

Научная статья
УДК [641.522.8:582.272.1]:532.73
<https://doi.org/10.24143/2073-5529-2023-2-118-126>
EDN WQWFNE

Статика и кинетика операции экстракции целевых компонентов из сухого эктокарпуса водно-спиртовой композицией

***Е. В. Фоменко¹, Е. Ю. Запорожец², А. В. Котельников³,
И. Ю. Александян⁴, А. Х.-Х. Нугманов⁵***

¹⁻⁴*Астраханский государственный технический университет,
Астрахань, Россия*

⁵*Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева,
Москва, России, albert909@yandex.ru*

Аннотация. Самыми широко востребованными в пищевой индустрии биополимерами служат полисахариды, например натриевый альгинат (пищевая добавка Е401) как анионная субстанция. Альгинат натрия может играть роль загустителя в желеобразных материалах, заливках и соусной продукции, а также влагоудерживающего ингредиента в хлебобулочных и других изделиях. Уникальным индустриальным источником альгината натрия в современных условиях служат бурые водоросли морской природы (ламинария и фукус). В Каспийском бассейне к числу видов бурых водорослей, богатых на альгинаты, можно отнести семейство эктокарпусовых. Объектом научного анализа послужил эктокарпус в сухом виде. В настоящее время появление новой информации о фармакологических параметрах ряда биокомпонентов водорослей обусловило повышенный интерес к изучению технологических подходов к выработке пищевых субстанций функционального назначения из них и их биологически активных веществ. При этом водоросли могут выступать в качестве сырьевой базы для выработки как самостоятельных материалов, так и их производных в виде пищевых премиксов, приводящих к росту качественных показателей базовых материалов при сохранности вкусовых ощущений или улучшении структурной организации, внешнего состояния и росте продолжительности хранения. Целью настоящего исследования послужило выявление статических закономерностей соотношения масс экстрагента и объекта изучения и кинетики экстракции целевых компонентов из сухого эктокарпуса водно-спиртовой композицией для определения эффективности и рационального времени течения данной операции. Вид кинетических зависимостей экстракции не противоречит известным апробированным и опубликованным данным в этой области при определенной специфике для изучаемого продукта и условий проведения этой операции. Это обуславливает резонность оригинальных подходов для повышения эффективности экстрагирования водорослевого сырья в обозначенной выше среде экстрагента.

Ключевые слова: бурые водоросли, эктокарпус, альгинат натрия, экстракция, кинетика, экстрагент

Для цитирования: *Фоменко Е. В., Запорожец Е. Ю., Котельников А. В., Александян И. Ю., Нугманов А. Х.-Х. Статика и кинетика операции экстракции целевых компонентов из сухого эктокарпуса водно-спиртовой композицией // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Рыбное хозяйство. 2023. № 2. С. 118–126. <https://doi.org/10.24143/2073-5529-2023-2-118-126>. EDN WQWFNE.*

Original article

Statics and kinetics of operation of extraction of target components from dry Ectocarpus with aqueous-alcoholic composition

***E. V. Fomenko¹, E. Yu. Zaporozhets², A. V. Kotelnikov³,
I. Yu. Aleksanian⁴, A. Kh.-Kh. Nugmanov⁵***

¹⁻⁴*Astrakhan State Technical University,
Astrakhan, Russia*

⁵*Russian Timiryazev State Agrarian University,
Moscow, Russia, albert909@yandex.ru*

Abstract. Polysaccharides are the most widely used biopolymers in the food industry, for example sodium alginate (food additive E401) taken as an anionic substance. Sodium alginate can act as a thickening agent in jelly-like materials, fillings

and gravy products, and as a moisture-retaining ingredient in baked goods and other products. The unique industrial source of sodium alginate in modern conditions is sea brown algae (kelp and fucus). In the Caspian basin *Ectocarpus* algae can be attributed to the brown algae species rich in alginates. Dry *Ectocarpus* served as the object of scientific analysis. At present, the emergence of new information on the pharmacological parameters of a number of algae biocomponents has led to an increased interest in the study of technological approaches to the production of functional food substances and their biologically active substances. At the same time, algae can act as a raw material base for producing both independent materials and their derivatives in the form of food premixes leading to an increase in the quality indicators of basic materials while maintaining taste sensations or improving the structural organization, external state and increasing storage time. The purpose of this study was to identify the static patterns of the ratio of the extractant masses and the object of study and the kinetics of extraction of the target components from the dry *Ectocarpus* with a aqueous-alcohol composition to determine the efficiency and rational time of this operation. The type of kinetic dependences of extraction does not contradict the approved and published data in this field with certain specifics for the product under study and the conditions for this operation. This determines the rationality of the original approaches to improve the efficiency of algal raw materials extraction in the above-mentioned extractant environment.

