

ВЛИЯНИЕ СПИРУЛИНЫ И ХЛОРЕЛЛЫ НА ПИЩЕВУЮ ЦЕННОСТЬ ХЛЕБОБУЛОЧНЫХ ИЗДЕЛИЙ

INFLUENCE OF SPIRULINA AND CHLORELLA ON THE NUTRITIONAL VALUE OF BAKERY PRODUCTS

Валентина БАНТЕА-ЗАГАРЯНУ

Технический университет Молдовы

E-mail: valentina.bantea@tpa.utm.md

ORCID ID: 0000-0003-4886-2980

Наталья УЗУН

Технический университет Молдовы

E-mail: natalia.uzun@tpa.utm.md

Аннотация: Интерес к микроводорослям и цианобактериям вырос за последнее время. Одними из них являются спирулина *platensis*, хлорелла, в которых содержится множество витаминов, минералов, обладающие антиоксидантами и антибактериальными свойствами. Целью данной работы является исследование влияния спирулины и хлореллы на пищевую ценность хлебобулочных изделий. В результате исследований установлено, что добавление в рецептуру спирулины и хлореллы увеличивает влажность (6.3 - 8.9%) и зольность (3.93 - 7.18%) готовых продуктов. Обогащение хлебобулочных изделий данными препаратами влияет на органолептические показатели исследуемых изделий. Бальная оценка колеблется в пределах 3.93 - 5.0. Использование данных микроводорослей увеличивает содержание белков в исследуемых продуктах в среднем на 6.83%, жирах на 5.26%, углеводов на 0.80%.

Ключевые слова: спирулина *platensis*, хлорелла, хлебобулочные изделия.

Abstract: Recently, interest in microalgae and cyanobacteria has grown. Some of these are spirulina *platensis* and chlorella, which contain a range of vitamins and minerals with antioxidant and anti-inflammatory properties. The purpose of this work is to study the effect of spirulina and chlorella on the nutritional value of bakery products. As a result of research, it was found that the addition of spirulina and chlorella to the recipe increases the moisture content (6.3 - 8.9%) and ash content (3.93 - 7.18%) of finished products. The enrichment of bakery products with these preparations affects the organoleptic characteristics of the studied products. The score ranges from 3.93 - 5.0. The use of these microalgae increases the content of proteins in the studied products by an average of 6.83%, fats by 5.26%, carbohydrates by 0.80%.

Keywords: spirulina *platensis*, chlorella, bakery products.

Введение

На протяжении долгого времени для многих потребителей по всему миру хлеб и хлебобулочные изделия остаются одним из основных компонентов ежедневного питания [1].

Сейчас вопросы здоровья во всех развивающихся странах мира возведены в ранг государственной политики. Существенную роль играют исследования в области проектирования рецептурных составов и технологий новых видов хлебобулочных изделий, в том числе обогащенных физиологически функциональными ингредиентами [2, 3].

Современный человек испытывает дефицит витаминов, минеральных веществ, пищевых волокон. Эффективным способом устранения дефицита витаминов и минеральных веществ является применение продуктов, содержащих определенный химический состав и обогащенных микроэлементами до уровня физиологических потребностей человека. Такими сырьем в данной работе являются спирулина и хлорелла [4-6].

Spirulina platensis представляет собой сине-зеленую микроводоросль благодаря хлорофилловым (зеленым) и фикоцианиновым (синим) пигментам в своем химическом составе. Это одна из многоклеточных цианобактериальных микроводорослей со способностью к фотосинтезу, которая может хорошо расти как в пресной, так и в морской воде [7].

Spirulina platensis успешно культивируется в селективной жидкой среде, а именно в Среде Заррука с использованием золы бурого угля [8]. Зола бурого угля содержит множество макро- и микроэлементов, которые благоприятствуют росту *spirulina platensis*. Данная микроводоросль культивируется в конических колбах, содержащих только среду Заррука (SP₁) и среду Заррука с различными концентрациями (0.5 г/л (SP₂) добавок) [9].

Спирулина суперфуд содержит больше минеральных веществ и аминокислот. Она способствует улучшению обмена веществ и выводит вредные вещества из организма [10, 11]. Является богатым пищевым источником микро- и макроэлементов, таких как, витамины, гамма-линоленовая кислота, фикоцианин и сульфатированные полисахариды [12]. Обладает антиоксидантными и противовоспалительными свойствами, что может играть важную роль в здоровье человека [13, 14]. Так же она снижает риски возникновения сердечно-сосудистых, воспалительных заболеваний и вирусных инфекций [15].

