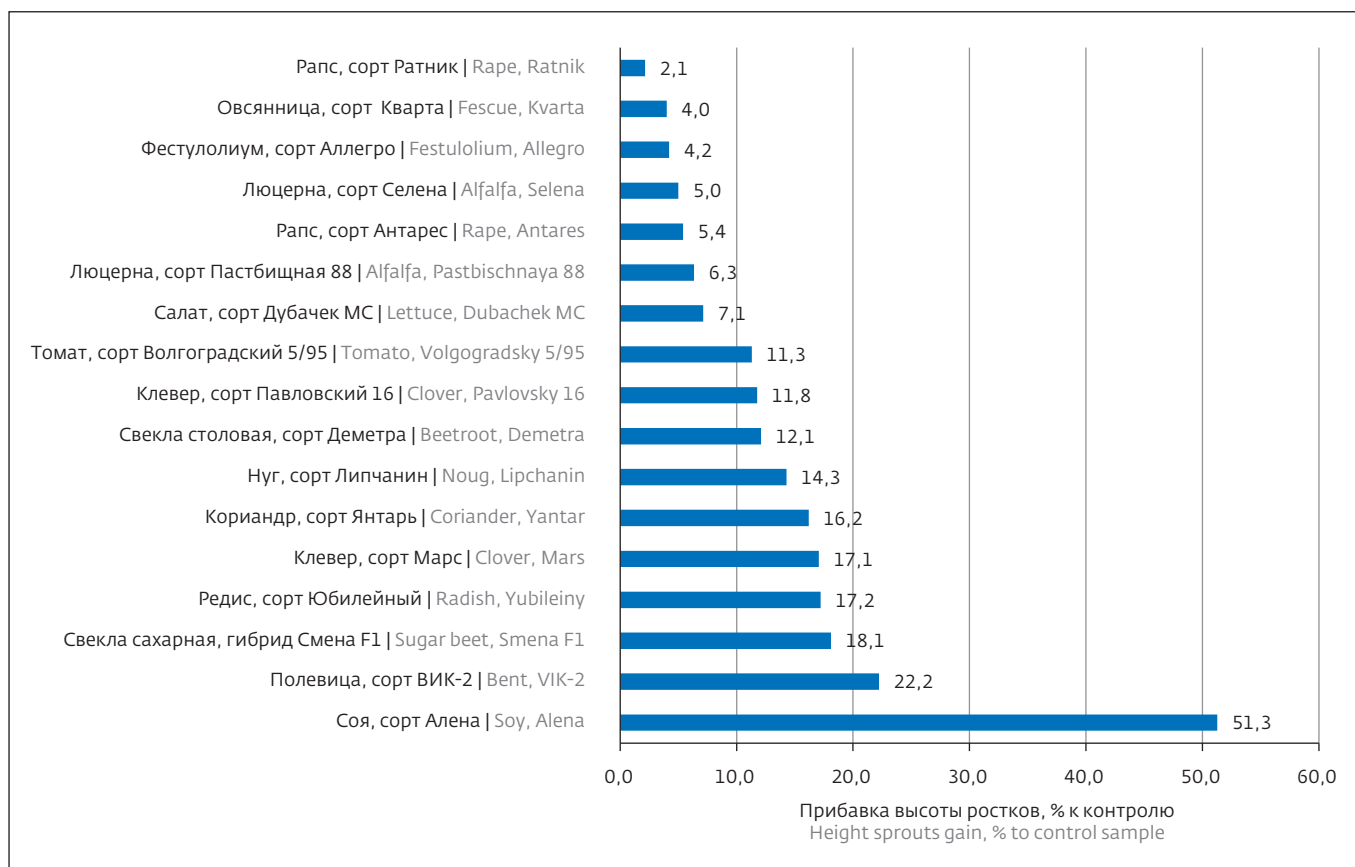


Рис.6. Прибавка высоты ростков для разных культур при наиболее эффективной для каждой культуры концентрации ГНК (0,05% ГНК – фестулолиум, овсяница, свекла столовая, томат, кориандр; 0,01% – салат, рапс Антарес, клевер Марс; 0,005% – полевица, свекла сахарная, люцерна, клевер Павловский 16; 0,001% – соя, нуг, редис, рапс Ратник)

Fig.6. Increase in sprout height for different crops at the most effective for each crop HNS concentration (0.05% HNS – festulolium, fescue, beetroot, tomato, coriander; 0.01% – lettuce, rape Antares, clover Mars; 0.005% – bent grass, sugar beets, alfalfa, Pavlovsky 16 clover; 0.001% – soy, nougat, radish, rape Ratnik)

using other concentrations are given below.