Keywords: brown algae, *Ectocarpus*, sodium alginate, extraction, kinetics, extractant

For citation: Fomenko E. V., Zaporozhets E. Yu., Kotelnikov A. V., Aleksanian I. Yu., Nugmanov A. Kh.-Kh. Statics and kinetics of operation of extraction of target components from dry *Ectocarpus* with aqueous-alcoholic composition. *Vestnik of Astrakhan State Technical University. Series: Fishing industry.* 2023;2:118-126. (In Russ.). <https://doi.org/10.24143/2073-5529-2023-2-118-126>. EDN WQWFNE.

Введение

Наиболее широко востребованными в пищевой индустрии биополимерами служат полисахариды, например натриевый альгинат (пищевая добавка E401) как анионная субстанция. Данное вещество является гелеформирующим премиксом водных растворов при смешении с натриевыми солями и/или отрицательно заряженных полимерных комплексов [1]. Альгинат натрия хорошо зарекомендовал себя в качестве загустителя при производстве изделий в желе, соусах и заливках, используется как влагоудерживающий ингредиент в хлебе и хлебобулочных изделиях и др. [2–4]. Принимая во внимание исследование [5], можно сделать заключение о том, что бурые водоросли морской природы (ламинария и фукус) в современных условиях служат уникальным индустриальным источником альгината натрия. В отдельных государствах выработка альгината натрия проводится по специфическим технологическим путям, но в основе своей принципы извлечения альгината натрия из водорослевого сырья (ВС) подобны [6].

В Каспийском бассейне преобладающими являются диатомовое (292 типа) и зеленое (139 типов), ВС присутствующие преимущественно в пресной водной среде, а также – реже – в солоноватых и морских водных ареалах, и сине-зеленое (203 типа) [7]. Иные подвиды ВС встречаются реже, так, например, присутствует 13 типов бурого ВС, к которому можно причислить эктокарпус [8], а учитывая, что к числу видов, богатых на альгинат натрия, относятся бурые водоросли, этот вид нитевидных водорослей семейства эктокарпусовых представляет особый интерес.

Эктокарпус – макроскопическая (до 60 см) водоросль, нитчатая гетеротрихальная, имеющая вид ветвистых. Альгинаты образуют основной структурный полисахарид многих морских бурых водорослей, и эктокарпус не является исключением [9].

На настоящий момент, при владении информа-

цией о фармакологических параметрах ряда биоконпонентов ВС, в мировой практике появился повышенный интерес к разработке технологических подходов к производству пищевых субстанций функционального назначения из ВС и их биологически активных веществ. При этом ВС может служить сырьевой базой для выработки как самостоятельных материалов, так и их производных в качестве пищевых премиксов, приводящих к росту качественных показателей базовых материалов при сохранности вкусовых ощущений или улучшении структурной организации, внешнего состояния и росте продолжительности хранения [10]. Все это говорит в пользу перспективности создания технологии комплексной переработки ВС, не затрагивая ее основные этапы по получению альгината натрия, а значит, требуется научно обоснованная корректировка подготовительных операций, целью которой ставится максимально возможное извлечение ценных веществ из бурых водорослей, в частности эктокарпуса.

По рекомендуемой технологии сырое ВС очищается от нежелательных включений и поступает на диспергирование и обезвоживание и далее на экстрагирование 65–75 %-м раствором этанола при объемных долях ВС и экстрагента 1 : (5–10), температуре 50–60 °С, длительности операции 1,5–2,5 ч и периодическом перемешивании. По завершении операции проводят разделение посредством фильтрации рафината ВС, который поступает на выработку полисахаридов, и экстракта, подаваемого на отгонку спиртовой среды. Далее из очищенного экстракта вырабатывают водожировую композицию, снижая ее температуру до 5–10 °С и осаждая ее для отделения воды от жиров.

Выявить статические закономерности, соотношение масс экстрагента и объекта изучения и кинетику экстракции целевых компонентов из сухого эктокарпуса водно-спиртовой композицией необ-

ходимо для определения эффективности и рационального времени течения данной операции.

Объекты и методы исследования

Объектом исследования послужил эктокарпус в сухом и измельченном виде.

Эксперимент проводился в несколько этапов.

1. Определяется насыпная плотность ВС, высушенного до конечной влажности 18 % ρ_n , кг/м³, т. к. данный показатель необходим для получения корректного объемного соотношения «сырье : экстрагент».

2. При максимуме допустимых долей ВС и экстрагента 1 к 10 из диспергированного сухого ВС экстрагируют 70 %-м водным раствором этанола при 60 °С 2,5–3,0 ч в экстракторе Сокслета, который был модернизирован специально для этой цели, с учетом отсутствия необходимости для экстрагента менять свое агрегатное состояние. Далее рафинат ВС отводили от экстракта посредством фильтрации.

