

# ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ РОЛЬ ЦИНКОВЫХ МИКРОУДОБРЕНИЙ В ФОРМИРОВАНИИ УРОЖАЯ ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ НА ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТЫХ ПОЧВАХ С НИЗКИМ СОДЕРЖАНИЕМ ПОДВИЖНОГО ЦИНКА

## ECOLOGICAL ROLE OF ZINC MICROFERTILIZERS IN WINTER WHEAT HARVEST FORMATION ON SOIL- PODZOLIC SOILS WITH A LOW CONTENT OF MOBILE ZINC

**K. Deputatov  
L. Grigorovich**

*Summary:* The biological role of zinc has a dual character: on the one hand, life of the body is impossible without zinc, on the other hand, zinc has a certain toxicity, being a carcinogen. The purpose of the research is to give an ecological assessment of the effect of zinc microfertilizers on the yield and quality of winter wheat grain. Studies have established that the use of zinc fertilizers for foliar feeding of winter wheat provided an increase in yield by 12.5 c/ha or 18.2%, while exceeding the maximum permissible concentrations of zinc in winter wheat grain was not revealed.

*Keywords:* ecology, zinc, microfertilizer, productivity, winter wheat, grain.

**Депутатов Константин Викторович**

Аспирант, Калининградский государственный  
технический университет  
integrationservice@mail.ru

**Григорович Людмила Михайловна**

канд. биол. наук, доцент, доцент, Калининградский  
государственный технический университет  
lyudmila.grigorovich@klgtu.ru

*Аннотация.* Биологическая роль цинка имеет двойственный характер: с одной стороны, без цинка невозможна жизнедеятельность организма, с другой — цинк обладает определенной токсичностью, являясь канцерогеном. Цель исследований — дать экологическую оценку влияния цинковых микроудобрений на урожайность и качество зерна озимой пшеницы. Исследованиями установлено, что использование цинковых удобрений для некорневых подкормок озимой пшеницы обеспечило увеличение урожайности на 12,5 ц/га или 18,2 %, при этом превышение предельно допустимых концентраций содержания цинка в зерне озимой пшеницы не выявлено.

*Ключевые слова:* экология, цинк, микроудобрение, урожайность, пшеница озимая, зерно.

### Введение

В Российской Федерации основной зерновой культурой является пшеница, доля посевов которой в последние годы в структуре посевных площадей составляет 59 %, а в общем объеме производства зерна около 62 %. В группе продовольственных зерновых культур её удельный вес значительно выше — 93 % [1].

Значительным достижением современной агрономической науки является использование микроэлементов в практике растениеводства. В последние десятилетия возрос интерес к микроудобрениям в связи с углубленным изучением питания растений, позволившим вскрыть важную физиологическую роль многих химических элементов, в том числе и цинка [2].

Поскольку агрохимические средства содержат опасные для окружающей среды тяжелые металлы, требуется контроль за накоплением микроэлементов в растениеводческой продукции при длительном их применении.

Цинк — эссенциальный микроэлемент для всех живых организмов. Оптимальное содержание цинка в почве обеспечивает нормальное протекание всех контролируемых этим элементом процессов, что способствует

повышению синтеза сахаров, белковых веществ, содержания хлорофилла, сухого вещества, аскорбиновой кислоты. Кроме того, растения становятся более засухо- и холодоустойчивыми [3].

Цинк участвует во многих физиологических процессах озимой пшеницы, способствует росту междоузлий, повышает жаро-, засухо- и морозоустойчивость растений, содержанию белка в зерне, устойчивость растений к поражению болезнями. Его недостаток в растениях проявляется в виде бледно-желтых полос на листьях параллельно слоеным жилкам. Растения приобретают желтый или оранжевый цвет в ранние фазы онтогенеза, отстают в росте и развитии. Особое внимание на обеспеченность пшеницы цинком нужно обращать при выращивании ее на почвах с высоким содержанием гумуса и фосфора, в случае применения высоких норм азотных и фосфорных удобрений, известкования, низких температур.

Цинк относится к умеренно токсичным элементам. Его избыток подавляет рост и развитие растений, вызывает хлороз листьев, нарушает механизм избирательного поглощения корневой системой питательных элементов. Особенно опасны высокие концентрации обменного цинка в кислых почвах при недостатке калия и кальция.

