

М. М. Трусова¹, Т. Н. Камедько², О. В. Павлова³

¹ РУП «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по продовольствию»,
г. Минск, Республика Беларусь

² Учреждение образования «Белорусская государственная сельскохозяйственная академия»,
г. Горки, Республика Беларусь

³ Учреждение образования «Гродненский государственный университет имени Янки Купалы»,
г. Гродно, Республика Беларусь

ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ХИТОЗАНА КАК СТАБИЛИЗАТОРА ПРИ КОЛЛОИДНЫХ ПОМУТНЕНИЯХ

Аннотация. В статье приведен краткий обзор компонентов коллоидной мути пива и напитков брожения, в частности полифенолов. Рассмотрены основные представители класса полифенолы, а также причины, вызывающие образование коллоидных помутнений. Приведены способы устранения этого дефекта напитков. Описаны основные вспомогательные материалы, используемые в технологии напитков брожения, используемые для устранения коллоидной мути, и результаты исследования на модельных растворах сорбции танина кизельгуром, хитозаном и комбинированным сорбентом на основе кизельгура и хитозана. Максимальная сорбция танина хитозаном происходила уже на 30 минутах экспозиции и составляла 242,5 мг танина на 1 г хитозана. Максимальная сорбция танина кизельгуром составила 58,4 мг на 1 г сорбента. Комбинированный материал на основе кизельгура и хитозана (в соотношении 9:1) сорбирует 147,2 мг танина на 1 г сорбента. Полученные данные дают основания полагать, что наилучшими сорбирующими способностями по отношению к полифенолам обладают хитозан и комбинированный сорбент. Исследования в этой области позволят решить проблему коллоидной мутности, повысит сроки хранения и реализации готовых напитков брожения и пива.

Ключевые слова: хитозан, кизельгур, комбинированный сорбент, танин, коллоидное помутнение.

М. М. Trusova¹, T.N. Kamedko², O. V. Pavlova³

¹ RUE “Scientific and Practical Center of the National Academy of Sciences of Belarus for Food”,
Minsk, Republic of Belarus

² Educational institution “Belarusian State Agricultural Academy”, Gorki, Republic of Belarus

³ Educational institution “Yanka Kupala State University of Grodno”, Grodno, Republic of Belarus

PROSPECTS FOR USING CHITOSAN AS A STABILIZER IN COLLOIDAL OUTSTANDING

Abstract. This article discusses the main representatives of the class of polyphenols, as well as the causes of the formation of colloidal opacities. The main auxiliary materials used in the technology of fermentation beverages are presented. The studies were carried out on model solutions, such sorbents as chitosan, diatomaceous earth and a combined sorbent based on them were studied. The maximum sorption of tannin by chitosan occurred already at 30 minutes of exposure and amounted to 242.5 mg of tannin per 1 g of chitosan. The maximum sorption of tannin by diatomaceous earth was 58.4 mg per 1 g of sorbent. The combined material based on diatomaceous earth and chitosan absorbs 147.2 mg of tannin per 1 g of sorbent. Chitosan and the combined sorbent have the best sorbing properties in relation to polyphenols. Research in this area will solve the problem of colloidal turbidity, increase the shelf life and sale of finished fermented drinks and beer.

Keywords: chitosan, diatomaceous earth, combined sorbent, tannin, colloidal turbidity.

Введение. До недавнего времени коллоидным помутнениям в напитках брожения уделялось недостаточно внимания, так как напитки достаточно быстро реализовывались и не требовали долгого

хранения и транспортировки на большое расстояние [1, 2]. Однако в последнее время производство напитков брожения и пива приобретает все большие масштабы, часть продукции не успевает реализовываться быстрыми темпами, поэтому перед производителями встал вопрос стабилизации коллоидной системы напитков. Напитки брожения и пиво с физико-химической точки зрения представляют собой коллоидные растворы, и большинство веществ, отвечающих за вкус, цвет, пенистость продукта находится в коллоидном состоянии [3]. Поэтому, чтобы сохранить органолептические характеристики напитка до момента реализации покупателю, необходимо обеспечить стабильность коллоидной системы. В случае длительного хранения напитков или воздействия резких перепадов температур коллоидное равновесие может нарушаться, и как следствие будет наблюдаться выпадение осадка [4, 5]. О нарушении равновесия коллоидных систем говорит появление вначале едва заметной вуали, усиливающейся до помутнения, и образование осадка. Эти процессы могут также вызывать изменения вкуса, пенистости и других характерных свойств пива и напитков брожения. При коллоидных помутнениях органолептические показатели напитков брожения и пива изменяются незначительно, но потребитель требует продукт с хорошим блеском и считает слабое коллоидное помутнение признаком плохого качества напитка [6]. Коллоидный состав напитков брожения и пива представлен белками, полифенолами, декстринами и пентозанами, которые имеют в растворах свойства лиофильных зольей. Процент влияния этих веществ на образования коллоидной мути, следующий: 40–70 % составляют полипептиды, 7–50 – полифенолы, 3–10 – полисахариды, 1–5 % – зольные остатки.

