

## DEVELOPMENT OF SCIENTIFICALLY GROUNDED TECHNOLOGIES OF FOOD PRODUCTS OF INCREASED NUTRITIONAL VALUE USING STRUCTURE FORMERS OF DIFFERENT ORIGIN

V. Evlash, T. Kuznetsova, M. Artamonova, A. Foshan, N. Otroshko,  
I. Piliugina, Z. Zheleznyak

*Kharkiv State University of Food Technology and Trade*

I. Vovchinsky, O. Kalugin

*V.N. Karazin Kharkiv National University*

---

**Key words:**

*Increased nutritional value*

*Gelatin*

*Agar*

*Molecular dynamics simulation*

*Cryopowder*

---

**ABSTRACT**

According to the results of molecular dynamical modeling of aqueous solutions of agar and gelatine, it is recommended to use gelatin enriched with hydroxyproline for gelation in food systems. New technologies of confectionery products were developed: jelly marmalade on agar with gum additions of plant and microbial origin; fruit jelly enriched with vitamin C; marshmallow with cryopowders from Sudanese rose and chokeberry. The method of determination of vitamin C in confectionery products containing gelatin is developed, using the method of galvanostatic coulometry.

---

**Article history:**

Received 08.09.2017

Received in revised form  
22.09.2017

Accepted 19.10.2017

---

**Corresponding author:**

V. Evlash

**E-mail:**

[npuht@ukr.net](mailto:npuht@ukr.net)

---

DOI: 10.24263/2225-2924-2017-23-5-1-16

---

## РОЗРОБКА НАУКОВО ОБҐРУНТОВАНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ПРОДУКЦІЇ ПІДВИЩЕНОЇ ХАРЧОВОЇ ЦІННОСТІ З ВИКОРИСТАННЯМ СТРУКТУРОУТВОРЮВАЧІВ РІЗНОГО ПОХОДЖЕННЯ

В.В. Євлаш, Т.О. Кузнецова, М.В. Артамонова, А.Л. Фощан,  
Н.О. Отрошко, І.С. Пілюгіна, З.В. Железняк

*Харківський державний університет харчування та торгівлі*

І.С. Вовчинський, О.М. Калугін

*Харківський національний університет ім. В.Н. Каразіна*

*За результатами молекулярно-динамічного моделювання водних розчинів агару та желатину рекомендовано використовувати желатин, збагачений*

гідроксипроліном для гелеутворення у харчових системах. Розроблено нові технології кондитерських виробів: мармелад желевий на агарі з добавками камедей рослинного та мікробного походження; фруктове желе, збагачене вітаміном С, маршмелоу з кріопорошками із суданської троянди та чорноплідної горобини. Розроблено методику визначення вітаміну С у кондитерських виробках, що містять желатин, із застосуванням методу гальвано-статичної кулонометрії.

**Ключові слова:** підвищена харчова цінність, желатин, агар, молекулярно-динамічне моделювання, кріопорошок.

**Постановка проблеми.** У статті наведено результати досліджень, які було одержано у межах науково-дослідної роботи «Розробка науково обґрунтованих технологій харчової продукції підвищеної харчової цінності з використанням структуроутворювачів різного походження», що виконувалася за державним замовленням у 2015—2016 роках на базі Харківського державного університету харчування та торгівлі. Дослідження спрямовані на вирішення проблеми раціонального використання харчової сировини, у тому числі і структуроутворювачів різного походження, для харчової продукції підвищеної харчової цінності шляхом розробки та запровадження інноваційних конкурентоспроможних технологій.

Харчові структуроутворювачі включають в себе широку групу загусників, студнеутворювачів, піноутворювачів тощо. Ці інгредієнти вводять у харчові продукти в процесі їх виготовлення з метою регулювання консистенції та формування текстури.

Структуроутворювачі, які використовують у харчовій промисловості є, як правило, біополімерами, що мають вуглеводну або білкову природу. До них відносяться такі речовини, як: агар, агароїд, фурцеларан, альгінати (продукти переробки морських водоростей), желатин (продукт тваринного походження), пектини, крохмалі, камеді (продукти рослинного походження), ксантан, гелан (мікробні полісахариди) та ін.

