

## КИНЕТИКА ИЗВЛЕЧЕНИЯ БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ ИЗ БУРОЙ ВОДОРОСЛИ *S.miyabei* ДАЛЬНЕВОСТОЧНОГО РЕГИОНА РАЗНЫМИ СПОСОБАМИ ЭКСТРАКЦИИ

А. В. Табакаев, О. В. Табакаева, Ю. В. Приходько, А. Л. Валевич

Представлены результаты кинетических исследований экстракции каротиноидов и их отдельных групп из бурой водоросли Дальневосточного региона *S.miyabei*. Кинетика извлечения каротиноидов и их групп из бурой водоросли *S.miyabei* определяется используемым экстрагентом и методом экстракции. В качестве экстрагентов использованы 70%-й раствор этанола и 50%-й раствор глицерина. Экспериментально доказано, что раствор 50%-й глицерина является более эффективным экстрагентом для каротиноидов, каротинов и ксантофиллов из бурой водоросли *S.miyabei*, чем раствор 70%-й этанола – после 11 часов экстракции методом мацерации концентрация каротиноидов увеличивается в 4,05 раза, что на 30,6% больше, чем при экстракции 70%-й этиловым спиртом. Аналогичная зависимость наблюдается для экстракции каротинов: содержание увеличивается в 3,1 раза, что на 34,8% больше, чем при экстракции 70%-м этиловым спиртом. Однако экстракция ксантофиллов демонстрирует обратную зависимость: содержание при экстракции глицерином на 21% ниже, чем при экстракции 70%-м этиловым спиртом. В экстрактах определено существенно более высокое содержание ксантофиллов в сравнении с каротинами. Рациональное время процесса экстрагирования составило 7–11 часов в зависимости от способа экстракции.

*Ключевые слова:* экстракция, кинетика, каротиноиды, каротины, ксантофиллы, бурая водоросль *S.miyabei*.

*Работа выполнена при поддержке гранта Президента Российской Федерации МК-4715.2021.4.*

Бурые водоросли широко распространены в Мировом океане и являются сложными многоклеточными растениями. Многообразие водорослей представлено около 240 родами и 1500 видами бурых водорослей [1]. Такое широкое разнообразие представителей данного класса, с одной стороны, является ограничением для всестороннего исследования их биогенного и биотехнологического потенциала, с другой стороны обеспечивает возможности и перспективы их дальнейшего практического использования в качестве источников разнообразных БАВ.

Бурые водоросли характеризуются высоким содержанием БАВ: маннита, йода, альгиновой кислоты и ее солей, фукоидана, фенольных соединений, каротиноидов. Одним из наиболее важных классов БАВ бурых водорослей можно назвать каротиноиды, так как их биологическая активность и возможное практическое применение в различных областях активно изучается [2]. Уникальность каротиноидов бурых водорослей заключается в том, что они в основном представлены ксантофилами,

проявляющими антиоксидантную и радиопротекторную активности [3, 4, 5].

Для дальнейшего применения уникальных биологически активных соединений из бурых водорослей необходимы ресурсоэффективные, высокотехнологичные технологии извлечения с целью получения как комплексов БАВ, так и отдельных представителей. Исходя из этого разработка способов и определение условий извлечения каротиноидов из бурых водорослей является актуальной и перспективной задачей. Биологически активные соединения из бурых водорослей могут быть извлечены с использованием различных технологий. Наиболее часто используется метод экстракции, как статической, так и динамической. Процесс извлечения БАВ из водорослей включает в себя несколько этапов, характерных для экстракции из любой растительной матрицы: первоначальное смачивание поверхности сырья и последующее проникновение экстрагента внутрь клетки через мембраны, десорбция веществ из клетки и растворение их в экстрагенте, массопередача экстрагированных



веществ в экстрагент, перенос веществ в движущемся слое экстрагента [6]. Эффективность экстракции БАВ зависит от многих факторов, таких как: степень и характер измельчения сырья; природа экстрагента; температура; градиент концентраций; гидродинамические условия; продолжительность экстрагирования [7].

