



ISSN 1029-5151  
ISSN 1029-5143 (online)



**ХИМИЯ  
РАСТИТЕЛЬНОГО  
СЫРЬЯ**

**2 • 2023**

УДК 678.555

## ОПТИМИЗАЦИЯ УСЛОВИЙ ОБРАЗОВАНИЯ СТОЙКОГО ГЕЛЯ ИЗ АГАР-АГАРА

© И.И. Осовская\*, А.Е. Баранова

Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна, Высшая школа технологии и энергетики, ул. Ивана Черных, 4, Санкт-Петербург, 198095 (Россия), e-mail: iraosov@mail.ru

Красные морские водоросли – важное сырье для получения природного гелеобразующего вещества, загустителя и стабилизатора – агар-агара. В работе агар был выделен из высушенных красных морских водорослей рода *Porphyra*. Показаны высокие реологические и гелеобразующие свойства агара. Получена зависимость влияния концентрации раствора агара на гелеобразующую способность. Выявлен интервал концентраций, при которых происходит образование геля (1.0–10.0%). Обоснован выбор оптимальных условий (концентрации, температуры) для получения пленок. Показано влияние пластификатора на качество пленок. Установлена прямая зависимость изменения набухания пленки в воде от времени и температуры – объективных характеристик для их использования в практических целях. Критическая концентрация мицеллообразования агара равна 0.05%. При этой концентрации поверхностная активность агара составляет 27.1 мН·м<sup>2</sup>/кг. Установлено улучшение свойств текстильных материалов, покрытых раствором агара. Показаны проблемы, требующие решения при дальнейших исследованиях.

**Ключевые слова:** красные водоросли, агар-агар, степень набухания, вязкость, студни, гелеобразование, пленкообразование, поверхностное натяжение, растворимость.

### Введение

Морские водоросли, значимость которых сегодня трудно переоценить, издавна привлекали внимание человека. Помимо антибактериальных свойств, благодаря обогащению серебром они оказывают антимикробное и тонизирующее воздействие на организм. Содержащиеся в водорослях аминокислоты, минералы, микроэлементы, полезные жиры и витамины положительно влияют на состояние кожи и здоровье в целом. Изучение морских водорослей является столь изученным, сколь и изучаемым объектом исследования многих ученых как в России, так и за рубежом. Можно отметить множество работ по совершенствованию и удешевлению способов выделения ценных продуктов из бурых, красных, зеленых водорослей, а биологи, медики, пищевики нуждаются в получении еще большего количества биологически активных веществ (БАВ), что возможно при более эффективном освоении морских пространств и создания новых объектов марикультуры [1, 2]. В работах, опубликованных нами ранее, показано, что морские водоросли содержат большое количество БАВ, были выделены полифенольные соединения и альгиновая кислота [3–6].

Морские водоросли являются сырьем для получения одного из ценных веществ – агар-агара. Агар – это высушенный, аморфный, желатиноподобный, неазотистый экстракт из красных морских водорослей, представляющий собой смесь двух компонентов: линейного полисахарида агарозы и гетерогенной смеси более мелких молекул, называемой агаропектином [7–9]. Основная повторяющаяся единица агара состоит из чередующихся 1,3-связанных  $\beta$ -D-галактопиранозы и 1,4-связанных 3,6-ангидро- $\alpha$ -L-галактопиранозы.

Сегодня основными поставщиками агара из красных морских водорослей являются Китай и Индия.

Осовская Ирина Ивановна – кандидат химических наук, доцент, доцент кафедры физической и коллоидной химии, e-mail: iraosov@mail.ru

Баранова Анна Евгеньевна – магистр, e-mail: barya9309@mail.ru

Активно ведутся поиски способов извлечения агара из красных водорослей *Ahnfelta plicata*, произрастающих в Белом море, и *Ahnfelta tobuchiensis* в дальневосточных морях России [10–13]. В

\* Автор, с которым следует вести переписку.

2021 г. в России после 12-летнего перерыва в Сахалинской области возобновил деятельность завод, выпускающий агар. Освоение морских пространств России для извлечения агара и создания новых объектов марикультур из красных водорослей считаем основной проблемой получения отечественного агара.

Агар широко применяется в медицине, является источником энергии, используется в средствах против воспалений, в качестве асептической повязки, перевязочных средств и гидрогелевых покрытий для лечения ожоговых ран [14–16]. В фармакологии применяется для капсулирования лекарственных препаратов. В состав пищевого агара входит комплекс важных витаминов и микроэлементов, а также йод, железо и кальций. В микробиологии используется в приготовлении плотных агаровых гелеобразных сред, применяемых для культивирования и диагностики бактерий. В химии и биохимии применяют в качестве специального носителя для гель-хроматографии и гелевого электрофореза [17, 18].