Table 2 shows the data on the HNS concentration when the maximum and minimum increase in height compared to the control sample was observed experimentally. The incremental difference in the height of sprouts of one crop at different HNS concentrations was 2.1–50.1% for different genotypes.

Comparison of the weight gain of 100 sprouts and the sprouts height showed that these indexes are not always directly dependent. For example, for soybeans in the 0.001%

HNS variant, the weight gain of 100 sprouts was 51.3% compared to the control, and the height gain was 29.2%. In the variant 0.01% HNS for the same crop, the indexes were 4% and 20.8%, respectively. Thus, the height and mass of a sprout, although interrelated, are independent parameters and are formed individually in ontogenesis.

The genotypes studied in the experiment were subdivided according to four main types of plant response to different HNS concentrations in accordance with the parameter "sprout height" (similar to how it was

done above for the biomass of 100 sprouts):

Group 1. The maximum increase resulting from application of HNS is observed in the region of low and moderate concentrations of nanoparticles in terms of sprout height: soybeans (Alena variety), nougat (Lipchanin variety), radish (Yubileyny variety), rape (Ratnik variety), alfalfa (Pastbishchnaya 88 variety).

Group 2. The maximum increase resulting from application of HNS mainly in the range



Таблица 3. Сопоставление приростов массы и высоты ростков при разных концентрациях ГНК (в % от контроля в конце периода проращивания семян)

Table 3. Comparison of weight gains and sprout height at different HNS concentrations (in % of control sample at the end of the seeds germination period)

Культура, сорт (гибрид) Crop, variety (hybrid)	Приросты массы 100 ростков и высоты ростков при разных концентрациях ГНК в конце периода проращивания (% от контроля)									
	Weight gain of 100 sprouts and sprout height at different HNS concentrations at the end of the germination period (% of control sample)									
	0,0005% ГНК   HNS		0,001% ГНК   HNS		0,005% ГНК   HNS		0,01% ГНК   HNS		0,05% ГНК   HNS	
	Прирост   Gain									
	Массы Weight	Высоты Height	Массы Weight	Высоты Height	Массы Weight	Высоты Height	Массы Weight	Высоты Height	Массы Weight	Высоты Height
Свекла сахарная, гибрид Смена F1 Sugar beet, Smena F1	7,6	7,8	16,2	13,7	18,1	7,4	12,4	8,2	5,7	3,3
Свекла столовая, сорт Деметра Beetroot, Demetra	0,0	0,0	1,1	1,4	6,6	9,1	7,7	11,5	12,1	15,3
Кориандр, сорт Янтарь Coriander, Yantar	6,1	0,9	12,1	13,0	14,7	23,7	14,0	20,5	16,2	21,4
Редис, сорт Юбилейный Radish, Yubileiny	15,6	22,8	17,2	20,9	9,0	12,0	13,1	10,8	9,0	12,7
Рапс, сорт Ратник Rape, Ratnik	2,1	2,7	2,1	16,8	0,7	5,6	0,0	7,1	1,4	5,9
Рапс, сорт Антарес Rape, Antares	1,4	3,4	0,7	8,8	4,1	5,8	5,4	6,3	1,4	0,4
Нуг, сорт Липчанин Noug, Lipchanin	2,4	8,0	14,3	16,0	11,9	16,0	11,9	8,0	7,1	4,0
Соя, сорт Алена Soy, Alena	35,8	16,7	51,3	29,2	33,9	22,9	4,0	20,8	1,2	8,3
Клевер, сорт Марс Clover, Mars	4,9	9,1	17,1	27,3	14,6	38,6	17,1	33,2	7,3	13,6
Клевер, сорт Павловский 16 Clover, Pavlovsky 16	0,0	9,5	8,8	9,5	11,8	14,3	0,0	0,0	0,0	0,0
Люцерна, сорт Селена Alfalfa, Selena	0,0	16,1	5,0	25,8	5,0	22,6	1,7	16,1	0,0	6,5
Люцерна, сорт Пастбищная 88 Alfalfa, Pastbischnaya 88	4,8	0,0	4,8	12,9	6,3	6,5	0,0	6,5	0,0	6,5
Полевица, сорт ВИК-2 Bent, VIK-2	0,0	0,0	11,1	47,9	22,2	50,8	19,4	53,5	5,6	29,4
Салат, сорт Дубачек МС Lettuce, Dubachek MS	3,6	4,0	3,6	14,3	0,0	10,8	7,1	17,9	3,6	10,6
Томат, сорт Волгоградский 5/95 Tomato, Volgogradsky variety 5/95	0,9	9,8	3,5	31,1	6,1	20,4	7,8	18,4	11,3	17,7
Фестулолиум, сорт Аллегро Festulolium, Allegro	0,2	4,2	3,5	9,6	3,5	11,7	3,8	14,6	4,2	16,3
Овсяница, сорт Кварта Fescue, Kvarata	0,9	1,4	2,3	5,6	3,6	8,4	3,7	13,1	4,0	11,2