Хлорелла — одноклеточная неподвижная зеленая водоросль, является одной из наиболее культивируемых микроводорослей [16] и содержит почти все питательные вещества, необходимые для здорового питания. Она имеет уникальный набор компонентов, включая все незаменимые аминокислоты, многочисленные ценные витамины, минералы и микроэлементы [17]. Хлорелла также содержит широкий спектр антиоксидантов, таких как омега-3, витамин С и каротиноиды, такие как бета-каротин и лютеин. Эти питательные вещества борются с повреждением клеток в нашем организме и помогают снизить риск диабета, когнитивных заболеваний, проблем с сердцем и рака [18].

Сориз – однолетняя гибридная зерновая культура перспективного происхождения для Республики Молдова, потому что она устойчива к засухе, а бобы его имеют высокую питательную ценность [19]. Мука из сориза имеет все необходимые вещества, необходимые человеку, также она является более сбалансированной по аминокислотному составу [20]. Она содержит такие минеральные вещества, как натрий, калий, железо, кальций, фосфор и магний, которые необходимы нашему организму.

Целью исследования является: обогащение хлебобулочных изделий биомассой спирулины и хлореллы и определение основных показателей обогащенных хлебобулочных изделий.

Материалы исследования

Материалами исследований являлись: мука, молоко цельное питьевое пастеризованное, соль поваренная, сахар-песок, разрыхлитель, растительное масло. Для экспериментальных выпечек была использована мука сориза, так как данная мука имеет все необходимые вещества, необходимые человеку, также она является более сбалансированной по аминокислотному составу.

Образцы хлебобулочных изделий были обогащены биомассой спирулины и хлореллы, в количестве 6% от массы муки.

Методы исследования

Приготовление хлебобулочных изделий включают следующие операции: подготовка основного и вспомогательного сырья, замес теста, раскатка, формование тестовых заготовок, выпечка. В результате были приготовлены пять типов хлебобулочных изделий в следующих комбинациях: контрольный образец из соризовой муки (MC контроль), обогащенный спирулиной SP₁ (MC SP₁), спирулиной SP₂ (MC SP₂), спирулиной SF (MC SF) и хлореллой (MC Chl).

Лабораторные исследования проводились на кафедре пищевых технологий Технического Университета Молдовы, в лабораторных условиях, с использованием стандартизированных физико-химических методов.

Методы определения физико-химических показателей хлебобулочных изделий

Влажность готовых продуктов определяли по ГОСТ 21094-75, с помощью сушки образцов в сушильном шкафу CLN 53 при температуре 130 °C и времени 45 мин. Зольность определяли по ГОСТ 27494-87, путем сжигания золы при температуре 550 °C, 4 часа.

Органолептический анализ

Органолептические показатели готовых изделий определяли по ГОСТ 5897-90. Характеристики определяли по следующим параметрам: поверхность, форма, вкус, запах, цвет.

Дегустационную оценку образцов хлеба проводили по пятибалльной шкале с использованием коэффициентов весомости для отдельных показателей качества.

Цветность

Оценку цвета проводили с помощью колориметра Chroma Meter CR-410. Данный прибор может точно определить цветовые характеристики пищевых продуктов и обеспечивает оценку для немедленного определения соответствия образца определенному стандарту. Цветовые координаты представлены в шкалах $L^*a^*b^*$, где L определяет значение светлоты хроматической составляющей, а и b означают положение цветов зеленый/красный и голубой/желтый.

Пищевая ценность

Пищевую ценность определяли согласно ПП № 179/2018, путем расчета белков, жиров, углеводов, энергетической ценности в каждом готовом продукте.

Результаты и обсуждения

Технологический процесс производства хлебобулочных изделий включал в себя несколько этапов. На первом этапе осуществляли просеивание муки, подогрев молока и взвешивание всех ингредиентов, включенных в традиционную рецептуру – мука, молоко, соль, сахар, разрыхлитель, растительное масло и порошок микроводорослей. Второй этап заключался в приготовлении теста. Соль, сахар, разрыхлитель добавляли в муку, и все перемешивали. Постепенно добавляли молоко, подогретое до 30 °С, и замешивали тесто. Приготовленное тесто накрывали пищевой пленкой и оставляли на 30 минут в теплом месте. Для приготовления теста с порошком микроводорослей использовали теплое молоко, смешивали его с биомассой спирулины и хлореллы и оставляли на 30 мин. Затем добавляли остальные ингредиенты и замешивали тесто.