Белки, полисахариды и нуклеиновые кислоты не адсорбируют на своей поверхности посторонние твердые вещества и газы, но могут связывать ионы и образовывать водные пленки толщиной всего в несколько молекул, при этом образуется гидратная оболочка, которая ещё больше стабилизирует макромолекулы [7–9]. Липидные частицы не выпадают в осадок в связи с тем, что они приобретают белковую оболочку, которая в свою очередь образует гидратный слой на поверхности макромолекулы. Именно на способности гидрофильных веществ покрывать поверхность гидрофобных базируются коллоидная стабильность растворов [10].

Лиофильные коллоиды на своей поверхности несут примерно одинаковые заряды, за счет чего взаимно отталкиваются и рассеиваются в растворе. При приготовлении напитков брожения и пива, рН может изменяться, в результате чего частицы могут терять свой заряд из-за адсорбции молекул с противоположными зарядами и образования больших по размеру комплексов. Возникает видимое помутнение, которое может перейти к полному осаждению коллоидных частиц, если число молекул с разными зарядами будет равным. Однако некоторые частицы могут взаимно предохранять друг друга от осаждения, так как адсорбция частиц с разноименными зарядами происходит в случае, если у одной молекулы величина заряда многократно превышает величину заряда другой [11–14].

Так как коллоидные частицы, которые находятся в напитках брожения и пиве имеют диаметр до 0,1 мкм, то они обладают значительной поверхностной активностью и находятся в постоянном броуновском движении. Это движение увеличивает количество осевших коллоидных частиц, которые слипаются и выпадают в осадок, достигнув больших размеров. Старение коллоидов ускоряют высокие температуры, поэтому разлитое пиво и напитки брожения следует хранить при низкой температуре. Кроме температуры на изменение коллоидной стойкости готового продукта влияют длительность хранения, перемешивание и действие света, а также общее содержание коллоидных веществ и размер их частиц, рН, содержание кислорода и тяжелых металлов.

Визуально оценить влияние перемешивания на коллоидную стойкость напитков и пива можно при его транспортировке на дальние расстояния, а также при проведении теста на коллоидную стойкость, когда образцы напитков в лабораторных условиях подвергают интенсивному перемешиванию и наблюдают за выпадением осадка [15].

Ультрафиолетовое освещение выступает в качестве катализатора реакций окисления сульфгидрильных групп пептидов и полимеризации полифенолов, а также совместно с кислородом приводит к изменению кислотно-основного равновесия в коллоидной системе напитков. В результате окислительной полимеризации происходит увеличение молекулярной массы полифенолов и их агрегация с молекулами белка, кроме того, окисление полифенолов ухудшает вкус пива. Окисление пептидов приводит к образованию дисульфидных мостиков между разными цепочками полипептидов и как следствие укрупнение этих частиц и выпадение их в осадок [16, 17].

Следы металлов, которые могут присутствовать в готовых напитках, могут выступать в качестве катализаторов окислительных процессов. Для железа это количество составляет 5 мг/дм³, меди — 1 мг/дм³, олова — 0,1 мг/дм³. Именно эти металлы могут приводить к образованию активного кислорода и как следствие ускорения процессов окисления.

Суммируя все выше изложенное, можно сделать вывод, что основная роль в формировании коллоидного помутнения принадлежит белкам и полифенолам [18].