Главными загрязнителями сельскохозяйственных экосистем тяжелыми металлами являются промышленность, транспорт, а также не рациональное использование удобрений и агрохимикатов. В этих условиях производство продовольственного зерна требует принятия мер для снижения такого негативного воздействия, а оценку его качества следует проводить не только по общепринятым показателям (белок, клейковина и др.), но и по содержанию тяжелых металлов, многие из которых токсичны для животных и человека [4].

**Материалы и методы исследования**

Полевые исследования по эффективности цинковых микроудобрений при некорневой подкормке озимой пшеницы проводили в 2019–2022 гг. на территории Калининградской области Гвардейского муниципального округа в сельскохозяйственном предприятии ООО «Романовски Агро».

Объектами исследований послужили озимая пшеница и почва дерново-подзолистая, материалами исследования — цинковые микроудобрения.

*Характеристика сорта озимой пшеницы.* Сорт Скипетр (авторы Полетаев Г.М. и Полетаев А.Г.) включен в Государственный реестр селекционных достижений в 2009 году под номером 9553093, рекомендован для возделывания в Калининградской области с 2016 года. Сорт среднеспелый, вегетационный период 297–338 дней. Высота растений 79–96 см. Зимостойкость повышенная. Устойчив к полеганию. Зерновка окрашенная. Масса 1000 зерен — 38–49 г [5]. Устойчив к твердой головне, умеренно устойчив к бурой ржавчине. Восприимчив к снежной плесени. В полевых условиях слабо поражен мучнистой росой и септориозом.

*Характеристика почв опытного участка.* По геоморфологическому районированию территория принадлежит к основно-моренному геоморфологическому району, который занимает немного более половины территории Калининградской области. Рельеф — практически плоская равнина.

Почвенные образцы на делянках опыта отбирали до закладки опыта. Почва опытного участка — типичная для области дерново-слабоподзолистая легкосуглинистая, агрохимическая характеристика почвы представлена в таблице 1.

Почва опытного участка характеризовалась слабокислой реакцией почвенной среды, средним содержанием органического вещества, высоким содержанием подвижных форм фосфора и калия, низким содержанием подвижных форм цинка.

Таблица 1.

Агрохимическая характеристика почвы на опытных участках (в среднем по годам)

Год	Органическое вещество, %	pHсол.	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , мг/кг почвы	K <sub>2</sub> O, мг/кг почвы	Zn, мг/кг почвы
2019	2,3	5,2	214	161	1,73
2020	2,3	5,5	221	172	2,0
2021	2,2	5,3	201	154	1,54

*Материалы исследований.* Цинковые микроудобрения в опытах использовались двух видов:

1) Цинк сернокислый (ZnSO<sub>4</sub> × 7H<sub>2</sub>O) содержит 22,73 % Zn, производитель — Россия. Сернокислый цинк (сульфат цинка) ZnSO<sub>4</sub> — цинковая соль серной кислоты в виде порошка, состоящего из прозрачных, бесцветных кристаллов без запаха [6].

2) Многокомпонентное хелатсодержащее микроудобрение Адоб Zn ИДХА содержит 6,1 % Zn и 2,6 % N, производитель — Польша. Жидкое микроудобрение с высоким содержанием цинка в хорошо усваиваемой форме предназначено для листовой подкормки растений, особенно чувствительных к дефициту цинка.

Некорневую обработку озимой пшеницы проводили в фазу выхода в трубку (стадия развития растений 39 по Цадоксу) опрыскивателем Хорш с шириной захвата штанги 36 м, расход рабочей жидкости — 160 л/га. Каждый опыт состоял из восьми вариантов, трех повторений, всего 24 делянки. Общая площадь делянки 2 га, учетная — 1 га. Варианты опыта представлены в таблице 2.

Таблица 2.

Варианты опыта по определению эффективности цинковых микроудобрений в системе интенсивной технологии возделывания озимой пшеницы

Вариант	Норма расхода препарата по действующему веществу (Zn)	Норма расхода препарата в физической массе
Контроль (без удобрений)	—	—
ZnSO <sub>4</sub> (22,73 % Zn)	23 г д.в./га	0,1 кг/га
ZnSO <sub>4</sub> (22,73 % Zn)	46 г д.в./га	0,2 кг/га
ZnSO <sub>4</sub> (22,73 % Zn)	68 г д.в./га	0,3 кг/га
ZnSO <sub>4</sub> (22,73 % Zn)	91 г д.в./га	0,4 кг/га
A <sub>доб</sub> Zn (6,1 % Zn + 2,6 % N)	91,5 г д.в./га	1,5 л/га
A <sub>доб</sub> Zn (6,1 % Zn + 2,6 % N)	183 г д.в./га	3,0 л/га
A <sub>доб</sub> Zn (6,1 % Zn + 2,6 % N)	366 г д.в./га	6,0 л/га

Закладку опытов, все учеты, наблюдения проводили по общепринятым методикам [7].