Далее раскатывали пласт толщиной 1 см и клали на противень, застеленный пергаментной бумагой. Пласт разрезали на ленты определенной длины. Их закручивали в спираль или оставляли в форме палочек. Тестовые заготовки выпекали при температуре 220 °С в течении 10-15 мин.

На основании предложенных рецептов были определены физико-химические показатели готовых продуктов.

Влияние добавления биомассы спирулины и хлореллы на влажность и зольность готовых продуктов.

Массовая доля влаги в пищевых продуктах оказывает влияние на их пищевую ценность. Зольность является количественным выражением содержания минеральных веществ в продуктах.

Поэтому в готовых изделиях определяли содержание влаги и золы. Полученные данные представлены в таблице 1.

Таблица 1: Влияние спирулины и хлореллы на физико-химические показатели готовых продуктов

Показатели	МС (контроль)	МС SP ₁	МС SP ₂	МС SF	МС хлорелла
Влажность, %	5.90±1.27	6.30±0.23	4.82±0.18	7.46±0.31	8.06±0.97
Зольность, %	2.30±0.04	7.18±0.78	4.96±0.04	4.60±0.04	3.93±0.15

Из представленных данных можно сделать вывод, что добавление в рецептуру спирулины SP₁, SF и хлореллы повышает показатель влажности на 0.4%, 1.56%, 2.16% по сравнению с контрольным образцом. Наибольшее значение имеют изделия с добавлением хлореллы. Это может быть связано с тем, что в их составе есть полисахариды, которые проявляют способность к набуханию, а также хорошо удерживают воду в готовых изделиях [21]. Наименьшее значение было зафиксировано в образце с добавлением спирулины SP₂, что ниже контрольного образца на 1.08%. Скорее всего это связано с тем, что белки микроводорослей в смеси с частицами других пищевых ингредиентов остались не связанными между собой, поэтому при нагревании изделия потеряли много влаги.

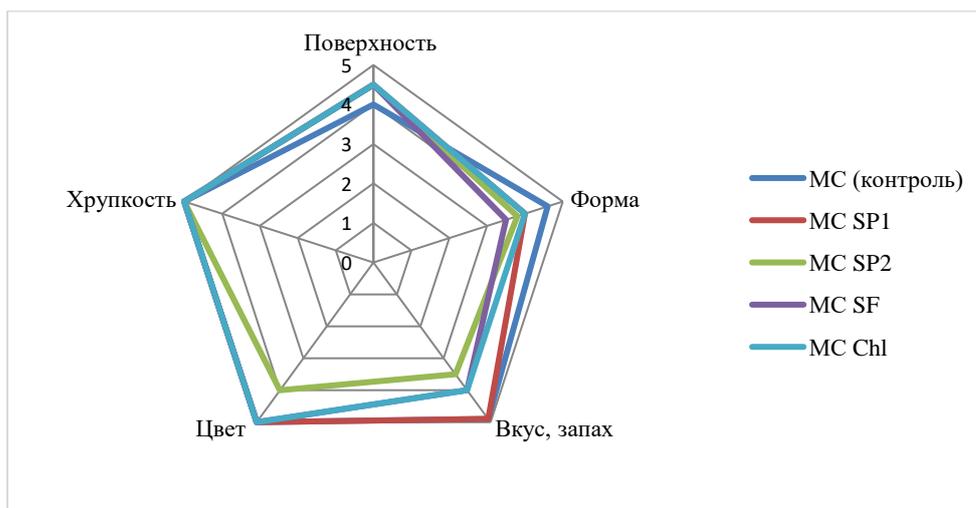
С добавлением в рецептуру спирулины SP₁, SP₂, SF и хлореллы наблюдается увеличение показателей зольности на 4.88%, 2.66%, 2.3%, 1.63% по сравнению с контрольным образцом.