Цель данного исследования – выделение агара из красных морских водорослей, изучение гелеобразующих и пленкообразующих свойств агара для его научно обоснованного, эффективного использования.

### *Экспериментальная часть*

*Выделение агара.* Агар был выделен из цельной сушено-прессованной морской водоросли рода *Porphyra*. Водоросли промывали водой, для установления слабокислой среды  $\text{pH}=6$ , добавляли 0.1 н  $\text{HCl}$ . При более низком значении  $\text{pH}$  происходит деструкция агара, а при повышении  $\text{pH}$  начинается процесс модификации агара [19]. Экстрагирование проводили в аппарате Сокслета при температуре 100 °С в течение 3 ч, осадок отделяют фильтрацией под вакуумом, а горячий экстракт центрифугировали, охлаждали при 25 °С в течение 60 мин. Образовавшийся студень для эффективной промывки водой разрезали на кусочки 30×15 мм и обезвоживали сушкой при 80 °С.

Для характеристики физико-химических и коллоидно-химических свойств использовали методы вискозиметрии, равновесной сорбции паров воды и  $\text{pH}$ -метрии. Определение кинематической вязкости проводили с помощью вискозиметра ВПЖ-2 (диаметр капилляра – 0.54 мм, константа вискозиметра – 0.03 мм·с). Удельную вязкость рассчитывали как относительный прирост вязкости из-за введения в растворитель полимера. Водородный показатель  $\text{pH}$  регулировали 0.1 н раствором  $\text{NaOH}$  и 0.1 н раствором  $\text{HCl}$ . Определение  $\text{pH}$  растворов определяли с помощью лабораторного иономера И-160МИ с точностью  $\pm 0.01$  ед. $\text{pH}$ .

Поверхностное натяжение измеряли методом тензиометрии на приборе Дю-Нуи.

Определение вязкости и поверхностного натяжения проводили при температуре 25 °С, постоянство которой обеспечивали использованием термостата.

Определение сорбции паров воды агар-агара. В предварительно взвешенные на аналитических весах бюксы отбирали навеску агара массой 1.0 г, помещали в эксикатор и сушили до равновесного состояния сорбции в течение 5 суток.

Образование геля для изучения набухания. Была установлена температура растворения агар-агара, которая составила 85 °С. Полноту растворения контролировали по отсутствию набухших частиц полимера на стенках колбы при ее наклоне. Полученный раствор охлаждали при температуре 25 °С до образования геля и застудневания.

Набухание агара. В работе исследовано набухание выделенного агара. Готовили растворы агара с концентрацией 1.0; 2.0; 3.0%. Температура образования студней составила 25 °С. Из образовавшихся студней вырезали образцы прямоугольной формы, одинаковые по толщине. Время набухания образцов – от 15 до 600 мин. Степень набухания определяли весовым методом через равные промежутки времени, каждые 30 мин. Результаты измерений получены из 3 параллельных опытов.

Получение пленок. Для получения пленок 25 мл 1.0%-ого раствора с добавлением пластификатора (глицерина и/или этиленгликоля) в расчете 7.0% на абсолютно сухую навеску агара, наливали в форму из фторопласта объемом 25 мл. Образующиеся пузырьки воздуха удаляли прокалыванием. Раствор оставляли на воздухе на 48 ч для удаления растворителя и образования пленки.

Определение ударопрочности пленок. Impact Tester используется для измерения ударопрочности покрытий. По ГОСТу измеряли ударную прочность методом свободнопадающего груза для пленок полимерных [20].

Получение покрытий. В качестве материалов использовали искусственную кожу, сукно ткани и лист упаковочной бумаги. Покрытие наносили пульверизатором типа Fubag SN-111. Покрытые раствором образцы сушились на воздухе в течение 24 ч.

Для изучения воздействия растворов агара в качестве покрытий материалов измеряли блеск ткани и жиростойкость бумаги. Блеск является визуальным восприятием поверхности покрытия. Принцип определения блеска основан на измерении направленно отраженного пучка света. Интенсивность этого пучка света измеряют в определенном угловом поле. После настройки блескомера проводят шесть измерений блеска испытуемых покрытий, располагая их в разных положениях, но обязательно параллельно направлению нанесения материала. Блеск покрытий определяется с помощью фотоблескомера ВУК-60. Минимальные размеры поверхности покрытий для замера блеска – 40×60 мм. Замеры производят на горизонтальной поверхности. Величину блеска образца определяют на различных участках его поверхности [21]. За результат испытания принимают среднее арифметическое значение трех определений, расхождения между которыми не должны превышать 2.0%. Результаты измерений показали изменение блеска покрытий с 53% для необработанного материала до 77% для материала, обработанного 1.0% раствором агара.

