

**Роман Алексеевич Ворошилин**

Кемеровский государственный университет, старший преподаватель кафедры технологии продуктов питания животного происхождения, кандидат технических наук, Кемерово, Россия

E-mail: rom.vr.22@mail.ru

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ БАРОМЕМБРАННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ  
НА ПРОЦЕСС ПРОИЗВОДСТВА ЖЕЛАТИНА**

*Цель исследования – изучение влияния условий эксплуатации ультрафильтрационных мембран на концентрационные характеристики растворов желатина. Задачи исследования – дать характеристику используемой ультрафильтрационной установке; установить рабочие параметры для проведения ультрафильтрации желатиновых бульонов; исследовать влияние процесса ультрафильтрации на физико-химические показатели желатинового бульона и продуктов его фильтрации. Экспериментальные исследования проводились на базе НИИ Биотехнологии Кемеровского государственного университета (г. Кемерово). Объектом исследования являлся желатиновый бульон. В экспериментальных исследованиях использовали лабораторную ультрафильтрационную установку МФУ-Р-45-300 (Россия). Установка оснащена тремя фильтрационными аппаратами, укомплектованными полимерными фильтрационными рулонными элементами ультрафильтрации с размерами пор от 5 до 100 кДа, что позволяет получить белковый концентрат с высокой молекулярной массой. Контролируемое давление находилось в пределах 3,0 Бар, с перепадом в напорном и возвратном коллекторе не более 0,2–0,5 кгс/см<sup>2</sup>. Содержание белка определяли на анализаторе общего азота (белка) RAPID N ELEMENTAR, работающего по методу Дюма – сжигание пробы с регистрацией общего азота на детекторе теплопроводности. Определение содержания сухих веществ производили на рефрактометре ИРФ-454Б2М. Пробу предварительно разбавляли водой. Результат умножали на коэффициент разведения. Концентрацию ионов водорода (величину рН) определяли экспресс-методом с помощью рН-метра модели Testo 206-pH2. Определяли физико-химические показатели желатинового бульона и полученных в ходе фильтрации продуктов (пермеат и ретентат). Ультрафильтрация желатинового бульона полимерными мембранами позволила сконцентрировать раствор по отношению к белкам контрольного образца (исходного желатинового бульона) на 61,97 %, по отношению к сухим веществам – на 62,88 %. Полученные результаты свидетельствуют об эффективности применения баромембранных технологий, в том числе ультрафильтрационных методов, в технологических процессах при производстве желатина. Ультрафильтрационные установки предлагается использовать на этапе концентрирования желатиновых бульонов с целью ресурсо- и энергосбережения.*

**Ключевые слова:** баромембранные технологии, ультрафильтрация, желатин, концентрирование, белок.

**Roman A. Voroshilin**

Kemerovo State University, Senior Lecturer, Department of Animal Food Technology, candidate of technical sciences, Kemerovo, Russia

E-mail: rom.vr.22@mail.ru

**STUDY OF THE BAROMEMBRANE TECHNOLOGIES EFFECT ON THE PROCESS  
OF GELATINE PRODUCTION**

*The aim of research is to study the operating conditions of ultrafiltration membranes effect on the concentration characteristics of gelatin solutions. Research objectives are to characterize the used ultrafiltra-*