Полифенолы — это активные метаболиты клеточного дыхания, фотосинтеза и роста, которые также отвечают за формирование у растений устойчивости к инфекционным заболеваниям. Наиболее известно устаревшее тривиальное название этих веществ — танины или дубильные вещества, сейчас общепринятым названием является «полифенолы». 80 % полифенолов поступают в напитки из солода и растительных материалов, на основе которых они изготавливаются. К примеру, в зерне эти вещества находятся в алейроновых агломератах и при помоле, поступают в состав крупки.

Общепринятой является классификация полифенольных соединений по количеству ароматических колец. Выделяют три основные группы: с одним, двумя ароматическими кольцами и полимерные соединения [19-21].

Соединения с одним ароматическим кольцом подразделяются на: простые фенолы (C_6); фенолкарбоновые кислоты; кумарины и оксикоричные кислоты ($C_6 - C_3$).

К простым фенолам относятся пирокатехин (1,2-диоксибензол), резорцин (1,3-диоксибензол), гидрохинон (1,4-диоксибензол), флюороглюцин (1,3,5-триоксибензол), оксигидрохинон (1,3,4-триоксибензол), пирогаллол (1,2,3-триоксибензол).

Фенолкарбоновые кислоты — это протокатеховая, галловая, ванилиновая, *n*-оксибензойная и сиреневая. Как правило в растворе они присутствуют в связанном с другими веществами виде. К представителям оксикоричных кислот можно отнести хлорогеновую кислоту.

Кумарины (производные коричной (кумариновой) кислоты) придают напиткам запах свежескошенной травы и играют роль ингибиторов при проращивании ячменя. При декарбоксилировании кумариновой и феруловой кислот, которое осуществляют дрожжи *Saccharomyces cerevisiae*, происходит образование 4-этилгваякола и 4-винилгваякола. Данные соединения придают пиву фенольный привкус [22].

Тремя типами соединений представлены полифенолы с двумя ароматическими кольцами: флавоноиды; изофлавоноиды; ротеноиды.

Молекулы флавоноидов содержат одно гетероциклическое кислородосодержащее пирановое или пириновое кольцо и два бензольных кольца. Изофлавоноид — фенольная группа присоединяется к третьему атому углерода.

В свою очередь флавоноиды по степени окисленности (или восстановленности) гетероциклического фрагмента делятся на шесть основных подгрупп: катехины; лейкоантоцианы; флавоны; флаванолы; флаваноны; антоцианы.

Также к флаваноидам относятся халконы, дигидрохалконы и ауроны.

Большое разнообразие флавоноидов достигается за счет радикалов $-OH$, $-OCH_3$, $-CH_3$ присоединенных в разных положениях в ароматических кольцах [23, 24]. К группе часто встречающихся полифенолов в солоде и ячмене относятся катехины, это наиболее восстановленная группа флавоноидов, эти вещества склонны к полимеризации и окислению путем аутооксидации и ферментативного окисления при помощи оксидоредуктаз. В результате образуется флорафен — вещество красного цвета, повышающее цветность сула и пива. Ещё одной широко представленной группой полифенолов являются лейкоантоцианы. При кислотной обработке легко переходят в окрашенные антоцианидины. К ним относятся антоцианогены — природные красители плодов и лепестков растений. Ячмень является единственным злаком, содержащим антоцианогены. Антоцианы — красящие вещества, также содержащиеся в растениях. Окрашивают плоды, листья, лепестки цветов и т.д..

К полимерным фенольным соединениям относятся: лигнин; дубильные вещества; меланины.

Тестин также относится к фенольным соединениям, он состоит из белка и дубильных веществ. Когда концентрация тестина в пиве превышает 0,1%, происходит ухудшение вкуса и изменение цвета пива [25-29].

Суммируя все выше сказанное, можно заключить, что полифенольный спектр пива и напитков брожения очень широк. Содержание полифенолов в растительном сырье, из которого изготавливаются напитки брожения и пиво, колеблется от 0,1 до 0,3% и находится в прямой зависимости от сорта, климатических условий, степени зрелости. Чтобы избежать полифенольных помутнений, необходимо проводить мероприятия по удалению этих веществ из напитков. Это может быть обработка желатином, нейлоном (полиамидом), поливинилпирролидоном (ПВП), поливиниловым спиртом, метилцеллюлозой, формальдегидом, а также использованием холода и горячего розлива. Однако все эти методы достаточно дорогостоящие, а некоторые малоэффективны, поэтому разработка новых сорбирующих материалов, которые обладали бы хорошим сродством к полифенолам, является актуальной задачей. Нами были проведены исследования на модельных растворах по изучению сорбирующего потенциала хитозана, кизельгура и комбинированного сорбента (из смеси этих двух веществ 90 % кизельгура и 10 % хитозана) по отношению к танину, как классическому представителю полифенолов.