Влияние раствора агара, нанесенного на поверхность бумаги, для улучшения жиростойкости определяли по ГОСТу [22]. Этот метод предназначен для установления уровня жиростойкости путем определения отталкивающей способности поверхности и/или капиллярных свойств бумаги, пропитанных на поверхности раствором агара. Готовят серию растворов, называемых баллами Кита, состоящих из касторового масла и двух растворителей. Различная степень разбавления масла растворителями обеспечивает различную степень «агрессивности» и, следовательно, различный балл Кита для применяемого раствора. Каплю такого раствора наносят на поверхность бумаги или картона и определяют конечную точку, устанавливая, какой из растворов первым вызовет смачивание, выраженное в потемнении поверхности бумаги. Эту процедуру продолжают, пока не будет определен раствор с самым высоким номером, при котором конечная точка не достигается (т.е. поверхность не темнеет). Номер этого испытательного раствора является баллом Кита для испытуемого образца.

### *Обсуждение результатов*

В работе мы ставили задачу изучить агар из сухих красных морских водорослей. Были исследованы основные показатели агара. Полученный после сушки агар имел влажность 14.5%, зольность – 5.0%, массовая доля веществ, нерастворимых в горячей воде, составила 0.5%, что соответствовало нормативным документам для агара [23]. Сорбция паров воды агар-агара из 3 параллельных опытов – 0.300 г H<sub>2</sub>O/г а.с. агара.

Степень набухания определяли весовым методом, описанным в экспериментальной части. Полученные результаты представлены на рисунке 1. Как видно из графиков, приведенных на рисунке 1, для агара характерно неограниченное набухание, которое типично для большинства белков и полисахаридов, макромолекулы которых легко и быстро переходят в раствор. Как следует из рисунка 1, максимум набухания находится в области от 80 до 105% в зависимости от концентрации раствора при времени набухания 120 мин. При времени более 120 мин превалирует процесс растворения.

Выбор концентрации раствора полимера для определения вязкости основывался на многочисленных данных о концентрации агара [24–26]. При концентрации 1.0% исследовали влияние pH среды на вязкость раствора агара. Результаты измерений показаны на рисунке 2. Как следует из рисунка, с увеличением значения pH значение вязкости раствора агара сначала повышается, а затем уменьшается и достигает наименьшей вязкости при pH=7.

На рисунке 3 представлена зависимость времени гелеобразования растворов агара при различных концентрациях (по методике на пред. стр.). Как следует из рисунка 3, при повышении концентрации растворов агара наблюдается плавное уменьшение времени гелеобразования. На рисунке показаны верхние и нижние концентрации гелеобразования. При 0.5% растворы агара, вследствие недостаточной концентрации, не образуют устойчивых связей между молекулами полимера, для концентрации вблизи 0.8% возможно существование двух фаз: полимер-полимер и полимер-вода, одна из которых разрушается при повышенных температурах. Повышение концентрации от 1.0–10.0% агар-агара создает условия для более устойчивого межмолекулярного взаимодействия, что способствует переходу раствора полимера в структурно более однородную систему. Следовательно, образование геля происходит в интервале концентраций агар-агара 1.0–10.0%. При концентрации ниже 1.0% и выше 10.0% гелеобразование отсутствует. При концентрации выше 10.0% наблюдается потеря текучести.

На основании исследований гелеобразующей способности агара в широком диапазоне концентраций, был выбран 1.0% раствор, обеспечивающей устойчивое гелеобразование для получения пленок. Добавление

пластификатора приводит к улучшению эластичности пленок. Предварительные опыты показали понижение пластифицирующего эффекта в области концентрации глицерина меньше 7.0%. Дальнейшее увеличение концентрации нецелесообразно и может привести к снижению прочности пленки.

На приборе Impact Tester 807 определена прочность пленок из 1.0% раствора агара. Испытание проводили при температуре 25 °С и относительной влажности воздуха 55%. В экспериментальной части имеется методика определения прочности пленок на этом приборе. На пленку падал груз массой, равной 1 кг с высоты 1 м. Испытание показало – удар выдержала пленка, полученная из 1.0% раствора агара с добавлением пластификатора в количестве 7.0%. Пленки, полученные из агара с добавлением пластификатора с концентрацией более или менее 7.0%, испытание на прочность не выдержали.

Были получены данные по изменению массы пленки в воде от времени набухания, рассчитана степень набухания. Полученная зависимость характеризует ограниченное набухание в воде пленки на основе 1.0% агара при температуре 25 °С. На рисунке 4 показана зависимость степени набухания пленки в воде при различных температурах. Как следует из рисунка, максимальная степень набухания характерна для агара при 60 °С и по мере увеличения температуры степень набухания уменьшается. При повышении температуры выше 60 °С с увеличением продолжительности процесса наблюдается полное растворение пленки в воде, обусловленное термодеструкцией макромолекул (рис. 5).