3. Из экстракта отгоняют при пониженном давлении растворитель посредством роторной испари-

тельной установки до снижения его первоначального объема в 3 раза, после чего концентрированный экстракт подвергается дальнейшему концентрированию в сушильном шкафу до максимально возможного удаления растворителя из экстракта, до получения обезвоженного экстракта, и по его весу находят выход целевых компонентов из ВС.

4. Находят рациональные массовые доли экстрагента и диспергированного высушенного ВС и проводят экстракцию из него 70 %-м водным раствором этанола при 60 °С в течение 2,5–3,0 ч при варьируемых долях экстрагента и ВС.

Экспериментальное определение ρ_n заключается во взвешивании сухого сырья в заданном объеме мерного цилиндра, которое оно занимает при его засыпании в емкость только при наличии силы тяжести.

Экспериментальное определение итоговой концентрации сухих веществ в полученном экстракте для выявления ее текущего значения в процессе экстрагирования осуществлялось на опытном стенде (рис. 1).

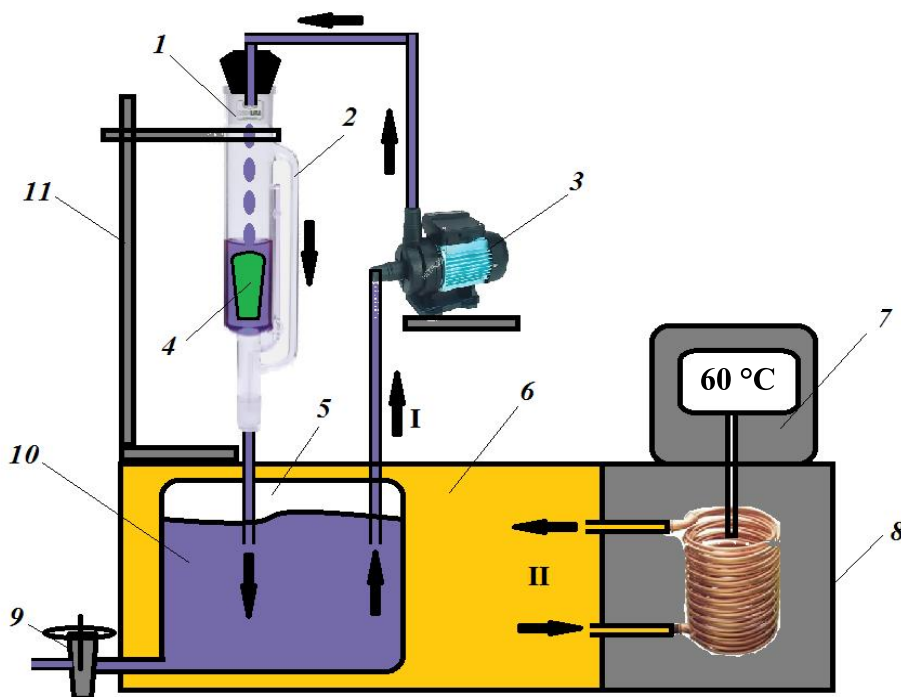


Рис. 1. Схема опытного стенда: I – поток экстрагента; II – поток теплового агента; 1 – экстрактор Сокслета; 2 – сифон экстрактора; 3 – насос; 4 – сырье; 5 – емкость для сбора экстракта; 6 – тепловой агент; 7 – блок управления термостатом; 8 – термостат; 9 – сливной кран; 10 – получаемый экстракт; 11 – штатив

Fig. 1. Scheme of the experimental stand: I – extractant flow; II – heat agent flow; 1 – Soxhlet extractor; 2 – extractor siphon; 3 – pump; 4 – raw materials; 5 – container for collecting the extract; 6 – thermal agent; 7 – thermostat control unit; 8 – thermostat; 9 – drain valve; 10 – extract obtained; 11 – holder

Представленная на рис. 1 лабораторная экстракционная установка позволяет проводить изу-

чаемый массообменный процесс при различных температурах растворителя, что невозможно при

использовании напрямую экстрактора Сокслета, при этом все остальные достоинства этого аппарата сохраняются. Центральная трубка соединяется с боковой (сифоном) как сообщающаяся емкость, которая одним концом вводится в резервуар с получаемым экстрактом, и появляющаяся над гильзой выше сифонной трубки жидкая среда с растворенной субстанцией стекает книзу. Таким образом, процесс избирательного извлечения целевых веществ из растительного сырья можно повторять многократно, добываясь максимального их экстрагирования при варьированных температурных режимных параметрах экстрагента.

Экспериментальное определение рационального объемного соотношения экстрагента и объекта экстрагирования осуществлялось на том же стенде в течение 180 мин, что, согласно постановочным экспериментам, является достаточным для установления равновесия между экстрагентом и ВС.