С целью увеличения эффективности экстракции БАВ целесообразно использование определенных методов интенсификации технологии в целом и ее отдельных этапов, в частности УЗ-воздействия [8–10].

**Целью работы** является исследование кинетики извлечения каротиноидов и их отдельных групп из бурой водоросли Дальневосточного региона *S.miyabei* разными способами экстракции.

#### **Объекты и методы**

Объекты исследования – экстракты бурой водоросли Японского моря *S.miyabei*, полученные с использованием экстрагентов – этиловый спирт (70%), глицерин (50%) разными методами экстракции.

Содержание каротиноидов в экстрактах определяли спектрофотометрическим методом с использованием спектрофотометра «UV-1800» (Shimadzu), Япония), длина волны 450 нм, растворитель ацетон. Разделение суммарных каротиноидов на каротины и ксантофиллы проводили методом колоночной хроматографии на  $Al_2O_3$ .

С целью исследования кинетики извлечения каротиноидов из бурой водоросли Японского моря *S.miyabei* использовали следующие варианты экстракции:

- статическая экстракция (мацерация) с перемешиванием 1 раз при 25 °С. Масса сырья 1 г, объем экстрагента 20 мл, экстрагент – 70%-й этиловый спирт и 50%-й глицерин;
- статическая экстракция (мацерация с применением ультразвука) при 25 °С. Масса сырья 1 г, объем экстрагента 20 мл, экстрагент – 70%-й этиловый спирт и 50%-й глицерин;
- статическая экстракция (ремацерация) двукратная при 25 °С. Масса сырья 1 г, объем экстрагента – 2 порции по 10 мл, экстрагент – 70%-й этиловый спирт и 50%-й глицерин;
- статическая экстракция (ремацерация с применением ультразвука) двукратная при 25 °С. Масса сырья 1 г, объем экстрагента – 2 порции по 10 мл, экстрагент – 70%-й этиловый спирт и 50%-й глицерин.

Визуализация процесса экстракции каротиноидов из бурой водоросли Японского моря *S.miyabei* осуществлялась построением кинетических кривых. Из каждого экстракта, полученного перечисленными вариантами экстракции, отбирали объем 1 мл через равные промежутки времени (от 1 до 12 часов).

#### **Результаты и их обсуждение**

Извлечение каротиноидов из бурой водоросли Японского моря *S.miyabei* является сложным процессом, на который влияет множество факторов, в частности – используемый экстрагент и его характеристики, температура, давление, использование ультразвука или микроволнового излучения для интенсификации процесса экстракции, режим экстрагирования (однократный, многократный или непрерывный). Влияющие на экстракцию параметры должны исследоваться и учитываться в каждом случае.

Зависимость содержания каротиноидов, а также их отдельных групп в экстрактах, полученных методом мацерации с использованием различных экстрагентов, представлена на рисунке 1.

Представленные на рисунке 1 данные демонстрируют, что на протяжении всего времени экстракции методом мацерации при использовании 70%-го этилового спирта происходит плавное увеличение содержания каротиноидов в 3,1 раза, каротинов в 2,3 раза, ксантофиллов – в 4 раза. Максимум содержания каротиноидов в экстракте, полученном методом мацерации из бурой водоросли *S.miyabei*, определено через 11 часов процесса извлечения для каротиноидов, каротинов и ксантофиллов, затем происходит снижение их выхода. Общая концентрация каротиноидов в экстракте снижается в пределах 1–5% после 11 часов экстрагирования. Дальнейшее увеличение времени незначительно увеличивает содержание каротиноидов в полученных экстрактах. Концентрация ксантофиллов в экстрактах бурой водоросли *S.miyabei* более высокая, чем концентрация каротинов, что обуславливается соотношением этих групп каротиноидов в исходном сырье [11].

Использование в качестве экстрагента 50%-го глицерина является более эффективным для извлечения каротиноидов – после 11 часов экстракции концентрация увеличивается в 4,05 раза, что на 30,6% больше, чем при экстракции 70%-м этиловым спиртом.