tion plant; to set operating parameters for ultrafiltration of gelatin broths; to investigate the influence of the ultrafiltration process on the physicochemical parameters of gelatin broth and its filtration products. Experimental studies were carried out on the basis of the Research Institute of Biotechnology at the Kemerovo State University (Kemerovo). The object of the study was gelatin broth. In experimental studies, a laboratory ultrafiltration unit MFU-R-45-300 (Russia) was used. The unit is equipped with three filtration devices equipped with ultrafiltration polymer filtration roll elements with pore sizes from 5 to 100 kDa, which makes it possible to obtain a protein concentrate with a high molecular weight. The controlled pressure was within 3.0 Bar, with a difference in the pressure and return manifolds of no more than 0.2-0.5 kgf/cm<sup>2</sup>. The protein content was determined on an analyzer of total nitrogen (protein) RAPID N ELEMENTAR, operating according to the Dumas method – combustion of a sample with registration of total nitrogen on a thermal conductivity detector. Determination of the content of dry substances was carried out on an IRF-454B2M refractometer. The sample was preliminarily diluted with water. The result was multiplied by the dilution factor. The concentration of hydrogen ions (pH value) was determined by the express method using a Testo 206-pH2 pH meter. The physicochemical parameters of the gelatin broth and the products obtained during the filtration (permeate and retentate) were determined. Ultrafiltration of the gelatin broth with polymer membranes made it possible to concentrate the solution in relation to the proteins of the control sample (the original gelatin broth) by 61.97 %, in relation to dry substances – by 62.88 %. The results obtained indicate the effectiveness of the use of baromembrane technologies, including ultrafiltration methods, in technological processes in the production of gelatin. It is proposed to use ultrafiltration units at the stage of concentration of gelatin broths in order to save resources and energy.

**Keywords:** baromembrane technologies, ultrafiltration, gelatin, concentration, protein.

**Введение.** В современной науке и практике все чаще используются мембранные процессы. Данная технология способна решать любые задачи по фильтрации, концентрированию и очистке пищевых компонентов. Один из видов мембранных процессов – баромембранная технология, которая используется в разных отраслях, таких как: пищевая, химическая и биотехнологическая промышленность. Одним из перспективных направлений пищевой и биотехнологической отрасли является производство желатина разных марок и категорий. За последнее время в России увеличилось использование мембранных технологий, поэтому рынок мембран плотно закрепился и проходит стадию формирования [1].

Желатин – это водорастворимый белок, имеющий молекулярную массу от 20 до 250 кДа. Желатин получают из кожи и костей животных. Его широко применяют в производстве пищевых продуктов и фармацевтическом производстве. В пищевой промышленности желатин является одним из водорастворимых полимеров, который можно использовать для улучшения стабильности и консистенции пищевых продуктов [2]. Желатин состоит из уникальной последовательности аминокислот. На рисунке 1 представлена химическая структура желатина, которая содержит повторяющиеся последовательности триплетов глицин – X – Y, где X и Y часто представляют собой аминокислоты пролина и гидроксипролина [3].

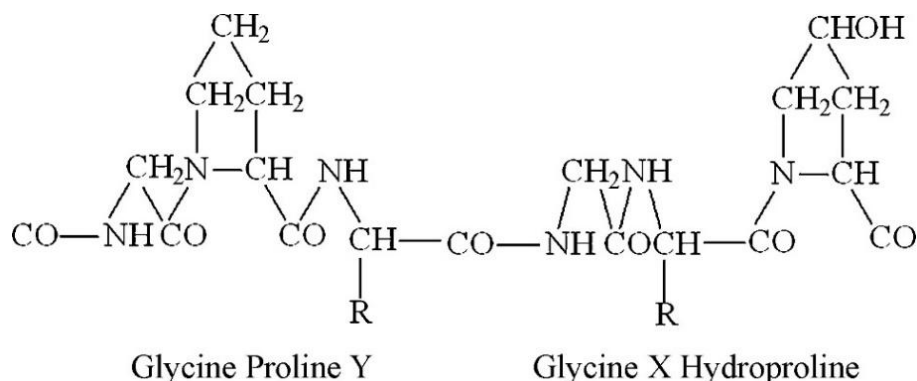


Рис. 1. Химическая структура желатина

Технология производства желатина достаточно сложная и продолжительная по времени. Основные стадии производства могут продолжаться от 15 ч до 12 недель. При этом самым энергозатратным является процесс концентри-

рования желатиновых бульонов, обычно их концентрируют до содержания сухих веществ от 12 до 35 %. На рисунке 2 представлена классическая схема производства желатина [4, 5].