Наразі в науковій літературі відсутні завершені теорії та концепції, що дають змогу однозначно прогнозувати технологічні та споживні властивості цукрових кондитерських виробів на основі знання молекулярної структури й природи структуроутворювачів, що використовуються для її виготовлення. Відсутні також і методики кількісного визначення функціонально-фізіологічних інгредієнтів, адаптовані для кондитерських виробів з використанням структуроутворювачів різного походження.

**Метою дослідження** є науково-теоретичне обґрунтування та розробка технологій харчової продукції — цукрових кондитерських виробів, збагачених фізіологічно-функціональними інгредієнтами, з використанням структуроутворювачів різного походження.

Для реалізації поставленої мети були окреслені такі завдання: дослідження фізико-хімічних і функціонально-технологічних властивостей; проведення молекулярно-динамічного моделювання й розроблення мікроскопічних моделей

структурних і динамічних властивостей розчинів та драглів зі структуроутворювачами різного походження; дослідження на модельних системах взаємодії структуроутворювачів різного походження з вітаміном С; розроблення методики визначення вітаміну С у харчовій продукції зі структуроутворювачами різного походження; підбір та обґрунтування введення структуроутворювачів різного походження до рецептурного складу цукрових кондитерських виробів зниженої собівартості для формування заданих органолептичних і функціонально-технологічних властивостей продукції.

**Матеріали і методи.** Для визначення вмісту аскорбінової кислоти у модельних системах, що містять крохмаль і желатин, використовували метод ВЖХ. В основу було покладено методику визначення водорозчинних вітамінів у полівітамінних препаратах методом HPLC [1], адаптовану авторами для визначення вітаміну С у модельних системах, що містять гідроколоїди.

**Результати і обговорення.** *Молекулярно-динамічне моделювання структурних і динамічних властивостей розчинів та драглів зі структуроутворювачами різного походження.*

Відсутність завершених теорій і концепцій, що дають змогу однозначно прогнозувати технологічні та споживні властивості цукрових кондитерських виробів на основі знання молекулярної структури й природи структуроутворювачів обумовили необхідність розробки відповідних молекулярних моделей. Було встановлено механізми утворення драглів зі структуроутворювачами різної хімічної природи (агар, желатин). Агар — один із найбільш поширених структуроутворювачів, що використовується в харчових технологіях. Відносна його дорожнеча обумовлює необхідність пошуку структуроутворювачів, що хоча б частково замінюють його в харчових виробках, у яких традиційно використовується винятково агар.

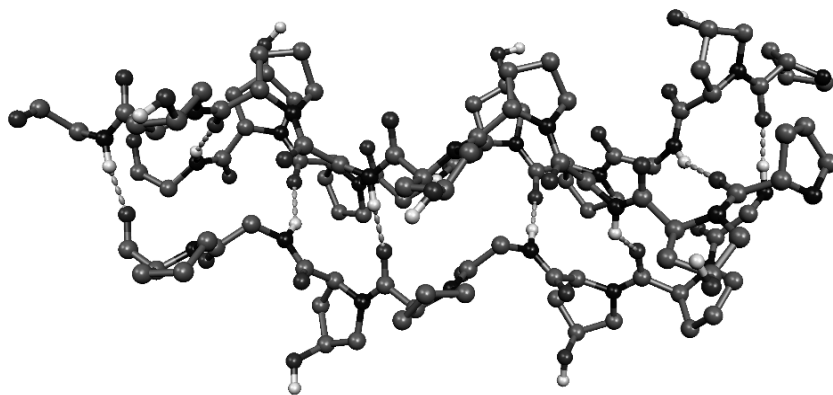
Одним із таких гелеутворювачів можуть бути розчини желатину (колагену). Велика різноманітність видів желатину залежно від вихідної сировини й технології виробництва є широко відомою [2]. Варіативність амінокислотного складу желатину добре характеризує той факт, що желатин може містити всі амінокислоти, крім триптофану, метіоніну, цистеїну та тирозину [3]. Подібна різноманітність складу обумовлює великий діапазон реологічних властивостей. Для розуміння впливу складу желатину на особливості гелеутворення необхідно досліджувати цю проблему на атомно-молекулярному рівні.

Авторами було проведено дослідження особливостей міжмолекулярної асоціації (агрегації) у водних розчинах агарози (AG) і колагену (Col), а також ролі водневих зв'язків на атомно-молекулярному рівні з використанням методу молекулярно-динамічного (МД) моделювання.