Аналогичная зависимость наблюдается для экстракции каротиноидов – содержание увеличивается в 3,1 раза (после 11 часов экстракции), что на 34,8% больше, чем при экстракции 70%-м этиловым спиртом. Однако экстракция ксантофиллов демонстрирует обратную за-

висимость – содержание при экстракции глицерином на 21% ниже, чем при экстракции 70%-м этиловым спиртом.

Следующим этапом было исследование кинетики экстракции БАВ из бурой водоросли *S.miyabei* методом ремацерации с использова-

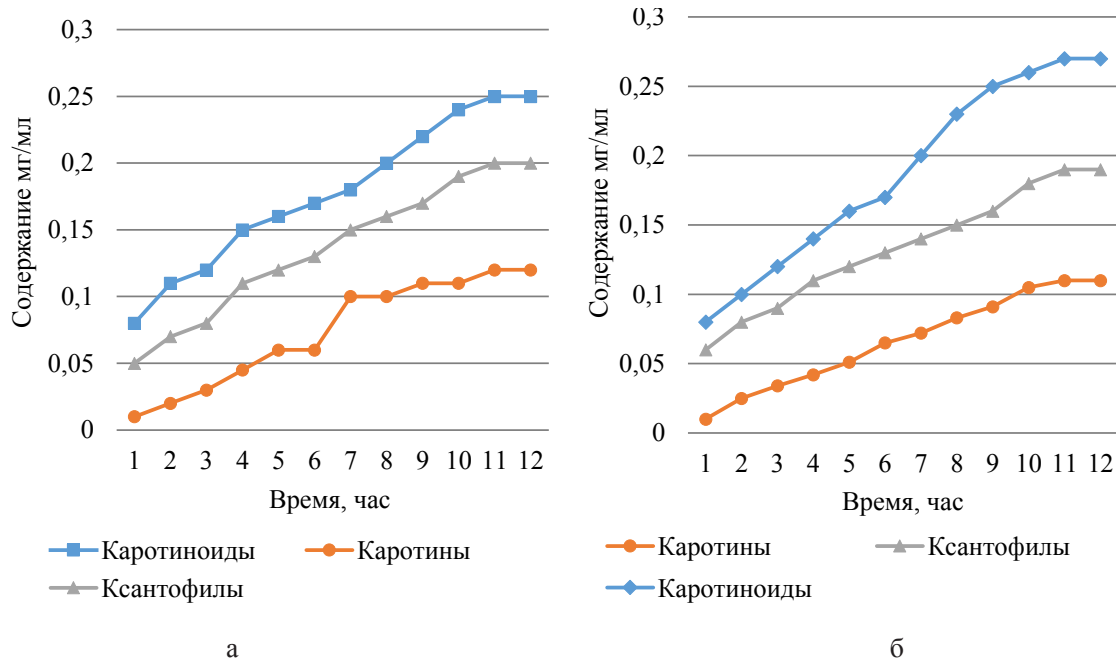


Рис. 1. Кинетические кривые накопления каротиноидов и их групп в экстрактах из бурой водоросли *S.miyabei* методом мацерации: а – экстрагент 70%-й этиловый спирт; б – экстрагент 50%-й глицерин