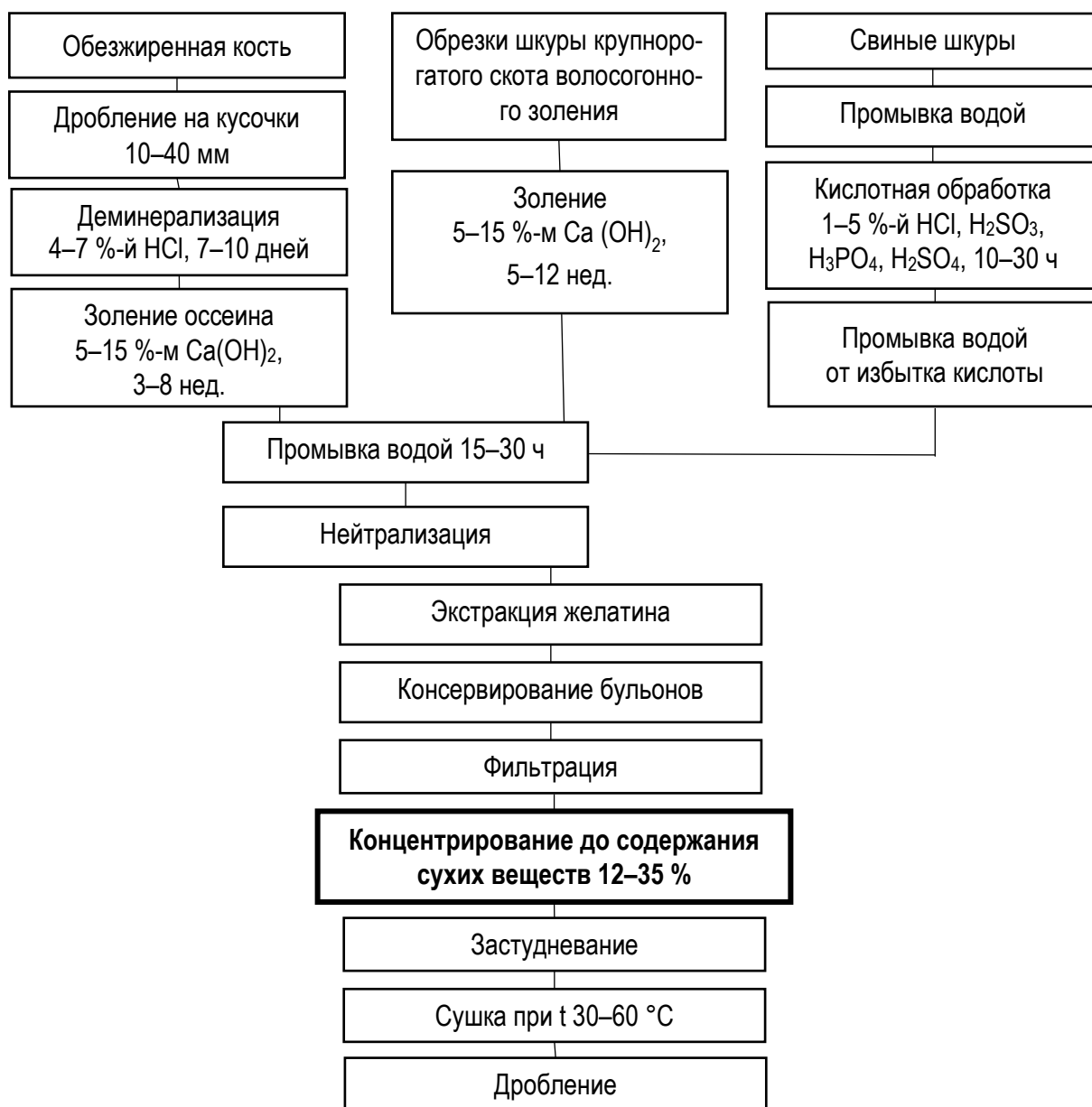


Рис. 2. Классическая схема производства желатина из костного сырья

После стадии экстракции экстрагированные разбавленные растворы желатина концентрируют и фильтруют. Традиционный метод концентрирования – испарение желатиновых бульонов в три стадии: предварительное концентрирование, основное концентрирование и завершающая стадия для высокой концентрации. Традиционный метод имеет некоторые недостатки, такие