Хитозан — это производное хитина, который встречается в панцирях ракообразных, клеточных стенках грибов и кутикуле насекомых. Хитозан используемый в нашем эксперименте был получен

из биомассы мицелиального гриба *Aspergillus niger*, выращиваемого в ходе глубинного культивирования на свекловичной мелассе (ОАО «Скидельский сахарный комбинат»).

Объект исследования — процесс сорбции танина.

Цель исследования — разработка рецептуры комбинированного сорбента на основе хитозана и кизельгура, определение его сорбционных способностей по отношению к полифенолам (на примере танина).

Материалы и методы исследования. Для определения концентрации танина до и после сорбции использовали метод Еруманиса [30].

Принцип метода заключается в реакции танина с лимоннокислым железом в щелочной среде, в результате чего образуется окрашенное соединение. В ходе исследования измеряется оптическая плотность раствора на спектрофотометре в основном опыте и в двух контролях.

Концентрацию танина в растворе после сорбции определяли каждые 30 минут, чтобы установить оптимальную экспозицию для каждого сорбента. Концентрация раствора танина, в который вносили сорбент, составляла 294 мг/л, что соответствует среднему содержанию полифенолов в светлом лагерном пиве. Количество сорбента, добавляемого в раствор, составляет 0,05 г на 100 мл. Содержание полифенолов (мг/дм³) рассчитывали по формуле (1):

$$X = [A - (B + C)] * 820 \quad (1)$$

где А — оптическая плотность раствора в основном опыте; В — оптическая плотность в контроле 1 (0,047); С — оптическая плотность в контроле 2 (0,016); 820 — коэффициент пересчета на полифенолы.

Результаты исследования и их обсуждение. В ходе исследования было установлено, что максимальная сорбция танина хитозаном происходила уже на 30 минутах экспозиции и составляла 242,5±0,02 мг танина на 1 г хитозана. При этом хитозан прочно удерживал полифенол, повышения концентрации не наблюдалось даже после 2 часов экспозиции (табл. 1).

Таблица 1. Результаты исследования сорбции танина хитозаном
Table 1. Results of the study tannin sorption with chitosan

Экспозиция, мин	Сорбция танина, мг танина/1 г сорбента
30	242,5±0,02
60	242,5±0,01
90	242,5±0,02
120	242,5±0,03

Результаты исследования сорбции танина кизельгуром представлены в табл. 2, максимальная сорбция танина составила 58,4±0,01 мг на 1 г сорбента, что в 4 раза меньше по сравнению с хитозаном, а экспозиция составила 120 минут.

Таблица 2. Результаты исследования сорбции танина кизельгуром
Table 2. Results of the study tannin sorption with kieselguhr

Экспозиция, мин	Сорбция танина, мг танина/1 г сорбента
30	54,8±0,01
60	52,5±0,02
90	51,2±0,02
120	58,4±0,01

Опыт показал, что комбинированный материал на основе кизельгура и хитозана (в соотношении 90% и 10% соответственно) сорбирует 147,2±0,02 мг танина на 1 г сорбента, при нахождении сорбента в растворе 30–60 минут, что составляет 50 % от всего танина в растворе (табл. 3).

Таблица 3. Результаты исследования сорбции танина комбинированным сорбентом
Table 3. Results of the study of tannin sorption by a combined sorbent

Экспозиция, мин	Сорбция танина, мг танина/1 г сорбента
30	122,3±0,01
60	147,2±0,02
90	54,6±0,02
120	54,3±0,01

Полученные данные дают основания полагать, что наилучшими сорбирующими способностями по отношению к полифенолам обладают хитозан и комбинированный сорбент. Для уточнения полученных результатов и внедрения данных вспомогательных материалов в технологию напитков брожения необходимо проведение дальнейших исследований на образцах напитков брожения и пива с разных технологических стадий производства. Исследования в этой области позволят решить проблему коллоидной мутности, повысит сроки хранения и реализации готовых напитков брожения и пива, а также предоставят возможность разработки вспомогательного материала на основе отечественного сырья.