Важным показателем для пленкообразующих веществ являются их коллоидно-химические свойства. Изучение поверхностных свойств агара проводилось методом тензиометрии Дю-Нуи при температуре 25 °С, при которой поверхностное натяжение воды ( $\sigma$ ) равно 71.97 мН/м. На основании полученных экспериментальных данных была построена зависимость поверхностного натяжения от концентрации растворов (рис. 6).

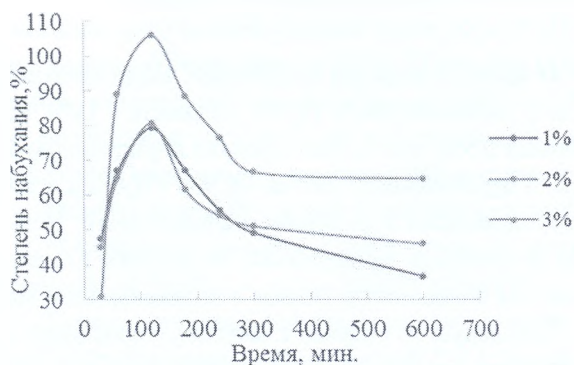


Рис. 1. Зависимость набухания агара от времени при комнатной температуре

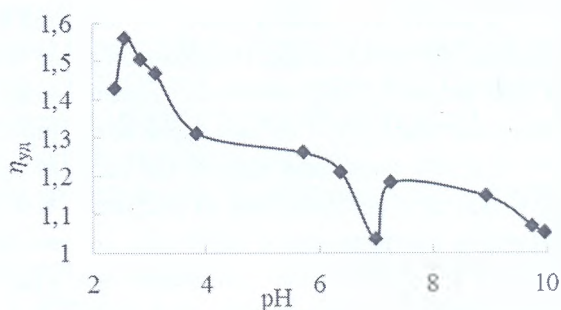


Рис. 2. Зависимость вязкости 0.1%-ого раствора агара от pH среды при 25 °С

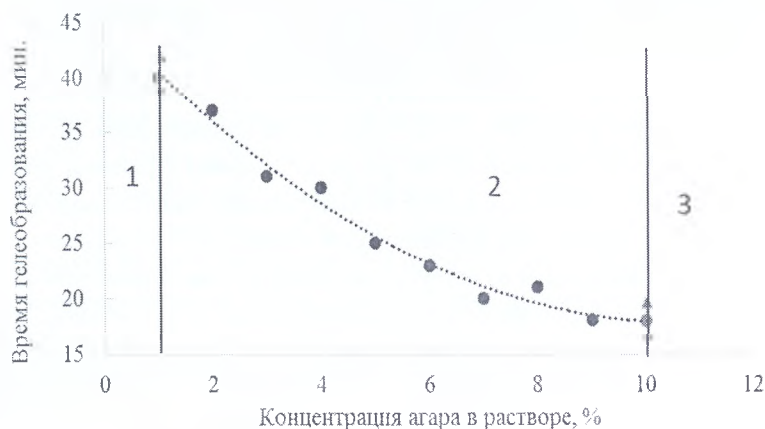


Рис. 3. Зависимость времени гелеобразования от концентрации агара в растворе при температуре 25 °С

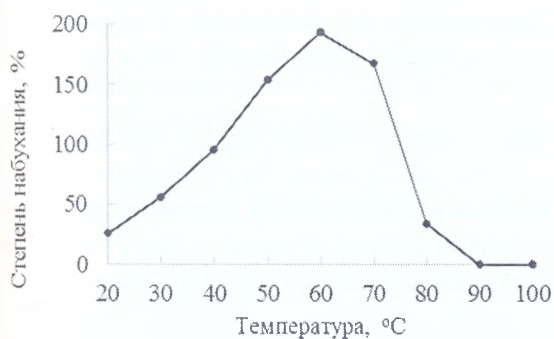


Рис. 4. Зависимость степени набухания пленки от различной температуры

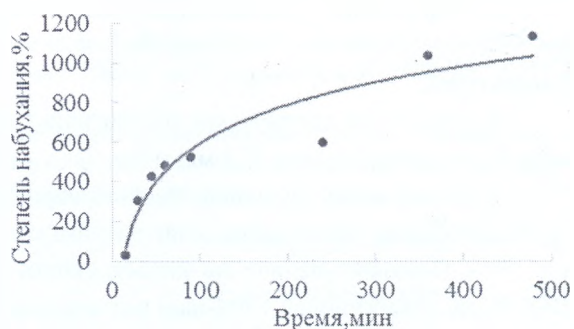


Рис. 5. Зависимость степени набухания 1.0% агара от продолжительности набухания

Для агара поверхностное натяжение при концентрации от 0.05% остается постоянным, это связано с ассоциацией частиц с образованием мицелл, таким образом, критическая концентрация мицеллообразования (ККМ) агара равна 0.05%. Из ККМ рассчитывали поверхностную активность по формуле

$$G = \frac{\sigma_0 - \sigma_{\text{ККМ}}}{C_{\text{ККМ}}},$$

где  $\sigma_0$  – поверхностное натяжение на границе с воздухом, мН/м;  $\sigma_{\text{ККМ}}$  – поверхностное натяжение растворов ПАВ на границе с воздухом при ККМ, мН/м;  $C_{\text{ККМ}}$  – критическая концентрация мицеллообразования, г/л.