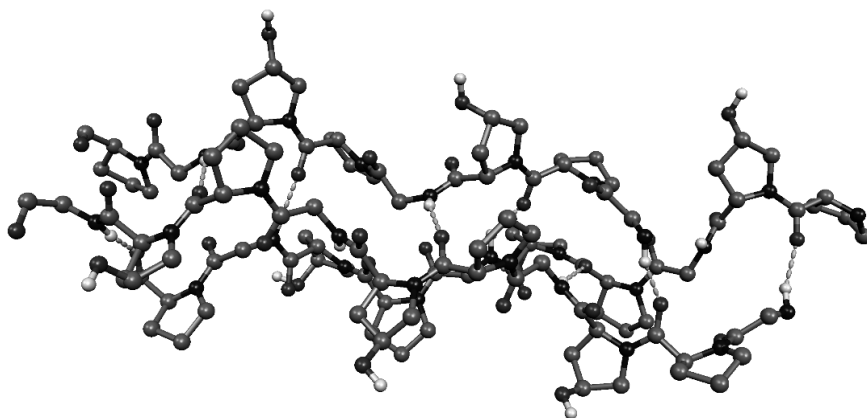
Було показано, що найважливішим проміжним етапом гелеутворення за участю колагену й агарози є утворення співвісних асоціатів (агрегатів) спіральних молекул.

Аналіз динамічної структури молекул тропоколагена, що складаються із трьох  $\alpha$ -ланцюгів колагена (позначених як А-В-С і D-E-F відповідно), у водному розчині показує особливу роль сітки водневих зв'язків між амінокислотними залишками  $\alpha$ -ланцюгів (рис. 1, 2).

Слід відзначити, що стабільність молекул тропоколагена (потрійних спіралей колагена) у водному середовищі забезпечується головним чином водневими зв'язками між -NH групами гліцину одного з  $\alpha$ -ланцюгів колагену й атомами кисню проліна іншого  $\alpha$ -ланцюгу. В середньому на приблизно 9 нм довжини в молекулі тропоколагена реалізується від 15 до 20 сильний водневих зв'язків. У той же час міжмолекулярна асоціація молекул тропоколагена здійснюється в основному за рахунок водневих зв'язків між гідроксипроліновими залишками амінокислот, що належать різним молекулам тропоколагена.



**Рис. 1.** Ділянка молекули тропоколагена А-В-С  
(внутрішньомолекулярні водневі зв'язки показані пунктиром)



**Рис. 2.** Ділянка молекули тропоколагена D-E-F  
(внутрішньомолекулярні водневі зв'язки показані пунктиром)

Для кількісної оцінки водневих зв'язків, що утворюються між тропоколагеновими молекулами, був проведений їхній квантово-хімічний аналіз у рамках квантової теорії Бейдера «Атоми в молекулах» (QTAİM) [4; 5]. За результатами цього аналізу встановлено, що донорні атоми кисню гідроксипроліна одного з  $\alpha$ -ланцюгів колагену однієї тропоколагенової молекули

утворюють, крім класичних (сильних) Н-зв'язків, з NH (гліцину) або OH (гідроксипроліну) групами  $\alpha$ -ланцюгів колагену іншої тропоколагенової молекули також і слабкі водневі зв'язки зі СН групами відповідних молекул, що пояснює високу динамічну стійкість співвісних тропоколагенових асоціатів (агрегатів) у водних розчинах.

Із вищесказаного було сформульовано важливий практичний висновок: для поліпшення гелеутворюючих властивостей колагену або подвійних систем на основі агароза+колаген (желатин) пропонується використовувати колаген, збагачений гідроксипроліновими залишками.

Отримані результати дають змогу спрогнозувати функціонально-технологічні властивості харчових систем і перебіг технологічного процесу отримання цукрових кондитерських виробів з використанням структуроутворювачів різного походження.

*Розробка технологій цукрових кондитерських виробів підвищеної харчової цінності на основі структуроутворювачів різної природи.*

Хімічний склад кондитерських виробів, як правило, характеризується низьким вмістом вітамінів, макро- і мікроелементів і значним — вуглеводів, у тому числі цукру, що зумовлює їх високу енергетичну цінність і обмежує використання для багатьох верств населення. До недоліків складу цих виробів також можна віднести широке застосування як регулятора кислотності лимонної кислоти, що спричиняє порушення обміну кальцію в організмі людини, та синтетичних смакоароматичних речовин.