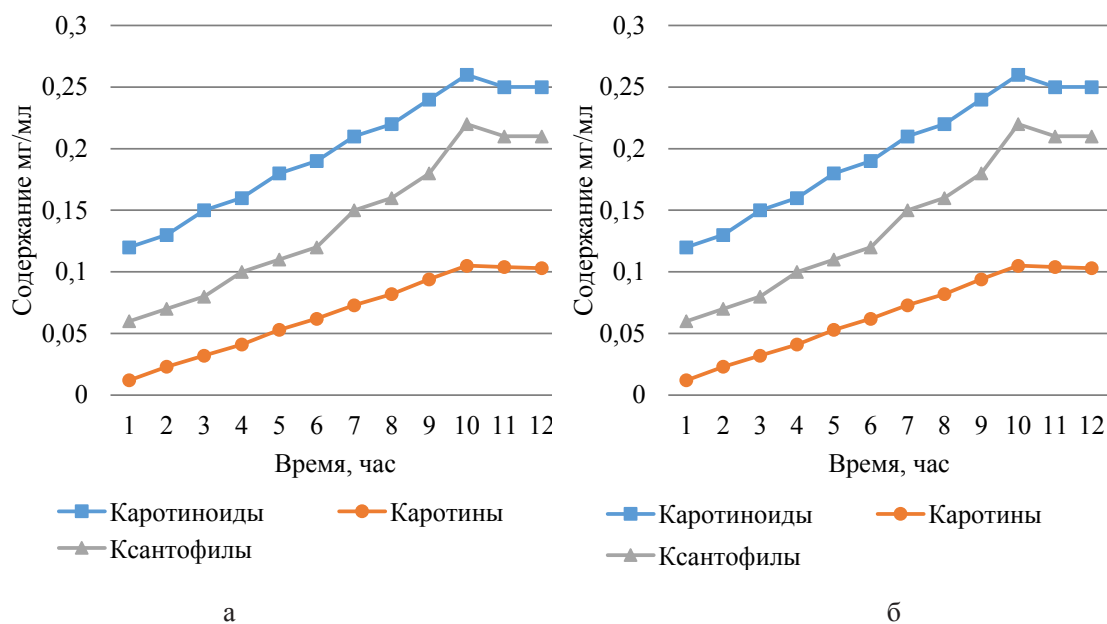


Рис. 2. Кинетические кривые накопления каротиноидов и их групп в экстрактах из бурой водоросли *S.miyabei* методом ремацерации (А – экстрагент 70%-й этиловый спирт, Б – экстрагент 50%-й глицерин)



нием тех же экстрагентов. Полученные данные представлены на рисунке 2.

Из данных рисунка 2 следует, что в течение 10 часов наблюдается равномерное увеличение концентрации каротиноидов в экстрактах до максимума, после 10 часов прирост становится незначительным, что позволяет утверждать, что данное время является рациональным. При экстракции методом ремацерации содержание ксантофиллов существенно превышает содержание каротинов: для 70%-го спирта – на 74%, для 50%-го глицерина – на 90,5%. Это связано с существенным преобладанием ксантофиллов в каротиноидах бурой водоросли *S.miyabei* и специфичностью взаимодействия ксантофиллов с тем или иным экстрагентом. При заданных параметрах увеличение концентрации каротиноидов в процессе экстракции методом ремацерации 70%-м этиловым спиртом и 50%-м глицерином – в 2,2 и 2,9 раза (соответственно), каротинов – в 8,8 и 7,7 раза, ксантофиллов – в 3,3 и 3,7 раза.

Одним из способов интенсификации процессов экстракции является применение различных физических факторов – ультразвуковых колебаний, ИК-излучения, СВЧ-излучения и др. В настоящем исследовании получены результаты влияния УЗ-воздействия на экстракцию

каротиноидов, каротинов и ксантофиллов из бурой водоросли *S.miyabei*. Полученные данные представлены на рисунке 3.

Полученные кинетические зависимости демонстрируют, что при использовании УЗ-воздействия в качестве интенсифицирующего фактора влияния на экстракцию каротиноидов и их групп из бурой водоросли *S.miyabei* наблюдается повышение их выхода. Максимальное содержание извлекаемых БАВ регистрируется при прохождении процесса в течение 9 часов при использовании обоих экстрагентов. Применение 50%-го глицерина является более эффективным, чем 70%-го этанола – содержание каротиноидов в экстракте превышает на 6%, ксантофиллов – на 19%, каротинов – на 23%.

Кинетические кривые накопления каротиноидов и их групп в экстрактах из бурой водоросли *S.miyabei* методом ремацерации с использованием УЗ-воздействия представлены на рисунке 4.