Сопоставление приростов массы 100 ростков и высоты ростков показало, что данные показатели не всегда находятся в прямой зависимости. Например, по сое в варианте 0,001% ГНК прирост массы 100 ростков составил 51,3% по сравнению с контролем, а прирост высоты – 29,2%. В варианте 0,01% ГНК по той же культуре показатели 4 и 20,8% соответственно. Таким образом, высота и масса ростка хотя и взаимосвязанные, но самостоятельные параметры и формируются в онтогенезе индивидуально.

Изученные в эксперименте генотипы разделены по четырем основным типам реакции (отклика) растений на разные концентрации ГНК по параметру "высота ростков" (аналогично тому, как это было сделано выше по биомассе 100 ростков):

Группа 1. Максимальный прирост от применения ГНК наблюдается в области низких и умеренных концентраций наночастиц по показателю высоты ростков: соя (сорт Алена), нуг (сорт Липчанин), редис (сорт Юбилейный), рапс (сорт Ратник), люцерна (сорт Пастбищная 88).

Группа 2. Максимальная прибавка от применения ГНК преимущественно в диапазоне высоких и умеренно высоких концентраций наночастиц по показателю высоты ростков: свекла сахарная (гибрид Смена F1), люцерна (сорта Селена), клевер.

Группа 3. Максимальная прибавка наблюдается преимущественно в области средних концентраций ГНК по показателю высоты ростков: свекла столовая (сорт Деметра), кориандр (сорт Янтарь), рапс (сорт Антарес), полевица (сорт ВИК-2).

Группа 4. Характеризуется наличием двух выраженных максимумов и минимумов по показателю высоты ростков – фестулолиум (сорт Аллегро), овсяница (сорт Кварта).

Распределение генотипов по биомассе ростков и высоте ростков не идентичны, что говорит о сложных индивидуальных особенностях формирования данных признаков.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Исследование продолжает цикл работ по оценке влияния гидротермального нанокремнезема на уровень и направленность метаболизма

растений на разных этапах онтогенеза и изменение их хозяйственно-полезных свойств. Обработка семян раствором наноразмерного кремнезема в эксперименте позволила увеличить биомассу ростков в конце периода проращивания по разным культурам от 8,8 до 53,5%, высоту растений от 2,1 до 51,3%. В среднем по 17 генотипам сельскохозяйственных растений прибавка биомассы составила 21,7%, высоты ростков 13,3%.

Скрининг семян разных сельскохозяйственных культур и сортов по реакции показателей биомассы и высоты ростков на обработку ГНК разных концентраций (0,05; 0,01; 0,005; 0,001 и 0,0005%) показал существование нескольких типов таких реакций отклика. Выявлено четыре основных типа реакции проращивания семян растений в темноте на воздействие наночастиц гидротермального кремнезема в диапазоне концентраций от 0,0005 до 0,05%. Разница в приросте биомассы ростков одной и той же культуры по сравнению с контролем при разных концентрациях ГНК составила 8,4–53,5% по разным генотипам, по приросту высоты ростков – 2,1–50,1%. Таким образом, вклад генетического фактора в формирование биологических эффектов нанокремнезема очень значителен.

Разные сорта одной культуры могут в разной степени отзываться на обработку ГНК, что подтверждает необходимость разработки сортовой агротехники и паспорта сорта (гибрида), в том числе установления отзывчивости конкретных генотипов на разные дозы гидротермального нанокремнезема. Сопоставление приростов массы 100 ростков и высоты ростков показало, что данные показатели не всегда находятся в прямой зависимости. Таким образом, высота и масса ростка хотя и взаимосвязанные, но самостоятельные параметры и формируются в онтогенезе индивидуально.

Полученные в исследовании данные могут быть полезны для понимания механизмов воздействия наночастиц на этапе прорастания семян при гетеротрофном питании, а также для последующего использования в разработке биотехнологий предпосевной обработки семян в растениеводстве открытого и защищенного грунта, а также получения новых видов пищевой продукции – проростков семян и микрозелени с высоким содержанием биологически активных веществ.



## ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

1. Зеленков В.Н., Потапов В.В. Гидротермальный нанокремнезем в сельскохозяйственном растениеводстве и биотехнологии // НАНОИНДУСТРИЯ. 2020. Т. 13. № 1 (94). С. 22–33. <https://doi.org/10.22184/1993-8578.2020.13.1.22.33>.
2. Potapov V.V., Fediuk R.Сю, Gorev D.S. Obtaining sols, gels and mesoporous nanopowders of hydrothermal nanosilica // Journal of Sol-Gel Science and Technology. 2020. V. 94. PP. 681–694. <https://doi.org/10.1007/s10971-020-05216-z>.
3. Зеленков В.Н., Петриченко В.Н., Потапов В.В., Иванова М.И., Верник П.А., Латушкин В.В., Новиков В.Б., Поверина Н.В. Способ использования гидротермального нанокремнезема для получения экологически чистой продукции салата в замкнутых агробиотехносистемах. Патент на изобретение № 2701495. Опубликовано: 26.09.2019. Бюл. № 27. Приоритет изобретения 11.12.2018 г. Зарегистрировано в Государственном реестре изобретений РФ 26.09.2019 г. М.: Роспатент.
4. Зеленков В.Н., Петриченко В.Н., Иванова М.И., Латушкин В.В., Новиков В.Б., Потапов В.В., Елисева Л.Г., Леонова И.Б. Проверка комплексного состава препарата гидротермального нанокремнезема с крезацином для выращивания салата листового в системе фитотрона ИСП-0.1 // Жизненный цикл и экология растений: регуляция и управление средой обитания в агробиотехносистемах. Сборник научных трудов. М., 2018. С. 56–69. ISBN 978-5-94836-543-5.
5. Зеленков В.Н., Латушкин В.В., Елисева Л.Г., Леонова И.Б., Потапов В.В., Иванова М.И., Верник П.А. Гидротермальный нанокремнезем в получении экологически чистой салатной продукции с заданными свойствами в условиях закрытой агробиотехносистемы // НАНОИНДУСТРИЯ. 2020. Т. 13. № 3–4 (97). С. 206–220. <https://doi.org/10.22184/1993-8578.2020.13.3-4.206.220>.
6. Manzer H.S., Al-Whaibi M.H., Firoz M. and Al-Khaishany M.Y. Role of Nanoparticles in Plants. In book: Nanotechnology and Plant Sciences // Springer International Publishing Switzerland. 2015. PP. 19–35.
7. Shah V., Belozerova I. Influence of metal nanoparticles on the soil microbial community and germination of lettuce seeds. Water Air Soil Pollut 197:143–148, 2009.
8. Lapin A.A., Kalayda M.L., Potapov V.V., Zelenkov V.N., Voropaeva N.L. The influence of hydrothermal nanosilica powder aquasuspensions on the vital capacity of *Daphnia magna* Straus crustaceans // Int. J. Nanotechnol. 2018. Vol. 15. No. 4/5. PP. 422–432.
9. Зеленков В.Н., Латушкин В.В., Потапов В.В., Иванова М.И., Сандухадзе Б.И.,

of high and moderately high concentrations of nanoparticles in terms of sprout height: sugar beet (hybrid Smena F1), alfalfa (Selena variety), clover.

Group 3. The maximum increase is observed mainly in the area of average concentrations of HNS in terms of sprout height: table beet (Demetra variety), coriander (Yantar variety), rape (Antares variety), bent grass (VIK-2 variety).

Group 4. It is characterized by the presence of two pronounced maxima and minima in terms of

sprout height: festulolium (Allegro variety), fescue (Kvarta variety).

The distribution of genotypes by sprout biomass and sprout height are not identical, which indicates the complex individual characteristics of the formation of these properties.

## CONCLUSIONS

The study continues a series of works on assessing the effect of hydrothermal nanosilica on the level and direction of plant metabolism at different stages of ontogenesis and changes in their useful economic

properties. Treatment of seeds with a solution of nanosized silica in the experiment made it possible to increase the biomass of sprouts at the end of the germination period for different crops from 8.8 to 53.5% and plant height from 2.1 to 51.3%. On average, for 17 genotypes of agricultural plants, the gain in biomass was 21.7%, sprout height 13.3%.