Список использованных источников

1. *Цугкиев, Б. Г.* Влияние белка в солоде на качество пива / Б.Г. Цугкиева, А.В. Кожухова. — Пиво и напитки. — 2007. — № 2. — С. 22–23.
2. *Дедегкаев, А. Т.* Коллоидные помутнения в пиве. Причины их возникновения / А.Т. Дедегкаев // Индустрия напитков. — 2005. — №2. — С.20–26.
3. *Дедегкаев, А. Т.* Исследование влияние предфильтрационных процессов на мутность пива / А.Т. Дедегкаев, Д.В. Афонин, Т.В. Меледина // Индустрия напитков. — 2006. — №2. — С.36–39.
4. *Кручко, Е. К.* Технологические факторы повышению стабильности пива / Е. К. Кручко // Вестник Владикавказского научного центра. — 2005. — № 5 (2). — С. 51–55.
5. *Меледина, Т. В.* Сырье и вспомогательные материалы в пивоварении / Т.В. Меледина. — СПб.: Профессия, 2003. — 304 с.
6. *Андреева, О. В.* Осадки в пиве: атлас частиц, которые могут быть обнаружены в розлитом пиве / О.В. Андреева, Е.Т. Шувалова. — М.: МИЦ Пиво и напитки XXI век, 2004. — 115 с.
7. *Сергеева, И. Ю.* Классификация стабилизирующих средств, используемых в индустрии напитков / И.Ю. Сергеева // Техника и технология пищевых производств. — 2013. — №4 (31). — С. 78–86.
8. *Климов, Е. С.* Природные сорбенты и комплексоны в очистке сточных вод / Е. С. Климов, М. В. Бузаева. — Ульяновск : УлГТУ, 2011. — 201 с.
9. *Ермолаева, Г.А.* Технология и оборудование производства пива и безалкогольных напитков / Г.А. Ермолаева, Р.А. Колчева. — М.: ИРПО; Изд. Центр «Академия», 2000. — 416 с.
10. *Даниловцева, А. Б.* Влияние содержания высокомолекулярных соединений на технологические параметры производства пива/ А.Б. Даниловцева, И.В. Царева // Пиво и напитки — 2005. — №2. — С. 32–36.
11. *Гора, Н. В.* Формирование качества пива путем регулирования полифенольного состава пивного суслу методом адсорбции: дисс. на соиск. уч. ст. канд. техн. наук, Кемерово. — 2015. — 137 с.
12. *Перетрутов, А. А.* Влияние солей жесткости воды на затирание солода и промывку солодовой дробины в производстве пива / А.А. Перетрутов, Г.В. Пастухова, С.В. Просвирина, и др. // Technical sciences. Int. J. of applied and fundamental research. — 2016. — № 12. — С. 224–228.
13. *Покровская, Н. В.* Биологическая и коллоидная стойкость пива / Н.В. Покровская, Я.Д. Кадагер. — М.: Пищевая промышленность, 1987. — 273 с.
14. *Сергеева, И. Ю.* Совершенствование коллоидной стабилизации напитков / И.Ю. Сергеева, В.А. Помозова, Е.А. Вечтомова // Международная научно-практическая конференция «Фундаментальная наука и технологии — перспективные разработки» / Fundamental science and technology — promising developments: материалы конференции, Москва, 22-23 мая 2013 г.- М., 2013. — Т. 1. — С. 210–212.
15. *Нарцисс, Л.* Технология приготовления суслу / Л. Нарцисс // М.: НПО «Элевар. — 2003. — 368 с.
16. *Бесендерфер, Г.* Вклад в увеличение стабильности вкуса пива / Г. Бесендерфер. Б. Биркеншток, Р. Талакер // Brauwelt. Мир пива, 2002. — № 2. — 10 с.
17. *Просеков, А.Ю.* Влияние технологической обработки продовольственного сырья на эффективность видовой идентификации / А.Ю. Просеков, Ю.В. Голубцова, К.А. Шевякова // Пищевая промышленность. — 2014. — №6. — С. 8–10.
18. *Bible, C.* Enzymes in the brewing process / C. Bible // Zymurgy. — 2012. — № 4. — P. 53–56.
19. *Huo, L.* Antioxidant activity, total phenolic, and total flavonoid of extracts from the stems of *Jasminum nervosum* Lour / L. Huo, R. Lu, P. Li, Y. Liao, P. Chen, Ch. Deng, Ch. Lu, X. Wei, Y. Li // Grasas y aceites. — 2011. — № 2. — P. 149–154.
20. *Oliveira, C.M.* Oxidation mechanisms occurring in wines / C.M. Oliveira, A.C. Ferreira, V. De Freitas, M.S. Silva Artur // Food Res.Int. — 2011. — № 5. — P. 1115–1126.