В почвенных пробах определяли: содержание гумуса по Тюрину (ГОСТ 26213-91), рНКЛ потенциометрический (ГОСТ 26483-85), подвижный фосфор и подвижный калий по Кирсанову в модификации ЦИНАО (ГОСТ Р 54650-2011), массовую долю подвижного цинка по РД-52. 18.289-90.

Оценка посевных качеств семян проводили согласно соответствующих ГОСТов с определением влажности, в % (ГОСТ 12041-82); массы 1000 семян в г (ГОСТ 12042-80); чистоты, в % (ГОСТ 12037-81); энергии прорастания и лабораторной всхожести, в % (ГОСТ 12038-84).

Гигроскопическую влагу определяли методом высушивания в сушильном шкафу (ГОСТ 31640-2012), влажность зерна % (ГОСТ 13586.5-93), общую влагу % (ГОСТ 31640-2012), абсолютно сухое вещество, зерно % (ГОСТ 13586.5-93). В зерне и соломе определяли содержание цинка, в мг/кг (ГОСТ 27996-88) с использованием фотокориметрического, атомно-абсорбционного анализатора «Спектр 5-3».

Статистическую обработку опытных данных проводили методами дисперсионного и корреляционно-регрессионного анализа по Б.А. Доспехову [7] с использованием ПК.

### Результаты и обсуждение

Оптимизация питания озимой пшеницы, повышение эффективности внесения удобрений в огромной степени связаны с обеспечением оптимального соотношения в почве макро— и микроэлементов. Обогащение сельскохозяйственных растений микроэлементами является актуальной задачей в решении проблемы цинковой недостаточности в почвах и растениеводческой продукции.

Использование в полевых опытах различных видов и доз цинковых микроудобрений позволило выявить их влияние на урожайность и процесс поступления цинка в растения озимой пшеницы при некорневой подкормке.

Обработка данных результатов полевых исследований (2019–2022 гг.) по урожайности зерна и соломы озимой пшеницы показала, что максимальный агрономический эффект по урожайности зерна от некорневого опрыскивания озимой пшеницы различными видами и дозами микроудобрений получен на варианте Адоб Zn, 91,5 г д.в./га: прибавка урожая зерна по отношению к контролю составила 12,5 ц/га или 18,2 % (таблица 3).

Проверка на линейную зависимость между парами наблюдений: возрастающими дозами цинковых микроудобрений (X) и урожайностью зерна (Y) показала, что эта зависимость очень слабая и несущественная ( $r = 0,13$ ;  $t_{\text{факт.}} = 0,64 < t_{05} = 2,074$ ).

Показатели дисперсионного анализа, полученные при обработке урожая зерна озимой пшеницы:  $F_{\text{факт.}} = 2,70 > F_{\text{теор.}} = 2,14$ , P (точность опыта) = 3,26 %, HCP05 = 7,5 ц/га.

На рисунках 1 и 2 показана взаимосвязь между дозами цинковых микроудобрений и урожайностью зерна озимой пшеницы.

Большинство вариантов с возрастающими дозами сернокислого цинка существенно ниже по урожайности, чем вариант сульфат цинка, 46 г д.в./га — 7,4 ц/га.

Дозы цинка на вариантах сульфат цинка, 91 г д.в./га и  $A_{\text{доб Zn}}$ , 91,5 г д.в./га практически равны по действующему веществу, но оказывали неодинаковое влияние на урожайность зерна: цинковые микроудобрения

Таблица 3.