При ККМ поверхностная активность агара составляет 27.1 мН·м<sup>2</sup>/кг [27]. Наличие поверхностной активности агара позволяет использовать его в качестве связующего в разного рода композициях.

При концентрации 1.0%, обеспечивающей устойчивое гелеобразование, получали покрытия на поверхности материалов. Визуально покрытия имели ровную поверхность без трещин и высыпаний.

На рисунке 7 показаны изменения свойств поверхности материалов исследуемых образцов: снижение сминаемости и улучшение блеска ткани. Измеренный блеск покрытия составил 77%, без покрытия – 53%. Причем замачивание обработанной ткани в воде не приводит к изменениям свойств. При обработке поверхности кожи происходит увеличение яркости и проявление рисунка. Результаты измерений показали увеличение жиростойкости бумаги с 3 баллов для необработанной бумаги до 9 баллов для бумаги, обработанной 1.0%-ным раствором агара.

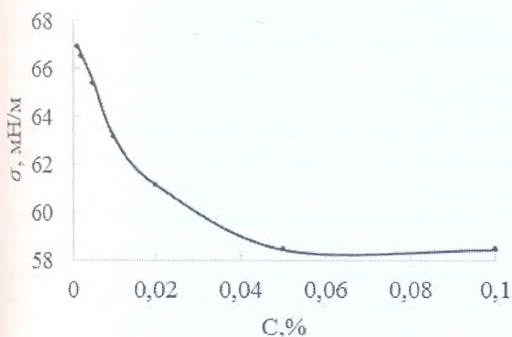


Рис. 6. Зависимость поверхностного натяжения от концентрации агара в растворе

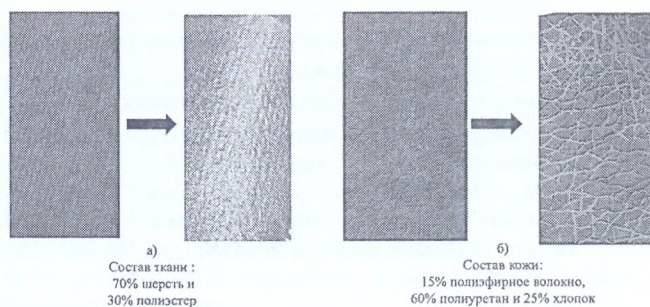


Рис. 7. Изменение свойств поверхности материалов

## Выводы

1. Агар, выделенный из красных морских водорослей рода *Porphyra*, соответствует требованиям ГОСТ 17206 «Агар микробиологический».

2. Найдена минимальная концентрация, при которой происходит образование геля – критическая концентрация гелеобразования (ККГ=1.0%) – важная характеристика для изучения функциональных свойств.

3. Определены условия образования пленки с добавлением пластификатора, в количестве 7.0% ( $T=25\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;  $C=1.0\%$ ;  $t=48\text{ ч}$ ;  $V=25\text{ мл}$ ). Получена зависимость степени набухания пленки в воде при различных температурах.

4. Определена критическая концентрация мицеллообразования ( $\text{ККГ}=0.05\%$ ) и поверхностная активность агара, которая равна  $27.1\text{ мН}\cdot\text{м}^2/\text{кг}$ .

5. Установлено улучшение свойств образцов, покрытых раствором агара: снижение сминаемости и улучшение блеска ткани, проявление рисунка кожи. Измеренный блеск покрытия составил 77%, без покрытия – 53%. Показано увеличение жиростойкости бумаги с 3 баллов для необработанной бумаги до 9 баллов для бумаги, обработанной 1.0%-ным раствором агара.