Выявление кинетических закономерностей экстрагирования осуществлялось при трех различных условиях:

1. Настаивание:
 - температура экстрагента – 60 °С;

- объемное соотношение «сырье : экстрагент» – $V \approx 1 : 8$;

- начальная влажность ВС – $W \approx 18 \%$;
- встряхивание суспензии – 1 раз в 10 мин.

2. Экстракция с механическим перемешиванием суспензии:

- температура экстрагента – 60 °С;
- объемное соотношение «сырье : экстрагент» – $V \approx 1 : 8$;

- начальная влажность ВС – $W \approx 18 \%$;
- скорость перемешивающего устройства (окружная скорость конца лопастей) – $v \approx 1$ м/с.

3. Циркуляционное экстрагирование на установке (см. рис. 1):

- температура экстрагента – 60 °С;
- объемное соотношение «сырье : экстрагент» – $V \approx 1 : 8$;

- начальная влажность ВС – $W \approx 18 \%$;
- продолжительность цикла – $\tau_{ц} \approx 4$ мин.

Результаты и их обсуждение

Результаты проведенного исследования по определению насыпной плотности объекта представлены в табл. 1

Таблица 1

Table 1

Данные экспериментов по определению насыпной плотности объекта исследования

Experimental data on determining the bulk density of the object of study

Номер эксперимента	Масса образца в занимаемом объеме, г	Занимаемый объем, мл	Насыпная плотность образца, кг/м ³
1	6,8	100	68
2	6,5		65
3	7,0		70
4	6,3		63
5	6,4		64
Среднее значение			66

Результаты проведенных исследований по определению итоговой концентрации сухих веществ в полученном экстракте при максимальном объем-

ном соотношении «сырье : экстрагент» (1 : 10) представлены в табл. 2.

Таблица 2

Table 2

Данные экспериментов по определению концентрации сухих веществ в экстракте

Experimental data on determining the concentration of solids in the extract

Номер эксперимента	Масса отобранного экстракта, г	Масса сухого остатка, г	Итоговая концентрация целевых веществ в экстракте, %
1	1,802	0,002	0,111
2	4,545	0,004	0,088
3	2,084	0,002	0,096
4	2,970	0,003	0,101
5	3,389	0,002	0,059
Среднее значение			0,091

В табл. 3 сведены данные эмпирического изучения, причем рациональные массовые доли экстрагента и ВС были определены расчетным путем, учиты-

вая уже известные на текущий момент плотностные характеристики как ВС ($\rho = 905 \text{ кг/м}^3$ и $\rho_n = 66 \text{ кг/м}^3$), так и экстрагента ($\rho_s = 868 \text{ кг/м}^3$) [11].

Таблица 3

Table 3

Данные для определения рациональных долей растворителя и водорослевого сырья

Data on determining the rational proportions of the solvent and algal raw materials

Вариант	Объем сырья / объем спирта, мл	Масса отобранного экстракта, г	Масса сухих веществ, г	Концентрация сухого остатка в экстракте, %	Удельный выход, %
1	150/75	4,03	0,005	0,125	8,2
2	125/75	2,54	0,003	0,119	9,3
3	110/75	3,45	0,004	0,117	10,5
4	95/75	2,63	0,003	0,114	11,9
5	85/75	3,16	0,003	0,096	11,1
6	75/75	2,2	0,002	0,092	11,9

Полученные данные свидетельствуют о том, что четвертый вариант наиболее рационален для осуществления операции экстракции ВС, согласно чему 6,27 г подготовленного ВС ($0,066 \text{ г/мл} \cdot 95 \text{ мл} = 6,27 \text{ г}$) при его влажности $W = 18 \%$ соответствует 651 г 70 %-го раствора этанола ($0,868 \text{ г/мл} \cdot 750 \text{ мл} = 651 \text{ г}$). Итак, считаем, что рациональным вариантом являются массовые доли ВС и экстрагента 1 к 100, а объемные – 1 к 8.

Анализ опытных данных по экстрагированию из ВС при определенных условиях осуществления процесса показал, что максимальное время данной процедуры составило 4 ч, а минимальное – 2 ч. В результате получены кривые экстракции целевых веществ (рис. 2) из предварительно обезвоженного и измельченного экстракта.