Влияние различных видов и доз цинковых микроудобрений на урожай зерна озимой пшеницы (при стандартной влажности 14 %), ц/га

Варианты	Год сбора урожая			Среднее, ц/га	Прибавка+ –	
	2020	2021	2022		ц/га	%
Контроль	62,9	57,0	86,4	68,8	—	—
ZnSO <sub>4</sub> , 23 г д.в./га	65,2	67,0	89,7	74,0	5,2	7,6
ZnSO <sub>4</sub> , 46 г д.в./га	69,7	65,8	93,2	76,2	7,4	10,8
ZnSO <sub>4</sub> , 68 г д.в./га	67,5	62,6	96,0	75,4	6,6	9,6
ZnSO <sub>4</sub> , 91 г д.в./га	66,1	57,1	91,5	71,6	2,8	4,1
$A_{\text{доб Zn}}$ , 91,5 г д.в./га	70,9	67,8	105,1	81,3	12,5	18,2
$A_{\text{доб Zn}}$ , 183 г д.в./га	72,0	59,3	102,1	77,8	9,0	13,1
$A_{\text{доб Zn}}$ , 366 г д.в./га	74,7	58,1	104,1	79,0	10,2	14,8
$\bar{x}$	68,6	61,8	96,0	75,5	7,7	11,2

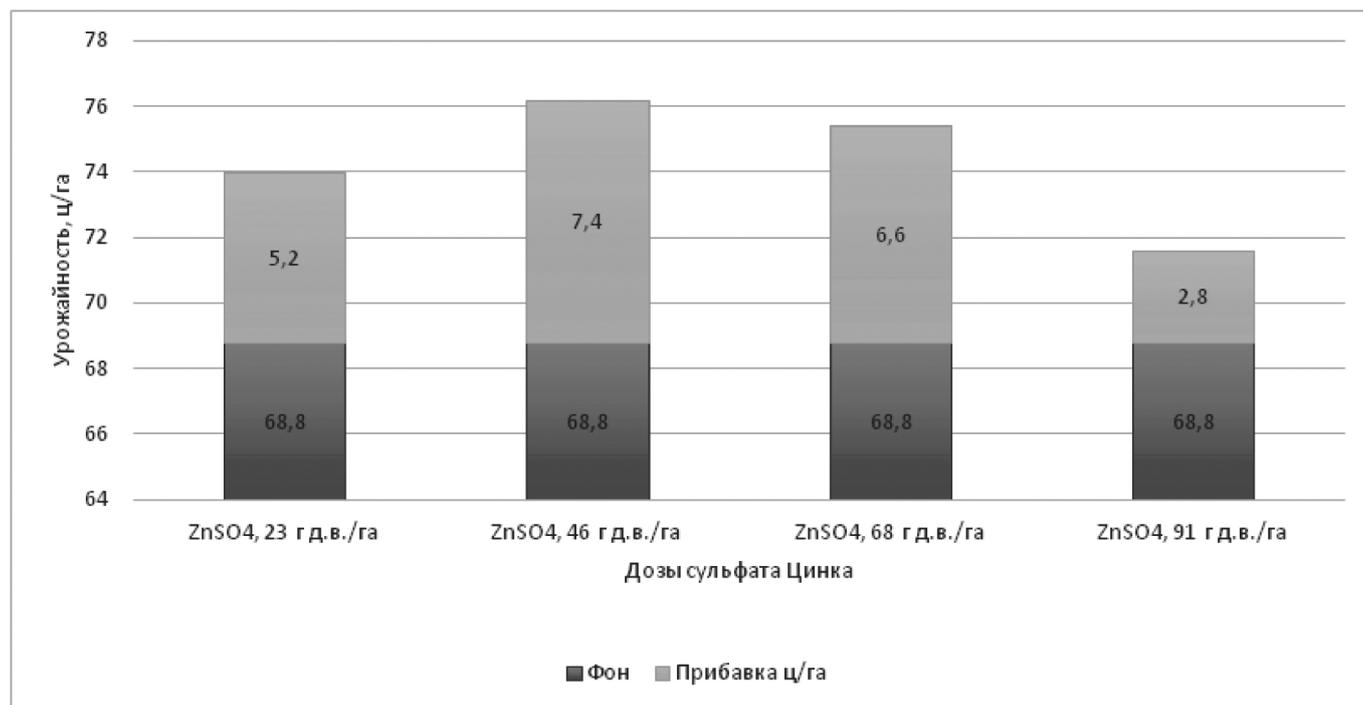


Рис. 1. Урожайность зерна озимой пшеницы в зависимости от доз некорневой подкормки сульфатом цинка (среднее 2020–2022 гг.)