### Список литературы

1. Боголицын К.Г., Каплицин П.А., Кашина Е.М., Иванченко Н.Л., Кокрятская Н.М., Овчинников Д.В. Особенности минерального состава бурых водорослей Белого и Баренцева морей // Химия растительного сырья. 2014. №1. С. 243–250. DOI: 10.14258/jcrpm.1401243.
2. Паршина А.Э., Боголицын К.Г., Добродеева Л.К., Дружинина А.С. Антибактериальная активность полифенолов бурых водорослей и их биологическая активность на клеточном уровне // Актуальные вопросы органической химии и биотехнологии: материалы очных докладов Международной научной конференции. Екатеринбург, 2020. С. 622–623.
3. Приходько А.А., Осовская И.И., Баранова А.Е. Выделение полифенольных экстрактов из биомассы бурых фукусовых водорослей рода *Fucus vesiculosus* // Вестник Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. Серия 1: естественные и технические науки. 2021. №2. С. 117–121. DOI: 10.46418/2079-8199\_2021\_2\_19.
4. Приходько А.А., Осовская И.И., Баранова А.Е. Получение альгиновой кислоты из бурых ламинариевых водорослей // Сборник тезисов IX Межвузовской конференции-конкурса (с международным участием) научных работ студентов имени члена-корреспондента АН СССР А.А. Яковкина. СПб., 2020. С. 230–231.
5. Баранова А.Е., Осовская И.И. Оптимизация экстрагирования флоротаннинов из бурых водорослей // Инновационный потенциал современной науки как драйвер устойчивого развития: сборник научных статей по итогам Международной научно-практической конференции. СПб., 2021. С. 115–117.
6. Баранова А.Е., Осовская И.И. Получение флоротаннинов из бурых водорослей рода *F. Vesiculosus* // Сборник тезисов X Межвузовской конференции-конкурса с международным участием научных работ студентов имени члена-корреспондента АН СССР А.А. Яковкина. СПб., 2021. С. 34–35.
7. Matsuhashi T. Agar in Food Gels. Elsevier Applied Science; London, 1990. Pp. 1–53.
8. Chapman V.J., Chapman D.J. Agar-agar // Seaweeds and their Uses. London; New York, 1980. Pp. 148–193.
9. Донченко Л.В. Пищевые гидроколлоиды. Краснодар, 2013. 180 с.
10. Перестенко Л.П. Красные водоросли дальневосточных морей России. СПб., 1994. 331 с.
11. Амипина Н.М., Кадникова И.А. Перспективы использования водорослей и трав дальневосточных морей в пищевой промышленности // Вопросы рыбоводства. 2005. Т. 6. №2(22). С. 405–412.
12. Подкорытова А.В. Водоросли и морские травы морей России: состояние и перспективы // Рыбная промышленность. 2004. №2. С. 40–43.
13. Подкорытова А.В. Морские водоросли-макрофиты и травы. М., 2005. 175 с.
14. Кузнецова Т.А., Беседнова Н.Н., Усов В.А. Биосовместимые и биodeградируемые раневые покрытия на основе полисахаридов из морских водорослей // Вестник хирургии им. И.И. Грекова. 2020. Т. 179. №4. С. 109–115. DOI: 10.24884/0042-4625-2020-179-4-109-115.
15. Manach C., Scalbert A., Morand C., Remesy C., Jimenez L. Polyphenols: Food sources and bioavailability // American Journal of Clinical Nutrition. 2004. Vol. 79. N5. Pp. 727–747. DOI: 10.1093/ajcn/79.5.727.
16. Cotas J., Leandro A., Monteiro P., Pacheco D., Figueirinha A., Goncalves A.M.M., da Silva G.J., Pereira L. Seaweed Phenolics: From Extraction to Applications // Marine Drugs. 2020. Vol. 18. N8. Pp. 384–431. DOI: 10.3390/md18080384.
17. Stanley N.F. Agar. Food polysaccharides and their use. CRC Press, Boca Raton, 2006. Pp. 186–204.
18. Осовская И.И., Приходько А.А. Морские водоросли. Применение в биотехнологии. СПб., 2020. 78 с.
19. Патент №2435787 (РФ). Способ модификации агара / А.В. Подкорытова. – 2011.
20. ГОСТ Р 53655.1-2009. Пленки и листы полимерные. Определение ударной прочности методом свободнопадающего груза. М., 2010. 7 с.
21. ГОСТ 31975-2017. Метод определения лакокрасочных покрытий под углом  $20^{\circ}$ ,  $60^{\circ}$  и  $85^{\circ}$ . М., 2017. 19 с.
22. ГОСТ ISO 16532-2-2016. Определение отталкивающей способности поверхности. М., 2017. 7 с.
23. ГОСТ 17206-96. Агар микробиологический. Минск, 1997. 9 с.
24. Белоусова О.С., Дышлюк Л.С. Исследование термодинамических характеристик водных дисперсий агара-агара с целью дальнейшего использования в производстве капсул // Наука XXI века: теория, практика, перспективы: сборник статей Международной научно-практической конференции. Уфа, 2014. С. 13–15.