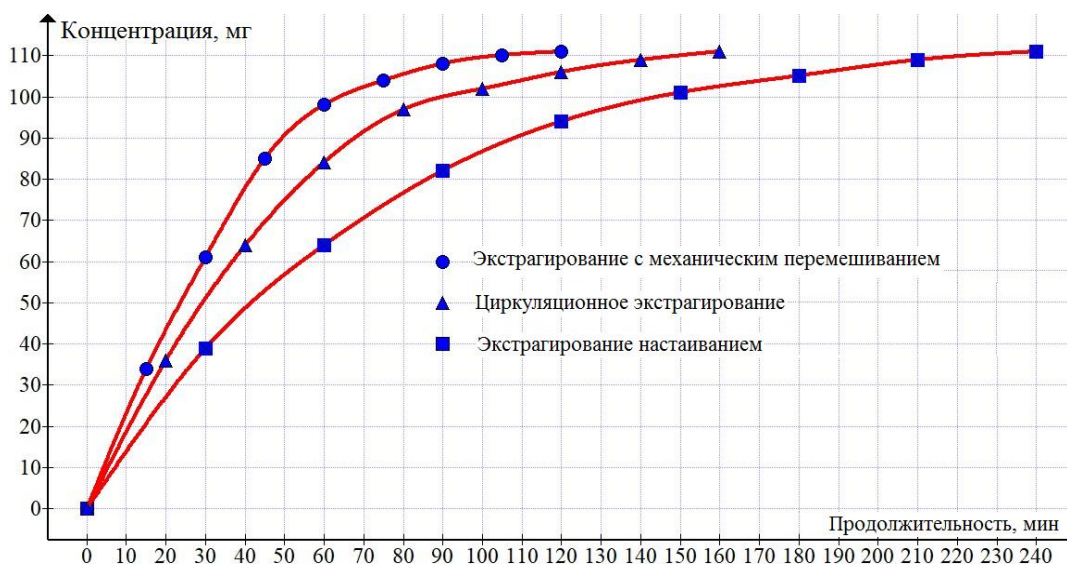


Рис. 2. Кривые экстрагирования

Fig. 2. Extraction curves

Проведена математическая аппроксимация опытных кривых (см. рис. 2) с целью получения кинетических зависимостей, причем для упроще-

ния их математической обработки и получения целевой функции $\frac{d\tau}{dC_x} = f(C_x)$ выявлены обрат-

ные зависимости $\tau = f(C_x)$, которые представлены на рис. 3.

Кривые экстрагирования, представленные на рис. 3, были аппроксимированы полиномом третьей степени (рис. 4).



Рис. 3. Кривые экстрагирования (обратная зависимость)

Fig. 3. Extraction curves (reverse dependence)

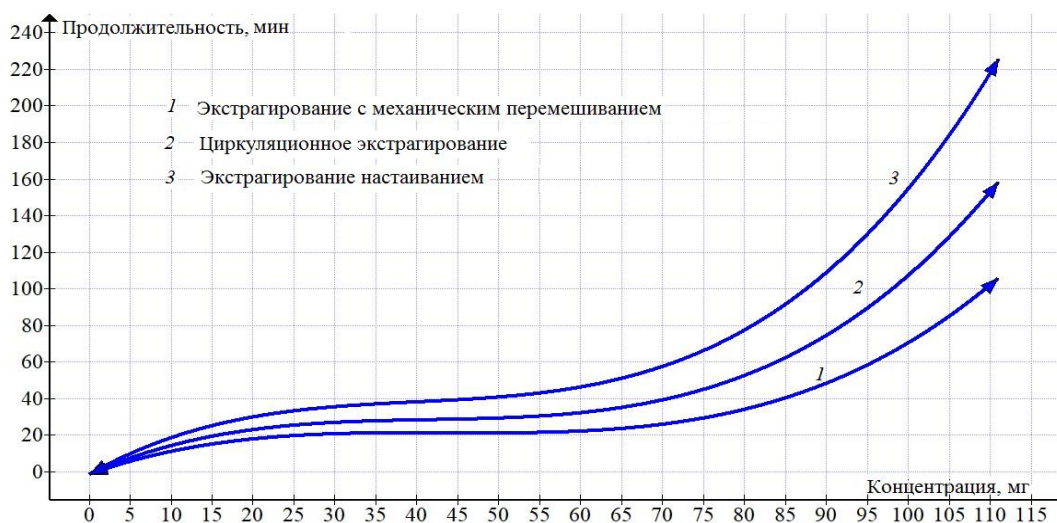


Рис. 4. Кривые экстрагирования (аппроксимированные зависимости)

Fig. 4. Extraction curves (approximate dependencies)

Ниже представлены полученные математические зависимости:

– настаивание:

$$\tau = 0,00048 C_x^3 - 0,0576 C_x^2 + 2,5212 C_x;$$

– экстракция с механическим перемешиванием суспензии:

$$\tau = 0,00028 C_x^3 - 0,0366 C_x^2 + 1,5788 C_x;$$

– циркуляционное экстрагирование на установке:

$$\tau = 0,00037 C_x^3 - 0,046 C_x^2 + 1,987 C_x,$$

где C_x – концентрация сухих веществ в экстракте, мг/100 г; τ – время, мин.