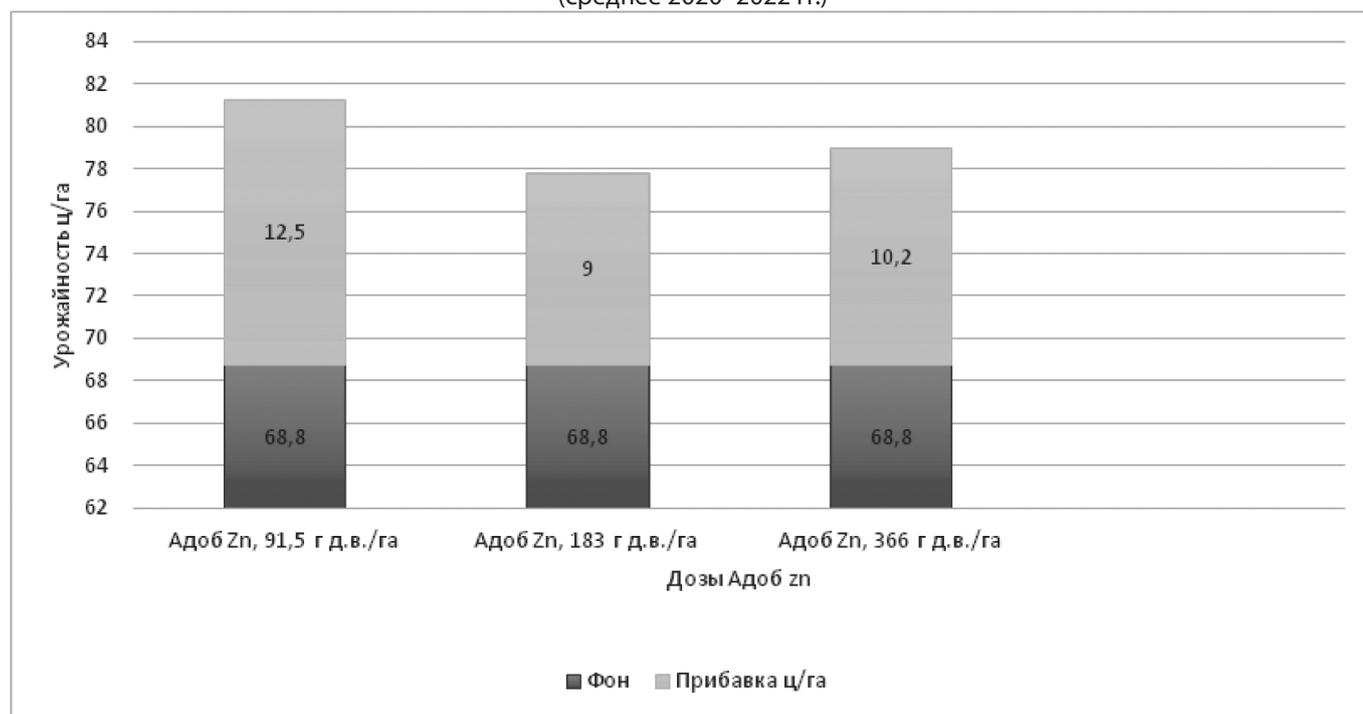


Рис. 2. Урожайность зерна озимой пшеницы в зависимости от доз некорневой подкормки  $A_{доб} Zn$  (среднее 2020–2022 гг.)

в виде сернокислых солей цинка давали прибавку зерна в 4,5 раза меньше, чем на варианте с хелатной формой цинка [8].

В погоне за урожайностью надо не забывать о качестве полученного зерна. При использовании повышен-

ных доз удобрений в зерне накапливаются токсичные вещества, к которым относятся тяжелые металлы, в том числе цинк. Содержание цинка в зерне определяли во всех опытных образцах озимой пшеницы. Результаты исследований по содержанию цинка в зерне отражены в таблице 4.

Таблица 4.  
Влияние различных видов и доз цинковых микроудобрений на содержание цинка в зерне озимой пшеницы, мг/кг

Варианты	2020	2021	2022	среднее
Контроль	18,7	23,2	27,9	23,3
ZnSO <sub>4</sub> , 23 г д.в./га	16,3	22,4	28,3	22,3
ZnSO <sub>4</sub> , 46 г д.в./га	14,1	25,7	27,4	22,4
ZnSO <sub>4</sub> , 68 г д.в./га	15,0	25,4	27,1	22,5
ZnSO <sub>4</sub> , 91 г д.в./га	14,5	24,4	25,1	21,3
A <sub>доб</sub> Zn, 91,5 г д.в./га	22,3	23,3	24,2	23,3
A <sub>доб</sub> Zn, 183 г д.в./га	22,9	25,6	24,5	24,3
A <sub>доб</sub> Zn, 366 г д.в./га	23,1	24,6	25,5	24,4
$\bar{x}$	18,4	24,3	26,2	23,0