25. Шипунов Б.П., Маркин В.И., Коптев В.И. Особенности реологии растворов агар-агара // *Химия растительного сырья*. 2018. №1. С. 53–60. DOI: 10.14258/jcprm.2018013720.
26. Маркин В.И., Шипунов Б.П. Аномальная реология растворов агар-агара, приготовленных с использованием воды, подвергнутой воздействию электромагнитного поля // *Химия растительного сырья*. 2020. №1. С. 73–80. DOI: 10.14258/jcprm.2020017373.
27. Смит Р.А., Демьянцева Е.Ю., Андранович О.С. Влияние липазы на мицеллообразующую и солюбилизующую способность неионогенных поверхностно-активных веществ // *Известия ВУЗов. Серия «Химия и химическая технология»*. 2018. Т. 61. №6. С. 54–60. DOI: 10.6060/tcct.20186106.5696.

Поступила в редакцию 21 июля 2022 г.

После переработки 24 ноября 2022 г.

Принята к публикации 30 декабря 2022 г.

**Для цитирования:** Осовская И.И., Баранова А.Е. Оптимизация условий образования стойкого геля из агар-агара // *Химия растительного сырья*. 2023. №2. С. 71–78. DOI: 10.14258/jcprm.20230211723.

*Osovskaya I.I.\**, *Baranova A.E.* OPTIMIZATION OF CONDITIONS FOR THE FORMATION OF STABLE GEL FROM AGAR-AGAR

*Saint-Petersburg State University of Industrial Technologies and Design, Graduate School of Technology and Energy, Ivana Chernykh st., 4, St. Petersburg, 198095 (Russia), e-mail: iraosov@mail.ru*

Red seaweed is an important raw material for obtaining a natural gelling agent, thickener and stabilizer – agar-agar. In the work, agar was isolated from dried red seaweed of the genus *Porphyra*. The high rheological and gel-forming properties of agar were shown. The dependence of the concentration of the agar solution on the gel-forming ability was obtained. The range of concentrations at which the formation of the gel occurs (1.0–10.0%). The choice of optimal conditions (concentration, temperature) for the production of films has been substantiated. The effect of the plasticizer on the quality of films is shown. A direct dependence of the change in the swelling of the film in water on time and temperature – objective characteristics for their use for practical purposes – has been established. The critical concentration of agar micelle formation is 0.05%. At this concentration, the surface activity of agar is 27.1 mJm/kg. An improvement in the properties of textile materials coated with agar solution has been established. Problems that need to be solved with further research are shown.

**Keywords:** red algae, agar-agar, degree of swelling, viscosity, jellies, gelling, film formation, surface tension, solubility.

*References*

1. Bogolitsyn K.G., Kaplitsin P.A., Kashina Ye.M., Ivanchenko N.L., Kokryatskaya N.M., Ovchinnikov D.V. *Khimiya Rastitel'nogo Syr'ya*, 2014, no. 1, pp. 243–250. DOI: 10.14258/jcprm.1401243. (in Russ.).
2. Parshina A.E., Bogolitsyn K.G., Dobrodeyeva L.K., Druzhinina A.S. *Aktual'nyye voprosy organicheskoy khimii i biotekhnologii: materialy ochnykh dokladov Mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii*. [Topical issues of organic chemistry and biotechnology: materials of internal reports of the International scientific conference]. Ekaterinburg, 2020, pp. 622–623. (in Russ.).

\* Corresponding author.