Screening of seeds of different agricultural crops and varieties according to the reaction of biomass and sprout height to the treatment with HNS of different concentrations (0.05,





- Верник П.А.** Влияние гидротермального нанокремнезема на проращивание семян пшеницы в темновом режиме как один из методических аспектов биотехнологии получения функциональных продуктов на основе микрозелени // *НАНОИНДУСТРИЯ*. 2020. Т. 13. № 5(98). С. 284–297. <https://doi.org/10.22184/1993-8578.2020.13.5.284.297>.
10. **Zelenkov V.N., Vernik P.A., Latushkin V.V.** Creating closed technobioecosystems (synergotron class) as a modern direction of using digital technologies for the development of agrarian science and solving tasks of the agrarian // *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science* 274 (2019) 012101 IOP Publishing. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/274/1/012101>.
  11. **Bandurin V.V., Vernik P.A., Korshuk V.A.** Using innovative digital synergotron devices to solve socioeconomic problems of providing urban population with safe and high-quality plant products // *The EUASEANs: Journal on Global Socio-Economic Dynamics*. 2019. No. 2 (15). PP. 7–11.
  12. **Eliseeva L.G., Osman Ali J., Ivanova M.I., Leonova I.B., Zelenkov V.N., Latushkin V.V.** Quality Management of Green Vegetables Grown in Closed Anrobio Technology Systems of Urban Phytotron Type // *International Journal of Advanced Science and Technology* 2020. V. 29. No. 3. PP. 11383–11394. ISSN: 2005-4238 IJAST.
  13. **Othman A.J., Eliseeva L.G., Zelenkov V.N., Latushkin V.V.** The study of a silatran-containing preparation on improving the consumer properties of lettuce (*Lactuca sativa* var. Dubachek MC), grown hydroponically in the phytotron ISR0.1 // *Proceedings of the Voronezh State University of Engineering Technologies*. 2020. V. 82. No. 1 (83). PP. 96–102.
  14. **Зеленков В.Н., Петриченко В.Н., Иванова М.И., Латушкин В.В., Елисеева Л.Г., Леонова И.Б., Потапов В.В., Барышок В.П.** Содержание биологически активных веществ и качество продукции салата – латука сорта Балет при некорневых обработках кремнийсодержащими препаратами в замкнутой системе фитотрона // *Известия ФНЦО*. 2019 № 1. С. 78–82, <https://doi.org/10.18619/2658-4832-2019-1-78-82>.
  15. **Зеленков В.Н., Латушкин В.В., Потапов В.В., Карпачев В.В., Косолапов В.М., Синеговская В.Т., Иванова М.И., Лапин А.А., Верник П.А.** Особенности концентрационного влияния гидротермального нанокремнезема при предпосевной обработке семян растений на показатели энергии прорастания и всхожести в лабораторном темновом проращивании // *НАНОИНДУСТРИЯ*. 2020. Т. 13. № 6 (100). С. 346–359. <https://doi.org/10.22184/1993-8578.2020.13.6.346.358>.

0.01, 0.005, 0.001 and 0.0005%) showed existence of several types of such response reactions. Four main types of reaction of plant seed germination in the dark to the effect of hydrothermal silica nanoparticles in the concentration range from 0.0005% to 0.05% were revealed. The difference in the gain of the sprouts biomass of the same crop in comparison with the control at different HNS concentrations was 8.4–53.5% for different genotypes, according to the increment in the sprouts height – 2.1–50.1%. Thus, the genetic factor contribution to the formation of the

biological effects of nanosilica is very significant.

Different varieties of the same crop can respond to varying degrees to treatment with the HNS, which confirms the need to develop varietal agricultural techniques and a passport of a variety (hybrid), including establishing the responsiveness of specific genotypes to different doses of hydrothermal nanosilica. Comparison of the weight gains of 100 sprouts and the sprouts height showed that these indexes are not always directly related. Thus, the height and mass of the sprout, although

interrelated, are independent parameters and are formed individually in ontogeny.

The data obtained in the study can be useful for understanding the mechanisms of the effect of nanoparticles at the stage of seed germination with heterotrophic nutrition, as well as for subsequent use in the development of biotechnologies for pre-sowing seed treatment in open and protected ground crop production, and for obtaining new kinds of food products – seed sprouts and microgreens with a high content of biologically active substances. ■

выставка IPhEB

# ЦИФРОВОЕ БУДУЩЕЕ ФАРМАЦЕВТИКИ



14-16 апреля 2021  
Санкт-Петербург

[gotoipheb.com](http://gotoipheb.com)