При использовании ремацерации с УЗ-воздействием полученные результаты демонстрируют различную кинетику, зависящую от применяемого экстрагента. При использовании 70%-го этанола максимум содержания каротиноидов, каротинов и ксантофиллов в экстракте

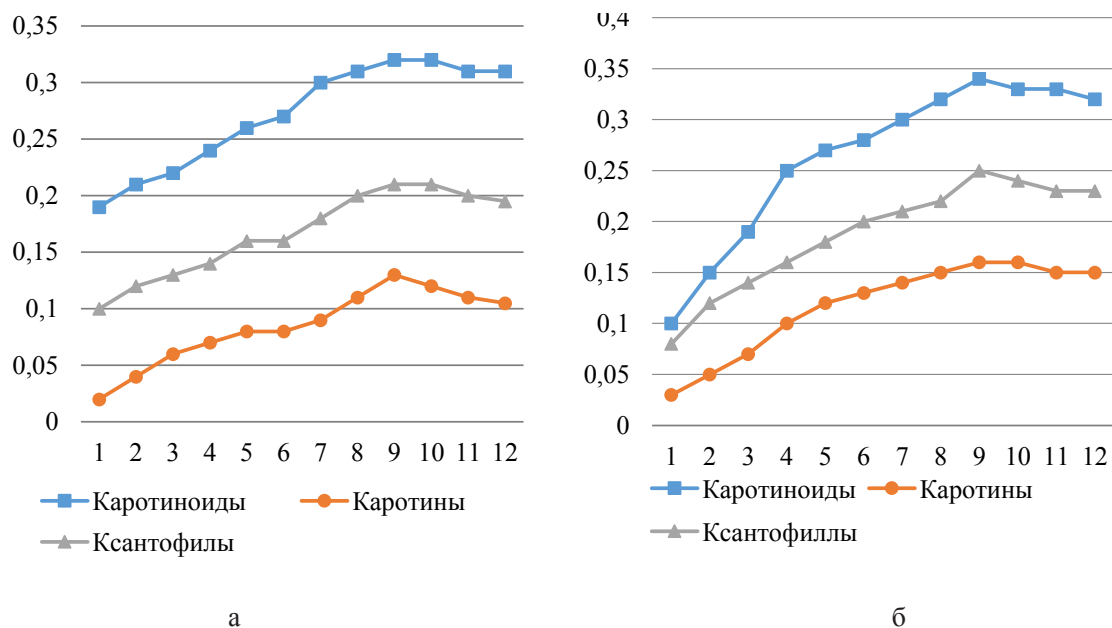


Рис. 3. Кинетические кривые накопления каротиноидов и их групп в экстрактах из бурой водоросли *S.miyabei* методом мацерации с использованием УЗ-воздействия: а – экстрагент 70%-й этиловый спирт; б – экстрагент 50%-й глицерин