Наибольшее значение имеют изделия с добавлением спирулины SP₁. Увеличение зольных элементов, скорее всего, связано с пищевыми волокнами, которые смогли хорошо набухнуть и лучше связать воду в продукте [22].

Сенсорный анализ

Органолептические характеристики оценивали с точки зрения поверхности, формы, вкуса, запаха, цвета и хрупкости.

Органолептические показатели хлебобулочных изделий выявили некоторые ухудшения формы в отдельных продуктах (фигура 1) (суммарная оценка составляет 3.93 – 4.36 из 5.0).

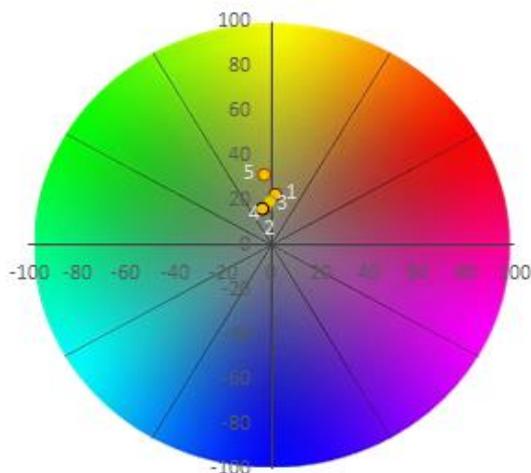


Фигура 1. Профилограмма образцов экспериментальных выпечек

Оценки поверхности готовых продуктов значительно улучшились (4.6 балла для MC SP₁, 4.9 балла для MC SP₂, 5.0 балла для MC SF и MC Chl) по сравнению с контрольным образцом. У всех образцов с добавлением биомассы спирулины и хлореллы имелся в разной степени привкус и запах микроводоросли, что в конечном итоге оказало влияние на окончательный результат. Вкус и запах хлебобулочных изделий с добавлением спирулины SP₁, SP₂, SF значительно уменьшились (3.8 балла для MC SP₁, 3.5 балла для MC SP₂, 4.0 балла для MC SF). Сенсорные оценки цвета в образцах MC SP₂, MC SF показали тенденцию к увеличению.

По накопленным баллам, наилучшие результаты показали изделия с добавлением хлореллы (5.0 балла из 5.0) с категорией качества «отличное».

Цветовые характеристики образцов были получены с помощью построения системы координат, используя значения а и b. График цветности экспериментальных выпечек представлен на фигуре 2.



Фигура 2. График цветности экспериментальных выпечек: 1 - MC (контроль); 2 - MC SP₁; 3 - MC SP₂; 4 - MC SF; 5 - MC Chl

Анализируя полученные результаты, видно, что с добавлением спирулины SP₁, SP₂, SF и хлореллы в рецептуру, образцы приобретают различные зеленые оттенки по сравнению с контрольным образцом. Увеличиваются показатели зеленого и желтого цветов, за счет наличия в данных микроводорослях таких пигментов как хлорофилл и каротиноиды.

Пищевая ценность готовых продуктов

Была рассчитана пищевая ценность хлебобулочных изделий. Определены содержания белков, жиров, углеводов и энергетическая ценность в готовых продуктах. Результаты анализов пищевой ценности хлебобулочных изделий из соризовой муки с добавлением микроводоросли *spirulina* и *chlorella* приведены в таблице 2.

Таблица 2. Энергетическая ценность экспериментальных выпечек из соризовой муки

Наименование продукта	Содержание, г на 100 г продукта			Энергетическая ценность, Ккал
	Белки	Жиры	Углеводы	
MC (контроль)	13.82	4.50	88.73	450.7
MC SP ₁	16.23	4.69	89.45	464.93
MC SP ₂	17.21	4.75	89.41	469.23
MC SF	17.42	4.74	89.02	468.42
MC Chl	17.42	4.68	89.06	468.04

В данных изделиях количество белков увеличивается в среднем на 6.83%, жирах на 5.26%, углеводов на 0.80%. Энергетическая ценность увеличивается в среднем на 3.94%.

Употребление 100 грамм данных изделий удовлетворяет суточную потребность в белках в среднем на 6.70%, жиров- 3.65%, углеводов – 0.37%. Энергетическая ценность увеличивается в среднем на 3.7%.