После взятия производной от $\tau = f(C_x)$ имеем

$$\frac{d\tau}{dC_x} = f'(C_x) \text{ и далее } \frac{dC_x}{d\tau} = \frac{1}{f'(C_x)};$$

– настаивание:

$$\frac{dC_x}{d\tau} = \frac{1}{0,00144 C_x^2 - 0,1152 C_x + 2,5212};$$

– экстракция с механическим перемешиванием суспензии:

$$\frac{dC_x}{d\tau} = \frac{1}{0,00084 C_x^2 - 0,0732 C_x + 1,5788};$$

– циркуляционное экстрагирование на установке:

$$\frac{dC_x}{d\tau} = \frac{1}{0,00111 C_x^2 - 0,092 C_x + 1,987}.$$

На рис. 5 представлены полученные математические зависимости, описывающие скорость экстракции водо-спирторастворимых компонентов из ВС, в графической интерпретации.

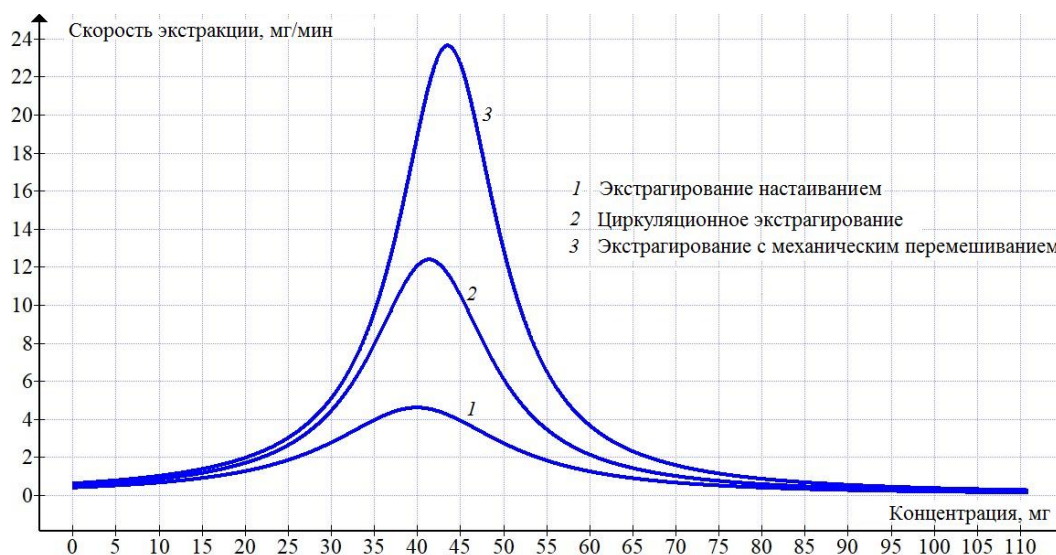


Рис. 5. Кинетические кривые экстрагирования

Fig. 5. Kinetic extraction curves

Изучение опытных данных свидетельствует о том, что на кинетической кривой присутствуют две стадии течения операции, что согласуется с теорией и известными результатами исследования экстракции [12–14]. На 1-й стадии экстрагирования повышение скорости экстракции можно объяснить применением дополнительного воздействия, например мешалкой, которое обуславливает нарушение структуры частиц водоросли, что способствует интенсификации высвобождения и переноса целевых компонентов из них, а также повышением температуры объекта за счет взаимодействия с горячим экстрагентом, что, кроме всего прочего, обуславливает увеличение интенсивности переноса компонентов посредством, в том числе, термо- и бародиффузии. Впоследствии по причине падения движущей силы массопереноса при уменьшении концентрации целевых веществ в раффинате и повышения в экстрагенте можно объяснить падение скорости экстракции на 2-й стадии.

Заключение

В итоге проведенного исследования выявлены статические закономерности, соотношение масс экстрагента и объекта изучения и кинетика экстракции целевых компонентов из сухого эктокарпуса водно-спиртовой композицией для определения эффективности и рационального времени течения данной операции.

Следует отметить, что вид кинетических зависимостей экстракции не противоречит известным апробированным и опубликованным данным в этой области при определенной специфике для изучаемого продукта и условий проведения этой операции. Это обуславливает резонанс оригинальных подходов для повышения эффективности экстрагирования водорослевого сырья в вышеобозначенной среде экстрагента.

Список источников

1. Верещагин А. Л., Кукарина Е. А., Грешных Е. В. Гелеобразование в системе каолин – альгинат натрия – сульфат кальция – пирофосфат натрия // Южно-Сибир. науч. вестн. 2021. № 6 (40). С. 3–9.
2. Черкасов А. А., Чернышев А. А., Лыткина Д. Н., Курзина И. А. Получение и исследование свойств гидрогелей состава: поливиниловый спирт – альгинат натрия // Вестн. Том. гос. ун-та. Химия. 2020. № 19. С. 6–13.