Підвищити харчову цінність кондитерських виробів на основі структуроутворювачів різної природи можна за допомогою різних способів і прийомів. Найбільш перспективними з них є, по-перше, використання добавок з рослинної сировини, що дає змогу надати виробам бажаного кольору, смаку й аромату, зменшити витрати структуроутворювача, виключити з рецептури синтетичні барвники й ароматизатори, ввести до складу виробів вітаміни, пектинові речовини, фенольні сполуки, органічні кислоти тощо. По-друге, збагачення продукції есенціальними харчовими речовинами (вітаміни, макро- і мікроелементи, харчові волокна, поліненасичені жирні кислоти тощо).

Як рослинні добавки для кондитерської продукції використовують фруктовово-овочеві пюре, соки, пасти, порошки, екстракти з рослинної сировини, настої трав і лікарських рослин тощо. Особливо слід виділити добавки (кріопорошки), які одержують шляхом криогенного та дезінтеграторного подрібнення рослинної сировини, що дає змогу зберегти біологічно активні речовини та підвищити якість кінцевого продукту. Встановлено, що використання таких методів подрібнення призводить до додаткового переходу низькомолекулярних БАД і харчових речовин зі зв'язаного з біополімерами стану у вільний. Показано, що під час використання криогенного подрібнення рослинної сировини вихід екстрактивних біологічно активних речовин (БАР) підвищується у 1,5...2 рази, а швидкість екстракції — в 2...4 рази порівняно з традиційними методами [6].

Також розроблено *рецептури мармеладу на агарі з добавками камедей рослинного та мікробного походження*. При розробці технологій цукристих кондитерських виробів на основі агару доцільно не тільки підвищувати харчо-

ву цінність кінцевого продукту, але й шукати шляхи зменшення вмісту агару, який, як уже зазначалося, має досить високу вартість. Нами було запропоновано використання камедей рослинного та мікробного походження, які мають здатність утворювати в'язкі водні розчини, синергетично взаємодіяти з іншими структуроутворювачами, що призводить до формування структурованих систем різної текстури.

Проведені дослідження довели доцільність використання камедей у технології мармеладу желейного формового і можливість зниження витрат агару на 40...60%. Було розроблено три рецептури мармеладу на агарі з добавками камедей рослинного та мікробного походження, завдяки яким витрати агару зменшені на 50...60%; включення до рецептур концентрованих соків (абрикоса, полуниці та вишні) сприяло зниженню витрат лимонної кислоти до 60...75%, повному виключено ароматизаторів, синтетичних барвників і есенцій.

Наступний етап роботи був пов'язаний із розробкою технологій цукристих кондитерських виробів на основі желатину — желе та маршмелоу.

Желе — виріб, що виготовляється на основі свіжих, концентрованих або консервованих фруктових і ягідних соків та екстрактів, уварених з цукром. Желе — харчовий продукт, готовий до вживання і призначений для реалізації в закладах ресторанного господарства та роздрібною торгівлі. Існує значна кількість рецептур для желе. Найчастіше для його виготовлення використовують желатин у кількості 3%. Проведені дослідження міцності драглів желатину Bloom 240 (виробництва Німеччини) показали можливість зменшення вмісту желатину на 35%.

Вітамін С міститься у багатьох соках, але під час технологічних операцій виготовлення желе значна кількість його втрачається. Тому розробка технології желе, збагаченого вітаміном С, є актуальним завданням як для збереження здоров'я населення нашої країни, так і для розширення асортименту желейних виробів, представлених на ринку України.

Розроблено дві рецептури желе на основі яблучного соку, збагаченого вітаміном С. Внесення вітаміну С згідно з рецептурою часто не забезпечує необхідну фізіологічну дію після вживання продукту і може призводити до зниження біологічної доступності і засвоєння аскорбінової кислоти. Так, наприклад, під час збагачення вітаміном С желейних виробів частина аскорбінової кислоти може зв'язуватися структуроутворювачами, і при вживанні таких продуктів виводитися з організму людини.