Выводы

В условиях жесткой рыночной конкуренции на повестку дня ставится задача решение проблемы дефицита продуктов питания повышенной пищевой ценности [23]. В данной работе исследована возможность использования спирулины и хлореллы в производстве хлебобулочных изделий. Добавление спирулины и хлореллы способствует повышению влажности (6.3 - 8.9%) и зольности (3.93 - 7.18%). Установлено, что использование спирулины и хлореллы влияет на органолептические показатели готовых продуктов. Продукты имеют положительную характеристику без дефектов с общей приемлемостью 3.93 - 5.0. Использование данных препаратов повышает содержание белков в исследуемых продуктах в среднем на 6.83%, жирах на 5.26%, углеводах на 0.80%.

Данные изделия можно рекомендовать в качестве профилактического питания, при нехватке минеральных веществ и витаминов.

Благодарность

Авторы выражают благодарность Государственному проекту №. 20.80009.5107.09 «Повышение качества и безопасности пищевых продуктов с помощью биотехнологии и пищевой инженерии», который проводится в Техническом университете Молдовы.

Библиография

1. Старовойтова, Я.Ю., Школьников, М.Н. О повышении пищевой ценности национальных булочных изделий. *Индустрия питания*, 2018. т. 3. № 3, с. 71 Источник: <https://cyberleninka.ru/article/n/o-povyshenii-pischevoy-tsennosti-natsionalnyh-bulochnyh-izdeliy/viewer>
2. Агибалова, В.С. Разработка научно обоснованных рецептов хлебобулочных изделий повышенной пищевой ценности с применением перспективных фитообогащителей: диссертация кандидата технических наук. Мичуринск-наукоград, 2016, с. 3.
3. Bantea-Zagareanu, V., Gurev, A., Dragancea, V., Dodon A. Pastries with functional spirulina platensis ingredients. *Journal of Engineering Science*. 2021, 28(2), pp. 159-170. ISSN 2587-3474. doi:10.52326/jes.utm.2021.28(2).14 (UDC 664.68:582.232).