как потребление большого количества энергии, выброс углеводородов в атмосферу [6].

При производстве желатина требуются большие тепловые энергозатраты, так как технология производства связана с отделением влаги, поэтому возникла потребность в изучении повышения эффективности производства желатина методом баромембранных технологий [7, 8].

С целью ресурсосбережения предлагается использовать ультрафильтрацию на этапе концентрирования желатиновых бульонов. Ультрафильтрационные установки имеют ряд преимуществ для производства пищевых продуктов, одно из основных – снижение количества вакуум-выпарных аппаратов за счет применения ультрафильтрационных установок, которые в свою очередь удаляют большую часть свободной влаги из желатинового бульона. При всех плюсах имеется и недостаток – высокая стоимость промышленного оборудования для реализации баромембранных технологий на производстве.

**Цель исследования:** изучение влияния условий эксплуатации ультрафильтрационных мембран на концентрационные характеристики растворов желатина.

**Задачи исследования:** дать характеристику используемой ультрафильтрационной установке; установить рабочие параметры для проведения ультрафильтрации желатиновых бульонов; исследовать влияние процесса ультрафильтрации на физико-химические показатели желатинового бульона и продуктов его фильтрации.

**Объекты и методы исследования.** Объектом исследования являлся желатиновый бульон. В экспериментальных исследованиях использовали лабораторную ультрафильтрационную установку МФУ-Р-45-300 (Россия). В качестве фильтрующих элементов использовали полимерные ультрафильтрующие элементы ЭРУ (Россия) в количестве 3 штук. Контролируемое

давление находилось в пределах 3,0 Бар, с перепадом в напорном и возвратном коллекторе не более 0,2–0,5 кгс/см<sup>2</sup>. Содержание белка определяли на анализаторе общего азота (белка) RAPID N ELEMENTAR, работающего по методу Дюма – сжигание пробы с регистрацией общего азота на детекторе теплопроводности. Определение содержания сухих веществ производили на рефрактометре ИРФ-454Б2М. Пробу предварительно разбавляли водой. Результат умножали на коэффициент разведения. Концентрацию ионов водорода (величину рН) определяли экспресс-методом с помощью рН-метра модели Testo 206-pH2.

Экспериментальные исследования проводились на базе НИИ биотехнологии Кемеровского государственного университета. Работа выполнена в рамках гранта Президента РФ по государственной поддержке ведущих научных школ (НШ-2694.2020.4).

**Результаты исследования.** С целью исследования баромембранных технологий в процессе производства желатина использовали ультрафильтрационную установку МФУ-Р-45-300. Данная мембранная фильтрационная система МФУ-Р предназначена для фильтрации различных растворов. Она позволяет получать концентраты или фильтраты растворов, отделяя молекулы различных размеров в зависимости от установленных мембран. Внешний вид ультрафильтрационной установки МФУ-Р-45-300 представлен на рисунке 3.



Рис. 3. Ультрафильтрационная установка МФУ-Р-45-300

Установка оснащена тремя фильтрационными аппаратами, укомплектованными полимерными фильтрационными рулонными элементами ультрафильтрации с размерами пор от 5 до 100 кДа, что позволяет получить белковый концентрат с высокой молекулярной массой. Также установка имеет теплообменник, позволяющий регулировать температуру фильтруемой жидко-

сти. Конструкция позволяет при необходимости производить процесс фильтрации в непрерывном режиме, получая необходимый объем фильтрата или степень концентрации раствора. Технические характеристики ультрафильтрационной установки МФУ-Р-45-300 представлены в таблице.