21. Унрод, В.И. Хитин- и хитозансодержащие комплексы из мицелиальных грибов: получение, свойства и применение / В.И. Унрод, Т.В. Солодовник // Биополимеры и клетка. — 2001. — Т. 17. — №6. — С. 526–533.
22. Сергеева, И. Ю. Применение хитозана для стабилизации коллоидной системы напитков / И. Ю. Сергеева // Техника и технология пищевых производств. — 2014. — №1 (32). — С. 84–89.
23. Гальбрайт, Л. С. Хитин и хитозан: строение, свойства, применение / Л. С. Гальбрайт // Соровский образовательный журнал. — 2001. — Т. 7, № 1. — С. 51–56.
24. Тарановская, Е. С. Сорбционные материалы на основе хитозана для очистки стоков от ионов тяжелых металлов / Е. С. Тарановская // Экология и промышленность России. — 2016. — № 20 (5). — С 34–39.
25. Пьер, А. Способ приготовления жидкости, содержащей белки, для последующего отделения посредством использования одного или более агента, образующего с белком комплекс / А. Пьер, П. Хаселарс, Ф. Янссенс // Патент RU 2375426, Россия, заявка 27.06.2008 Бюл. № 18
26. Урьев, Н. Б. Пищевые дисперсные системы / Н.Б. Урьев, М.А. Талейсник. — М.: Агропромиздат, 1985. — 296 с.
27. Фертман, Г. И. Справочник для работников лабораторий пивоваренных заводов / Г.И. Фертман, Л.В. Муравицкая // М.: Легкая и пищевая промышленность. — 1982. — 29 с.
28. Зимон, А. Д. Коллоидная химия / А.Д. Зимон, Н.Ф. Лещенко. — 3-е изд., доп. и испр. — М.: АГАР, 2001. — 320 с.
29. Гельфман, М. И. Коллоидная химия / М.И. Гельфман, О.В. Ковалевич, В.П. Юстратов. — 4-е изд., стер. — СПб.: Издательство «Лань», 2008. — 336 с.
30. Визнер, Э. Идентификация помутнения пива (часть I) / Э. Визнер, М. Гастл, Т. Бейкер // Мир пива. — 2012. — № 1. — С. 17–21.

Информация об авторах

Трусова Мария Михайловна — аспирант РУП «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по продовольствию» (220037, Республика Беларусь, г. Минск, ул. Козлова, 29). E-mail: brui.92@mail.ru

Камедько Татьяна Николаевна — заведующий кафедрой плодоовощеводства УО «Белорусская государственная сельскохозяйственная академия» (213407, Республика Беларусь, Могилевская область, г. Горки, ул. Мичурина, 5). E-mail: plodfac@gmail.com

Павлова Оксана Валерьевна — кандидат технических наук, доцент, заместитель декана по научной работе УО «Гродненский государственный университет им. Я. Купалы» (230029, Республика Беларусь, г. Гродно, ул. Доватора, 3/1). E-mail: pavlova@grsu.by

Information about authors

Trusova Maria Mikhailovna — post-graduate student of RUE «Scientific and practical center of the National Academy of Sciences of Belarus for food» (29 Kozlova str., 220037, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: brui.92@mail.ru

Kamedy Tatiana Nikolaevna — Head. Department of Horticulture UO BSAA (Republic of Belarus, Mogilev region, Gorki, Michurina st., 5, 213407). E-mail: plodfac@gmail.com

Pavlova Oksana Valeryevna — PhD (Engineering), Associate Professor, Deputy Dean for Scientific Work of the Grodno State University named after Y. Kupala (Dovatorst., 3/1, room 121 a, 230029, Grodno, Republic of Belarus). E-mail: pavlova@grsu.by