У рамках даного дослідження було показано, що в модельних системах за наявності структуроутворювачів (желатину, модифікованого крохмалю) дані знайденого вмісту аскорбінової кислоти є істотно заниженими порівняно з внесеною кількістю. Причина занижених результатів може бути пов'язана з сорбційними властивостями гідроколідів.

Для вирішення цієї проблеми нами було розроблено методику визначення вмісту аскорбінової кислоти за наявності желатину в харчових системах із застосуванням методу гальваностатичної кулонометрії [7].

Оскільки вітамін С є водорозчинним вітаміном, його введення в цукрові кондитерські вироби не є проблемою. Набагато більші труднощі виникають,

якщо потрібно ввести будь-які жиророзчинні добавки (наприклад, жиророзчинні вітаміни, поліненасичені жирні кислоти) в продукт, який не містить жирів. Одним зі шляхів вирішення цієї проблеми може бути використання явища солюбілізації, тобто здатності розчинів колоїдних поверхнево-активних речовин (ПАР) розчиняти нерозчинні у воді речовини.

Відомо, що розчини желатину здатні виступати в ролі солюбілізатора [8], що дає змогу збагачувати кондитерські вироби на основі желатину жиророзчинними добавками.

Розроблено дві технології маршмелу підвищеної харчової цінності з використанням як драгле- та піноутворювача желатину з солюбілізованою соняшниковою олією. З метою повного виключення з рецептури синтетичних барвників та ароматизаторів в рецептуру було включено кріопорошки з суданської троянди й чорноплідної горобини.

Для раціонального використання відповідних кріопорошків у технології маршмелу необхідно було визначити стадію їх внесення у продукт та концентрацію, яка буде забезпечувати бажаний природний колір. Кріопорошки вводили у вигляді водно-спиртових екстрактів, які одержували за розробленими схемами [9], що відрізняються від традиційної тривалістю проведення, обраними екстрагентами, способом інтенсифікації та співвідношенням сировина:екстрагент.

За результатами модельних досліджень було встановлено, що введення екстрактів кріопорошків із суданської троянди та чорноплідної горобини є доцільним після збивання розчину желатину, оскільки у цьому випадку гасіння піни буде мінімальним. Оптимальну кількість екстракту кріопорошку для введення визначали за результатами органолептичного аналізу. Встановлено, що найкращі органолептичні показники нових виробів спостерігаються за умов додавання 3...4% водно-спиртового екстракту кріопорошку із суданської троянди і 8...10% екстракту з чорноплідної горобини від загальної маси системи.

Розроблена технологія маршмелу з рослинною добавкою антоціанової природи підвищеної харчової цінності [10; 11] відрізняється від традиційної тим, що як структуроутворювач використовують желатин з солюбілізованою соняшниковою олією. Введення до складу виробів екстрактів кріопорошків із суданської троянди та чорноплідної горобини дало змогу не тільки виключити штучні барвники і ароматизатори, але й зменшити рецептурну кількість лимонної кислоти на 11...23% та підвищити вміст біологічно активних речовин, низькомолекулярних фенольних сполук, дубильних речовин, органічних кислот.

### **Висновки**

Проведено систематичне дослідження з розробки технологій харчових продуктів підвищеної харчової цінності на основі структуроутворювачів різної природи дає можливість виділити такі основні результати:

1. Здійснено молекулярне моделювання структурних і динамічних властивостей розчинів та драглів зі структуроутворювачами різного походження, а

саме: міжспіральної асоціації а) молекул тропоколагена між собою, б) молекули тропоколагена й подвійної спіралі агарози, що лежить в основі процесів гелеутворення. Розроблено мікроскопічні моделі структурних та реологічних властивостей розчинів структуроутворювачів та їх сумішей і механізми утворення відповідних драглів.

2. Розроблено технології мармеладу желейного формового на агарі з добавками камедей рослинного та мікробного походження, завдяки яким витрати агару зменшені на 50...60%; включення до рецептур соків концентрованих сприяло зниженню витрат лимонної кислоти до 60...75%, повному виключено ароматизаторів, синтетичних барвників і есенцій.

3. Розроблено технології желе, збагаченого вітаміном С, що дало змогу розширити асортимент желейних виробів функціонального призначення, а застосування желатину Bloom 240 (виробництва Німеччини) — зменшити вміст драглеутворювача на 35%.

4. Досліджено на модельних системах взаємодію структуроутворювачів різного походження (желатин, модифікований крохмаль) з вітаміном С, внесеним у різних концентраціях.