**Технические характеристики ультрафильтрационной установки МФУ-Р-45-300**

Параметр	Данные
Количество аппаратов разделения, одновременно монтируемых на установке, шт.	1–3
Тип аппарата	АРС-0.25
Количество фильтрационных элементов, шт.	3
Номинальный порог задержания в нанофильтрационном элементе, Да	400
Рабочее давление, Мпа, не более	0,6
Температура рабочей среды, °С, не более	50
рН рабочей среды	2–11
Минимальный удерживаемый объем установки, л	3,0–3,5
Напряжение питания, В	220
Частота тока, Гц	50
Установочная мощность, кВт	1,3
Масса, кг	55
<i>Габаритные размеры, см</i>	
Длина	982
Ширина	420
Высота	1261

Для фильтрации использовали полимерные УФ-мембраны ЭРУ, которые обеспечивают разделение исходного продукта на ретентат (концентрат) и пермеат (фильтрат). В своем составе ретентат имеет белки и незначительное количе-

ство минеральных веществ, которые переходят в него в процессе фильтрации исходного раствора. При этом пермеат в своем составе имеет отфильтрованные соли и минералы [9]. УФ-мембраны представлены на рисунке 4.



*Рис. 4. Полимерные УФ-мембраны ЭРУ*

Принципиальная схема экспериментальной установки УФ для концентрирования раствора желатина представлена на рисунке 5.

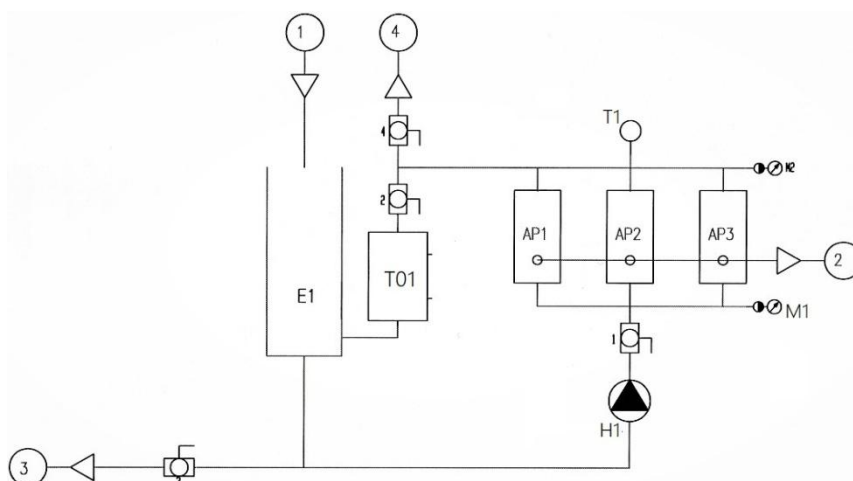


Рис. 5. Принципиальная схема экспериментальной установки УФ для концентрирования раствора желатина:

1 – вход фильтруемой жидкости; 2 – выход фильтрата; 3 – слив концентрата; 4 – выход промывной воды; E1 – приемная емкость; AP – фильтрационный аппарат; H1 – циркуляционный насос; M – манометр; T1 – термометр; T01 – теплообменник

С целью исследования влияния баромембранных технологий на процесс производства желатина в приемную емкость E1 помещали полученный экстракционным методом желатиновый бульон в количестве 10 л. Контролируемое давление находилось в пределах 3,0 Бар, с перепадом в напорном и возвратном коллекторе не более 0,2–0,5 кгс/см<sup>2</sup>.

Для изучения эффективности применения ультрафильтрационного метода концентрирования желатиновых бульонов определяли физико-химические показатели желатинового бульона и полученных в ходе фильтрации продуктов (пермеат и ретентат). Результаты представлены на рисунке 6.