4. Сухова, О. В., Гордеева, В. Ф. Разработка рецептуры хлебобулочного изделия повышенной пищевой ценности. *Молодой ученый*, 2015, № 9 (89), с. 304-307 Источник: <https://moluch.ru/archive/89/18077/>.
5. Dodon, A., Bantea-Zagareanu, V., Gurev, A. Researches on the use of spirulina in the production of flour products. *International Euro-Aliment Symposium*, the 10th edition, Galați, Romania, 7-8 October 021. pp. 75. Источник: http://www.euroaliment.ugal.ro/files/Book_of_abstracts.pdf.
6. Breașna, N., Sturza, M., Dodon, A., Bantea-Zagareanu, V. *Aspecte a utilizării spirulinei în industria de cofetărie*. Materialele conferinței Tehnico-științifice a Colaboratorilor, Doctoranzilor și Studenților, 16-18 noiembrie 2017. Chișinău: Tehnica UTM, 2018. Vol. 2. p. 13-16. ISBN 978-9975-45-545-9.
7. Totnabene, T.G., Bourne, T.F., Raziuddin, S., Ben-Amotz, A. Lipid and lipopolysaccharide constituents of cyanobacterium *Spirulina platensis* (Cyanophyceae, Nostocales). *Atlanta: School of Applied Biology*, 1985, vol. 22, p. 121 Источник: <https://www.int-res.com/articles/meps/22/m022p121.pdf>.
8. Dineshkumar, R., Sampathkumar, P., Rajendran, N. Cultivation of *Spirulina platensis* in different selective media. *Indian Journal of Geo Marine Sciences*, 2016, vol. 45 (12), p. 1751 [Цитировано 01.11.2022].
Источник: https://www.researchgate.net/publication/329782935_Cultivation_of_Spirulina_platensis_in_different_selective_media.
9. Saranraj, P., Stella, D., Usharani, G., Sivasakthi, S. Effective Recycling of Lignite Fly Ash for the Laboratory Cultivation of Blue Green Algae - *Spirulina platensis*. India: *International Journal of Microbiological Research*, 2013, v. 4(3), p. 220 [Цитировано 16.10.2022]. Источник: [https://idosi.org/ijmr/ijmr4\(3\)13/2.pdf](https://idosi.org/ijmr/ijmr4(3)13/2.pdf).
10. Гудвилович, И.Н. Биологическая ценность БАД на основе спирулины. Севастополь, 2012, №105, с. 130 Источник: <https://cyberleninka.ru/article/n/biologicheskaya-tsennost-bad-na-osnove-spiruliny/viewer>.
11. Sharoba, A.M. Nutritional value of spirulina and its use in the preparation of some complementary baby food formulas. *Journal of Agroalimentary Processes and Technologies*, 2014, № 20(4), с. 337-339 [Цитировано 11.12.2022]. Источник: https://www.bu.edu.eg/portal/uploads/Agriculture/Food%20Technology/1217/publications/Ashraf%20Mahdy%20Abd%20El-Hameid%20Sharoba_Ashraf%20SharobaSp.pdf.
12. Deasy, L., Indah, R., Rugaiyah, A.A., Asma, A. Nutritional analysis of spirulina sp to promote as superfood candidate. *Materials Science and Engineering*, 2019, с. 1-2 [Цитировано 11.12.2022]. Источник: https://www.researchgate.net/publication/332847564_Nutritional_analysis_of_spirulina_sp_to_promote_as_superfood_candidate.
13. Qinghua, W., Lian, L., Anca, M., Blanka, K., Dan, W., Kamil, K. The antioxidant, immunomodulatory, and anti-inflammatory activities of *Spirulina*: an overview. *Arch Toxicol* 90, 2016, с. 1817–1840 [Цитировано 11.12.2022]. Источник: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00204-016-1744-5#citeas>.
14. Gurev, A.; Bantea-Zagareanu, V.; Dragancea, V.; Dodon, A. The impact of the applied method on the content of antioxidants in spirulina, gluten-free products. *International Conference „Intelligent Valorisation of Agro-industrial Wastes”*, Chisinau, October 7 2021. p.37 Available online: https://intelwastes.utm.md/wp-content/uploads/2021/10/Book-of-Abstracts_Intelwastes-oct-2021.pdf, <http://ro-md.net>.
15. Deng, R, Chow, Tj. Hypolipidemic, antioxidant, and antiinflammatory activities of microalgae *Spirulina*. *Cardiovasc Ther.* 2010, № 28(4), с. 33-45 [Цитировано 11.12.2022]. Источник: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2907180/>.
16. Gopal, P., Meivelu, M., Arumugam, A. Evaluation of Chemical Composition and In Vitro Antiinflammatory Effect of Marine Microalgae *Chlorella vulgaris*. *Waste Biomass Valor*, 2018 [Цитировано 01.11.2022]. Источник: <https://link.springer.com/article/10.1007/s12649-018-0370-2#citeas>.
17. *Chlorella Guide*. The microalga chlorella, © 2012 [Цитировано 01.11.2022]. Источник: <http://www.chlorella-guide.com/en/the-microalga-chlorella.html>.
18. Mikstas, C. *Chlorella: Are There Health Benefits?* © 2005-2022 [Цитировано 01.11.2022]. Источник: <https://www.webmd.com/diet/chlorella-health-benefits>
19. Popescu, L. Study of hydration germinated soriz flour. Chișinău: Technical University of Moldova, 2012, p. 2 [Цитировано 01.11.2022]. Источник:

http://repository.utm.md/bitstream/handle/5014/6220/Conf_MTFI_2012_Vol_2_pg73-78.pdf?sequence=1&isAllowed=y.

20. Солтан, О. И. А. Разработка технологии овсяной муки с интенсивным увлажнением зерна и мучных композитных смесей на ее основе. Диссертация кандидата технических наук, Барнаул, 2020, с. 34.
21. Клочкова, Н.Г. Природные ресурсы, их современное состояние, охрана, промысловое и техническое использование. Петропавловск-Камчатский: КамчатГТУ, 2019, с. 192 [Цитировано 17.10.2022].
Источник: <https://kamchatgtu.ru/wp-content/uploads/2017/03>.
22. Воронкова, Ю.В. Свекловичные пищевые волокна отечественного производства в технологии мясных продуктов функционального назначения: диссертация кандидата технических наук. Воронеж, 2014. с. 93.
23. Николаенко, М.В., Сон, О.М. Использование микроводоросли *Spirulina* в пищевой промышленности. Владивосток: Дальневосточный федеральный университет [Цитировано 17.10.2022]. Источник: http://www.rusnauka.com/33_DWS_2013/Agricole/4_146794.doc.htm.