5. Розроблено методику визначення вмісту аскорбінової кислоти за наявності желатину в харчових системах із застосуванням методу гальваностатичної кулонометрії.

6. Розроблено технологію маршмелу з використанням желатину з солюбілізованою соняшниковою олією та екстрактів кріопорошків із суданської троянди та чорноплідної горобини. Експериментально обґрунтовано технологічні параметри виробництва нової продукції.

### Література

1. *Кожанова Л.А.* Определение водо-жирорастворимых витаминов в поливитаминных препаратах методом высокоэффективной жидкостной хроматографии / Л.А. Кожанова, Г.А.Федорова, Г.И. Барам // Журнал аналит. химии. — 2002. — Т. 57, № 1. — С. 49—54.

2. *Phillips G.O.* Handbook of Hydrocolloids / G.O. Phillips, P.A. Williams. — Cambridge : Woodhead Publishing, 2009. — 948 p.

3. *Raja Mohd Hafidz R.N.* Chemical and functional properties of bovine and porcine skin gelatin / R.N. Raja Mohd Hafidz, С.М. Yaakob, I. Amin, A. Noorfaizan // International Food Research Journal. — 2011. — Vol. 18. — P. 813—817.

4. *Бейдер Р.* Атомы в молекулах. Квантовая теория / Р. Бейдер. — Москва : Мир, 2001. — 532 с.

5. *Калугин О.Н.* Методы молекулярного моделирования как инструмент исследования пищевых студней / О.Н. Калугин, И.С. Вовчинский, А.Л. Фошан, С.М. Губский, В.В. Евлаш // ПОВНОЦІННЕ ХАРЧУВАННЯ: інноваційні аспекти технології, енерго-ефективної переробки, зберігання та маркетингу : кол. моногр. — Харків : ХДУХТ, 2015. — С. 49—100.

6. *Гамуля Г.Д.* Нове в технології заморожування ягід у швидкоморозильному апараті із застосуванням газоподібного азоту / Г.Д. Гамуля, Р.Ю. Павлюк, Т.В. Крячко [та ін.] / Стратегічні напрямки розвитку підприємств харчових виробництв, ресторанного господарства і торгівлі : міжн. наук.-практ. конф., 19 листопада 2008 р. : [присв. 70-річчю з дня народж. д-ра техн. наук, проф. члена коресп. ВАСГНІЛ Беляєва М. І.]: тези у 2 ч. / редкол. : О.І. Черевко [та ін.]. — Харків : ХДУХТ, 2008. — Ч. 1. — С. 198—199.



7. Пат. 110349. Спосіб оцінки вмісту аскорбінової кислоти у харчових системах, що містять гідро колоїди / Євлаш В.В., Аксьонова О.Ф., Губський С.М., Железняк З.В., Фощан А.Л. — U 201602527; заявл. 15.03.2016 ; опубл. 10.10.2016, Бюл. № 19. — 4 с.

8. *Derkatch S.R.* Solubilization of oleophilic compounds in gelatin solutions containing surfactant / S.R. Derkatch, N.G. Voron'ko, V.N. Izmailova // *Colloids and Surfaces A Physicochemical and Engineering Aspects.* — 2003. — Vol. 223(1—3). — P. 1—9.

9. *Артамонова М.В.* Удосконалення технологій мармеладно-пастильних виробів з використанням рослинних добавок отриманих за кріотехнологіями / М.В. Артамонова, І.С. Пілюгіна, Н.В. Шматченко // *ПОВНОЦІННЕ ХАРЧУВАННЯ: інноваційні аспекти технології, енергоефективної переробки, зберігання та маркетингу* : кол. моногр. — Харків : ХДУХТ, 2015. — С. 144—171.

10. Пат. 103617. Маршмелоу з рослинними добавками / Артамонова М.В., Пілюгіна І.С., Гальчинецька Ю.Л. — U2015 05780; заявл 10.07.15 ; опубл. 25.12.2015, Бюл. № 24. — 4 с.

11. Пат. 110126. Маршмелоу з рослинною добавкою антоціанової природи / Артамонова М.В., Пілюгіна І.С. — U2016 03338; заявл 31.03.16 ; опубл. 26.09.2016, Бюл. № 18. — 4 с.