Проверка на линейную зависимость между парами наблюдений: возрастающими дозами цинковых микроудобрений (X) и содержанием цинка в зерне (Y) показала, что эта зависимость очень слабая и несущественная ( $r = 0,16$ ;  $t_{\text{факт.}} = 0,75 < t_{05} = 2,07$ ). Проведение дисперсионного анализа Y подтвердило, что на 5 % уровне значимости линейная связь между X и Y отсутствует ( $F_{\text{факт.}} = 0,41 < F_{05} = 2,8$ ).

В соответствии с предельно допустимым уровнем (ПДК) содержание цинка в зерне не должно превышать 50,0 мг/кг [9]. Исследованием установлено, что содержание цинка в зерне ниже ПДК и составило 21,3–24,4 мг/кг, фон — 23,3 мг/кг.

Проведенные исследования свидетельствуют, что введение в интенсивную технологию возделывания озимой пшеницы опрыскивания растений в стадию выхода в трубку (39 по Цадоксу) экологически обоснованных доз цинковых микроудобрений не вызывает загрязнения зерновой продукции.

### Заключение

Аргументировано доказано, что на дерново-подзолистых почвах с низкой обеспеченностью цинком в условиях Калининградской области внесение цинковых микроудобрений способствовало увеличению урожайности зерна озимой пшеницы. Результаты исследований достоверно указывают на то, что внесение цинковых микроудобрений в оптимальных дозах не способствовало увеличению содержания цинка в зерне выше предельно допустимого значения.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Шафран, С.А. Окупаемость затрат на применение азотных удобрений в подкормку озимой пшеницы / С.А. Шафран // *Агрохимия*. -2020. — N 2. — С. 20–27.
2. Панасин, В. И. Признаки недостатка элементов питания сельскохозяйственных культур / В.И. Панасин, С.И. Новикова, О.П. Сержант, [и др.]. — Калининград, 2008. — 89 с.
3. Панасин, В.И. Цинк в агроландшафтах Калининградской области / В.И. Панасин, К.В. Депутатов, Д.А. Рымаренко. — Калининград: Издательство БФУ им. И. Канта, 2019. — 161 с.
4. Атлас распределения тяжелых металлов в объектах окружающей среды: Атлас распределения тяжелых металлов в объектах окружающей среды: Учеб. пособие для студентов вузов по агрономическим специальностям / О. А. Соколов, В. А. Черников; Ин-т фундамент. проблем биологии РАН [и др.]. — Пущино, 1999. — 163 с.
5. Государственный реестр селекционных достижений [Электронный ресурс] / Федеральное государственное бюджетное учреждение «Государственная комиссия Российской Федерации по испытанию и охране селекционных достижений» (ФГБУ «Госсорткомиссия»). — Режим доступа: <http://reestr.gossort.com>
6. Удобрение, технологии и урожай: справочник агронома по химизации земледелия / В.И. Панасин [и др.]. — Калининград: Изд-во БФУ им. И. Канта, 2018. — 315 с.
7. Доспехов, Б. А. Методика полевого опыта / Б.А. Доспехов. — Москва: Альянс, 1985. — 351 с.
8. Депутатов К.В. Зависимость зерновой продуктивности озимой пшеницы от внесения цинковых удобрений/ Депутатов К.В, Григорович Л.М// Балтийский морской форум: материалы IX Международного Балтийского морского форума 4–9 октября 2021 года [Электронный ресурс]: в 6 томах. Т. 1. «Инновации в науке, образовании и предпринимательстве — 2021», XIX Международная научная конференция. — Электрон. дан. — Калининград: Изд-во БГАРФ ФГБОУ ВО «КГТУ», 2021. — С.145–150.
9. Медико-биологические требования и санитарные нормы качества продовольственного сырья и пищевых продуктов. — Москва, 1989. — 185 с.

© Депутатов Константин Викторович ([integrationservice@mail.ru](mailto:integrationservice@mail.ru)); Григорович Людмила Михайловна ([lyudmila.grigorovich@klgtu.ru](mailto:lyudmila.grigorovich@klgtu.ru))

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»