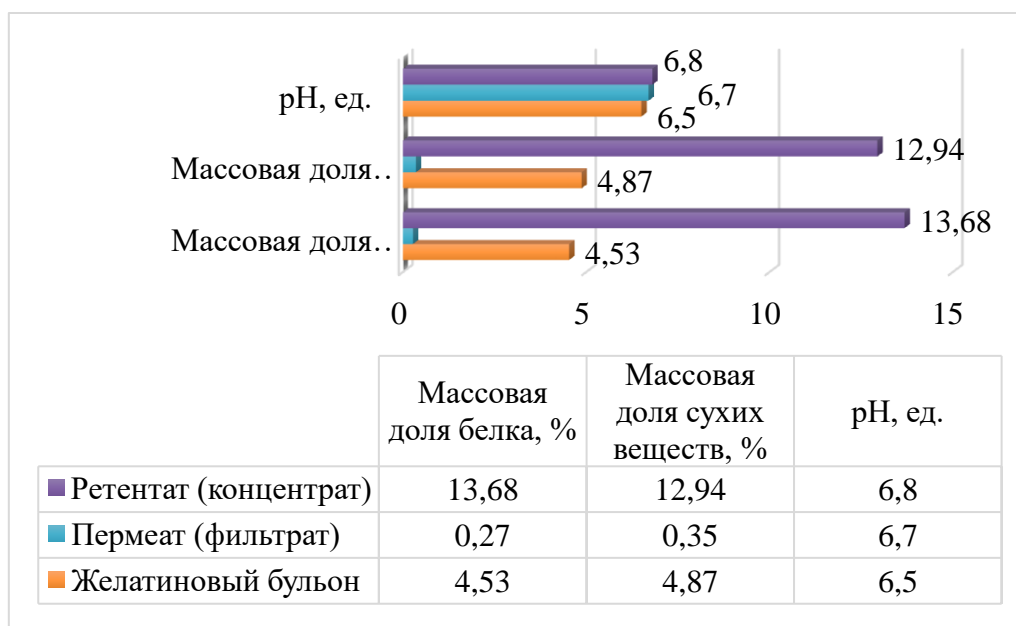


Рис. 6. Физико-химические показатели желатинового бульона и продуктов его фильтрации

По результатам полученных данных можно сделать вывод, что использование ультрафильтрации полимерными мембранами при давлении в пределах 3,0 Бар в процессе концентрирования желатиновых бульонов дало возможность сконцентрировать раствор по отношению к белкам контрольного образца (исходного желатинового бульона) на 61,97 %, по отношению к сухим веществам – на 62,88 %. Полученные результаты свидетельствуют об эффективности применения баромембранных технологий, в том числе ультрафильтрационных методов, в технологических процессах производства желатина. Также можно предположить, что использование рассмотренных методов способствует получению более качественного, высокомолекулярного белка – желатина, который востребован в пищевой и биомедицинской промышленности.

**Выводы.** Таким образом, при использовании баромембранных технологий в процессе производства желатина, а именно в процессе концентрирования на ультрафильтрационной установке МФУ-Р-45-300, оснащенной полимерными фильтрационными рулонными элементами ультрафильтрации с размерами пор от 5 до 100 кДа, при рабочем давлении в пределах 3,0 Бар, с перепадом в напорном и возвратном коллекторе не более 0,2–0,5 кгс/см<sup>2</sup>, удалось сконцентрировать желатиновый раствор по отношению к белкам контрольного образца (исходного желатинового бульона) на 61,97 %, по отношению к сухим веществам – на 62,88 % соответственно. Полученные показатели свидетельствуют о высокой эффективности использования данных технологий в процессе концентрирования желатиновых бульонов.