3. Ишевский А. Л., Успенская М. В., Гунькова П. И., Давыдов И. А., Василевская И. А. Направления использования альгинатов в пищевой промышленности // Изв. Санкт-Петербург. гос. технолог. ин-та (Технич. ун-та). 2019. № 51 (77). С. 61–69.

4. Гиро Т. М., Андреева С. В., Куликовский А. В., Гиро А. В. Влияние биоразлагаемого пленочного покрытия на сохранность эссенциальных веществ // Все о мясе. 2022. № 1. С. 53–57.

5. Запорожец Е. Ю., Нугманов А. Х.-Х. Перспективы получения альгината натрия из бурых водорослей Каспийского моря // Вестн. Астрахан. гос. техн. ун-та. 2022. № 2 (74). С. 48–53.

6. Подкoryтoвa A. B., Шмелькoвa Л. П. Получение альгината натрия из отходов при обработке ламинариевых // Изв. ТИНРО. 1983. Т. 108. С. 53–56.

7. Новиченко О. В., Рябухин Ю. И., Магзанова Д. К. Изучение эффективности адсорбирующей способности высшими водными растениями дельты реки Волги и Северного Каспия некоторых тяжелых элементов-металлов // Технологии пищевой и перерабатывающей промышленности АПК – продукты здорового питания. 2021. № 3. С. 141–146.

8. Зинова А. Д. Определитель зеленых, бурых

и красных водорослей южных морей СССР. М.; Л.: Наука, 1967. 398 с.

9. Bixler H. J., Porse H. A decade of change in the seaweed hydrocolloids industry // Journal of Applied Phycology. 2012. V. 23. P. 321–335.

10. Kotelnikova L. Kh., Podkorytova A. V., Roshchina A. N., Shashkina I. A. Beverages and desserts with therapeutic and prophylactic properties based on alginate-containing biogel from laminaria – “Vitalgar Cardio”. Dubai, UAE: KNE LIFE SCIENCES, 2022. P. 251–258.

11. Рабинович В. А., Хавин З. Я. Краткий химический справочник. Л.: Химия, 1978. С. 280.

12. Гришин Н. С., Поникаров И. И., Поникаров С. И., Гришин Д. Н. Экстракция в поле переменных сил. Гидродинамика, массопередача, аппараты: моногр.: в 2 ч. Казань: Изд-во КНИТУ, 2012. Ч. 1. 468 с.

13. Гришин Н. С., Поникаров И. И., Поникаров С. И., Гришин Д. Н. Экстракция в поле переменных сил. Гидродинамика, массопередача, аппараты: моногр.: в 2 ч. Казань: Изд-во КНИТУ, 2016. Ч. 2. 444 с.

14. Трейбал Р. Е. Жидкостная экстракция: пер. с англ. / под ред. д-ра техн. наук С. З. Кагана. М.: Химия, 1966. 724 с.

References

1. Vereshchagin A. L., Kukarina E. A., Greshnykh E. V. Geleobrazovanie v sisteme kaolin – al'ginat natriia – sul'fat kal'tsiia – pirofosfat natriia [Gel formation in system kaolin - sodium alginate - calcium sulfate - sodium pyrophosphate]. *Iuzhno-Sibirskii nauchnyi vestnik*, 2021, no. 6 (40), pp. 3-9.

2. Cherkasov A. A., Chernyshev A. A., Lytkina D. N., Kurzina I. A. Poluchenie i issledovanie svoystv gidrogelei sostava: polivinilovyi spirt – al'ginat natriia [Preparation and study of properties of hydrogels of polyvinyl alcohol - sodium alginate composition]. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. Khimiia*, 2020, no. 19, pp. 6-13.

3. Ishevskii A. L., Uspenskaia M. V., Gun'kova P. I., Davydov I. A., Vasilevskaia I. A. Napravleniia ispol'zovaniia al'ginatov v pishchevoi promyshlennosti [Directions for alginates application in food industry]. *Izvestiia Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo instituta (Tekhnicheskogo universiteta)*, 2019, no. 51 (77), pp. 61-69.

4. Giro T. M., Andreeva S. V., Kulikovskii A. V., Giro A. V. Vliianie biorazlagaemogo plenochного pokrytiia na sokhrannost' essentsial'nykh veshchestv [Influence of biodegradable film coating on safety of essential substances]. *Vse o miase*, 2022, no. 1, pp. 53-57.

5. Zaporozhets E. Yu., Nugmanov A. Kh.-Kh. Perspektivy polucheniia al'ginata natriia iz burykh vodoroslei Kaspiiskogo moria [Prospects for obtaining sodium alginate from brown algae of Caspian Sea]. *Vestnik Astrakhanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*, 2022, no. 2 (74), pp. 48-53.