3. Prikhod'ko A.A., Osovskaya I.I., Baranova A.Ye. *Vestnik Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo universiteta tekhnologii i dizayna. Seriya 1: yestestvennyye i tekhnicheskiye nauki*, 2021, no. 2, pp. 117–121. DOI: 10.46418/2079-8199\_2021\_2\_19. (in Russ.).
4. Prikhod'ko A.A., Osovskaya I.I., Baranova A.Ye. *Sbornik tezisev IX Mezhvuzovskoy konferentsii-konkursa (s mezhdunarodnym uchastiyem) nauchnykh rabot studentov imeni chlena-korrespondenta AN SSSR A.A. Yakovkina*. [Collection of abstracts of the IX Interuniversity conference-competition (with international participation) of scientific works of students named after Corresponding Member of the USSR Academy of Sciences A.A. Yakovkin]. St. Petersburg, 2020, pp. 230–231. (in Russ.).
5. Baranova A.Ye., Osovskaya I.I. *Innovatsionnyy potentsial sovremennoy nauki kak drayver ustoychivogo razvitiya: sbornik nauchnykh statey po itogam mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii*. [Innovative potential of modern science as a driver of sustainable development: a collection of scientific articles on the results of an international scientific and practical conference]. St. Petersburg, 2021, pp. 115–117. (in Russ.).
6. Baranova A.Ye., Osovskaya I.I. *Sbornik tezisev IX Mezhvuzovskoy konferentsii-konkursa s mezhdunarodnym uchastiyem nauchnykh rabot studentov imeni chlena-korrespondenta AN SSSR A.A. Yakovkina*. [Collection of abstracts of the IX Interuniversity conference-competition with international participation of scientific works of students named after Corresponding Member of the USSR Academy of Sciences A.A. Yakovkin]. St. Petersburg, 2021, pp. 34–35. (in Russ.).
7. Matsushashi T. *Agar in Food Gels*. Elsevier Applied Science; London, 1990, pp. 1–53.
8. Chapman V.J., Chapman D.J. *Seaweeds and their Uses*. London; New York, 1980, pp. 148–193.
9. Donchenko L.V. *Pishchevyye gidrokolloidy*. [Food hydrocolloids]. Krasnodar, 2013, 180 p. (in Russ.).
10. Perestenko L.P. *Krasnyye vodorosli dal'nevostochnykh morey Rossii*. [Red algae of the Far Eastern seas of Russia]. St. Petersburg, 1994, 331 p. (in Russ.).
11. Aminina N.M., Kadnikova I.A. *Voprosy rybovodstva*, 2005, vol. 6, no. 2(22), pp. 405–412. (in Russ.).
12. Podkorytova A.V. *Rybnaya promyshlennost'*, 2004, no. 2, pp. 40–43. (in Russ.).
13. Podkorytova A.V. *Morskiye vodorosli-makrofity i travy*. [Marine algae-macrophytes and herbs]. Moscow, 2005, 175 p. (in Russ.).
14. Kuznetsova T.A., Besednova N.N., Usov V.A. *Vestnik khirurgii im. I.I. Grekova*, 2020, vol. 179, no. 4, pp. 109–115. DOI: 10.24884/0042-4625-2020-179-4-109-115. (in Russ.).
15. Manach C., Scalbert A., Morand C., Remesy C., Jimenez L. *American Journal of Clinical Nutrition*, 2004, vol. 79, no. 5, pp. 727–747, DOI: 10.1093/ajcn/79.5.727.
16. Cotas J., Leandro A., Monteiro P., Pacheco D., Figueirinha A., Goncalves A.M.M., da Silva G.J., Pereira L. *Marine Drugs*, 2020, vol. 18, no. 8, pp. 384–431. DOI: 10.3390/md18080384.
17. Stanley N.F. *Agar. Food polysaccharides and their use*. CRC Press, Boca Raton, 2006, pp. 186–204.
18. Osovskaya I.I., Prikhod'ko A.A. *Morskiye vodorosli. Primeneniye v biotekhnologii*. [Seaweed. Application in biotechnology]. St. Petersburg, 2020, 78 p. (in Russ.).
19. Patent 2435787 (RU). 2011. (in Russ.).
20. *GOST R 53655.1-2009. Plenki i listy polimernyye. Opredeleniye udarnoy prochnosti metodom svobodnopa-dayushchego gruzha*. [GOST R 53655.1-2009. Polymer films and sheets. Determination of impact strength by the free-falling load method]. Moscow, 2010, 7 p. (in Russ.).
21. *GOST 31975-2017. Metod opredeleniya lakorasochnykh pokrytiy pod uglom 20°, 60° i 85°*. [GOST 31975-2017. Method for determining paint coatings at an angle of 20°, 60° and 85°]. Moscow, 2017, 19 p. (in Russ.).
22. *GOST ISO 16532-2-2016. Opredeleniye ottalkivayushchey sposobnosti poverkhnosti*. [GOST ISO 16532-2-2016. Determining the repellency of a surface]. Moscow, 2017, 7 p. (in Russ.).
23. *GOST 17206-96. Agar mikrobiologicheskii*. [GOST 17206-96. Agar microbiological]. Minsk, 1997, 9 p. (in Russ.).
24. Belousova O.S., Dyshlyuk L.S. *Nauka XXI veka: teoriya, praktika, perspektivy: sbornik statei Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoi konferentsii*. [Science of the 21st century: theory, practice, prospects: collection of articles of the International Scientific and Practical Conference]. Ufa, 2014, pp. 13–15. (in Russ.).
25. Shipunov B.P., Markin V.I., Koptev V.I. *Khimiya Rastitel'nogo Syr'ya*, 2018, no. 1, pp. 53–60. DOI: 10.14258/jcprm.2018013720. (in Russ.).
26. Markin V.I., Shipunov B.P. *Khimiya Rastitel'nogo Syr'ya*, 2020, no. 1, pp. 73–80. DOI: 10.14258/jcprm.2020017373. (in Russ.).
27. Smit R.A., Dem'yantseva Ye.Yu., Andranovich O.S. *Izvestiya VUZov. Seriya «Khimiya i khimicheskaya tekhnologiya»*. 2018, vol. 61, no. 6, pp. 54–60. DOI: 10.6060/tct.20186106.5696. (in Russ.).

Received July 21, 2022

Revised November 24, 2022

Accepted December 30, 2022