#### Литература

1. Челноков В.В., Михайлов А.В., Заболотная Е. Всемирный рынок мембранных технологий // Успехи в химии и химической технологии. 2020. № 3. С. 59–61.
2. Козлова О.В., Ворошилин Р.А. Анализ возможности ферментного воздействия на процесс обезжиривания костного сырья в производстве желатина // Актуальные во-

просы науки и техники: проблемы, прогнозы, перспективы: сб. тез. нац. конф. Кемерово, 2019. С. 30.

3. Wang Y., Shi B. Concentration of gelatin solution with polyethersulfone ultrafiltration membranes // Food and Bioproducts Processing. Vol. 89, Issue 3, 2011, PP. 163–169.
4. Джафаров А.Ф. Производство желатина. М.: Агропромиздат, 1990. 287 с.
5. Просеков А.Ю., Ворошилин Р.А. Производство желатина – состояние и перспективы рынка, альтернативные источники, технологии производства // Все о мясе. 2020. № 5S. С. 265.
6. Simon A. et al. Concentration and desalination of fish gelatin by ultrafiltration and continuous diafiltration processes // Desalination. 2002. № 144. PP. 313–318.
7. Производство желатина. Современные технологии производства желатина Gelita и его производных. URL: <https://hay-farm.ru> (дата обращения: 05.12.2020).
8. Sulaiman M., Soottawat B., Thummanoon P. et al. Characteristics and Gel Properties of Gelatin from Goat Skin as Influenced by Alkaline-pretreatment Conditions // Asian-Australasian Journal of Animal Sciences (AJAS). 2016. Vol. 29 (6). PP. 845–854.
9. Евдокимов И.А., Володин Д.Н., Головкина М.В. и др. Обработка молочного сырья мембранными методами // Молочная промышленность. 2012. № 2. С. 34–37.

#### Literatura

1. Chelnokov V.V., Mihaylov A.V., Zabolotnaya E. Vsemirnyy rynek membrannykh tehnologiy // Uspehi v himii i himicheskoy tehnologii. 2020. № 3. S. 59–61.
2. Kozlova O.V., Voroshilin R.A. Analiz vozmozhnosti fermentnogo vozdeystviya na process obezhirivaniya kostnogo syr'ya v proizvodstve zhelatina // Aktual'nye voprosy nauki i tehniki: problemy, prognozy, perspektivy: sb. tez. nac. konf. Kemerovo, 2019. S. 30.
3. Wang Y., Shi B. Concentration of gelatin solution with polyethersulfone ultrafiltration mem-

- branes // Food and Bioproducts Processing. Vol. 89, Issue 3, 2011, PP. 163-169.
4. *Dzhafarov A.F.* Proizvodstvo zhelatina. M.: Agropromizdat, 1990. 287 s.
  5. *Prosekov A.Yu., Voroshilin R.A.* Proizvodstvo zhelatina - sostoyanie i perspektivy rynka, al'ternativnye istochniki, tehnologii proizvodstva // Vse o myase. 2020. № 5S. S. 265.
  6. *Simon A.* et al. Concentration and desalination of fish gelatin by ultrafiltration and continuous diafiltration processes // Desalination. 2002. № 144. PP. 313–318.
  7. Proizvodstvo zhelatina. Sovremennye tehnologii proizvodstva zhelatina Gelita i ego proizvodnyh. URL: <https://hay-farm.ru> (data obrascheniya: 05.12.2020).
  8. *Sulaiman M., Soottawat B., Thummanoon P.* et al. Characteristics and Gel Properties of Gelatin from Goat Skin as Influenced by Alkaline-pretreatment Conditions // Asian-Australasian Journal of Animal Sciences (AJAS). 2016. Vol. 29 (6). PP. 845–854.
  9. *Evdokimov I.A., Volodin D.N., Golovkina M.V.* I dr. Obrabotka molochnogo syr'ya membrannymi metodami // Molochnaya promyshlennost'. 2012. № 2. S. 34–37.