6. Podkorytova A. V., Shmel'kova L. P. Poluchenie al'ginata natriia iz otkhodov pri obrabotke laminariievnykh [Obtaining sodium alginate from waste during kelp processing]. *Izvestiia TINRO*, 1983, vol. 108, pp. 53-56.

7. Novichenko O. V., Riabukhin Iu. I., Magzanova D. K. Izuchenie effektivnosti adsorbiruushchei sposobnosti vysshimi vodnymi rasteniiami del'ty reki Volgi i Severnogo Kaspiia nekotorykh tiazhelykh elementov-metallov [Studying

effective adsorption capacity of higher aquatic plants of Volga River Delta and Northern Caspian Sea of heavy metal elements]. *Tekhnologii pishchevoi i pererabatyvaiushchei promyshlennosti APK – produkty zdorovogo pitaniia*, 2021, no. 3, pp. 141-146.

8. Ziнова A. D. *Opredelitel' zelenykh, burykh i krasnykh vodoroslei iuzhnykh morei SSSR* [Key to green, brown and red algae of southern seas of USSR]. Moscow, Leningrad, Nauka Publ., 1967. 398 p.

9. Bixler H. J., Porse H. A decade of change in the seaweed hydrocolloids industry. *Journal of Applied Phycology*, 2012, vol. 23, pp. 321-335.

10. Kotelnikova L. Kh., Podkorytova A. V., Roshchina A. N., Shashkina I. A. *Beverages and desserts with therapeutic and prophylactic properties based on alginate-containing biogel from laminaria – “Vitalgar Cardio”*. Dubai, UAE, KNE LIFE SCIENCES. 2022. Pp. 251-258.

11. Rabinovich V. A., Khavin Z. Ia. *Kratkii khimicheskii spravochnik* [Brief chemical reference book]. Leningrad, Khimiia Publ., 1978. P. 280.

12. Grishin N. S., Ponikarov I. I., Ponikarov S. I., Grishin D. N. *Ekstraktiia v pole peremennykh sil. Gidrodinamika, massoperedacha, apparaty: monografiia: v 2 ch.* [Extraction in field of variable forces. Hydrodynamics, mass transfer, apparatuses: monograph: in 2 parts]. Kazan', Izd-vo KNIU, 2012. Part 1. 468 p.

13. Grishin N. S., Ponikarov I. I., Ponikarov S. I., Grishin D. N. *Ekstraktiia v pole peremennykh sil. Gidrodinamika, massoperedacha, apparaty: monografiia: v 2 ch.* [Extraction in the field of variable forces. Hydrodynamics, mass transfer, apparatuses: monograph: in 2 parts]. Kazan', Izd-vo KNIU, 2016. Part 2. 444 p.

14. Treibal R. E. *Zhidkostnaia ekstraktiia* [Liquid extraction]. Pod redaktsiei d-ra tekhn. nauk S. Z. Kagana. Moskva, Khimiia Publ., 1966. 724 p.

Информация об авторах / Information about the authors

Екатерина Валерьевна Фоменко – кандидат технических наук; младший научный сотрудник научно-исследовательской лаборатории «Пищевые системы и биотехнологии»; Астраханский государственный технический университет; tetatet.78@mail.ru

Екатерина Юрьевна Запорожец – ассистент кафедры технологических машин и оборудования; Астраханский государственный технический университет; mail_legato@mail.ru

Андрей Вячеславович Котельников – доктор биологических наук, доцент; профессор кафедры гидробиологии и общей экологии; Астраханский государственный технический университет; kotas@inbox.ru

Игорь Юрьевич Алексанян – доктор технических наук, профессор; профессор кафедры технологических машин и оборудования; Астраханский государственный технический университет; 16081960igor@gmail.com

Альберт Хамед-Харисович Нугманов – доктор технических наук, профессор; профессор кафедры технологии хранения и переработки плодовоовощной и растениеводческой продукции; Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; albert909@yandex.ru

Ekaterina V. Fomenko – Candidate of Technical Sciences; Junior Researcher of Research Laboratory “Food Systems and Biotechnologies”; Astrakhan State Technical University; tetatet.78@mail.ru

Ekaterina Yu. Zaporozhets – Lecturer of the Department of Technological Machines and Equipment; Astrakhan State Technical University; mail_legato@mail.ru

Andrey V. Kotelnikov – Doctor of Biological Sciences, Assistant Professor; Professor of the Department of Hydrobiology and General Ecology; Astrakhan State Technical University; kotas@inbox.ru

Igor Yu. Aleksanyan – Doctor of Technical Sciences, Professor; Professor of the Department of Technological Machines and Equipment; Astrakhan State Technical University; 16081960igor@gmail.com

Albert Kh.-Kh. Nugmanov – Doctor of Technical Sciences, Professor; Professor of the Department of Technology of storage and processing of fruit and vegetable and plant products; Russian Timiryazev State Agrarian University; albert909@yandex.ru