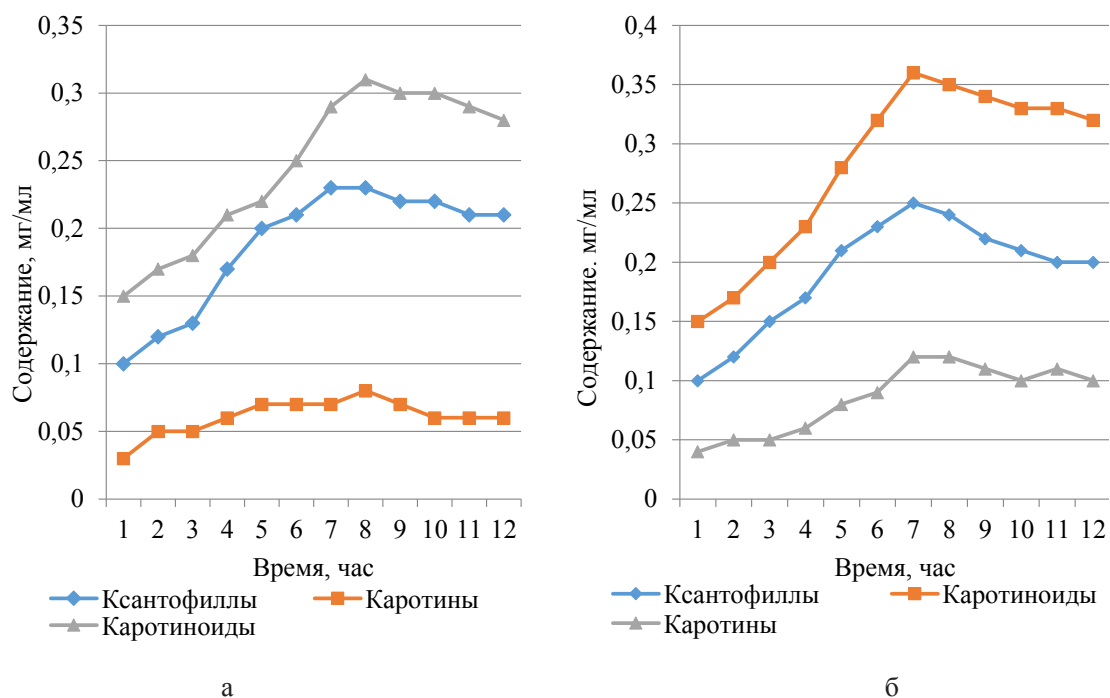


Рис. 4. Кинетические кривые накопления каротиноидов и их групп в экстрактах из бурой водоросли *S.miyabei* методом ремацерации с использованием УЗ-воздействия: а – экстрагент 70%-й этиловый спирт; б – экстрагент 50%-й глицерин

достигается через 8 часов, а в случае использования 50%-го глицерина – через 7 часов. Содержание каротиноидов и их групп в глицериновых экстрактах более высокое, чем в этанольных.

### Выводы

Кинетика извлечения каротиноидов и их групп из бурой водоросли *S.miyabei* определяется используемым экстрагентом и методом экстракции. Раствор 50%-го глицерина является более эффективным экстрагентом для каротиноидов, каротинов и ксантофиллов из бурой водоросли *S.miyabei*, чем раствор 70%-го этанола. В экстрактах определено существенно более высокое содержание ксантофиллов в сравнении с каротинами. Рациональное время процесса экстрагирования составило 7–11 часов в зависимости от способа экстракции.

### Список литературы

1. Суховеева М. С., Подкорытова А. В. Промысловые водоросли и травы морей Дальнего Востока: биология, распространение, запасы, технология переработки : монография. Владивосток : ТИПРО-центр, 2006. 243 с.

2. Gaurav Rajauria In-vitro antioxidant properties of lipophilic antioxidant compounds from 3 brown seaweed // *Antioxidants*. 2019. Vol. 8 (12). P. 596–599. DOI:10.3390/antiox8120596.

3. Meresse Sarah, Mostefa Fodil, Fabrice Fleury Fucoxanthin, a marine-derived carotenoid from brown seaweeds and microalgae: a promising bioactive compound for cancer therapy // *International journal of molecular sciences*. 2020. Vol. 21 (23). P. 9273–9278. DOI:10.3390/ijms21239273.

4. Valentina Jesumani, Hong Du, Muhammad Aslam Potential use of seaweed bioactive compounds in skincare // *Marine drugs*. 2019. № 17 (12). P. 688–694. DOI: 10.3390/md17120688.

5. Antioxidant properties of edible sea weed from the Northern Coast of the Sea of Japan / A. V. Tabakaev [et al.] // *Foods and Raw Materials*. 2021. V. 9 (2). P. 262–270. DOI: 10.21603/2308-4057-2021-2-262-270.

6. Пономарев В. Д. Экстрагирование лекарственного сырья. М. : Медицина, 1976. 202 с.

7. Леонова М. В., Климочкин Ю. Н. Экстракционные методы изготовления лекарственных средств из растительного сырья : учеб.-мет.



год. пособие. Самара : Самар. гос. техн. ун-т, 2012. 118 с.

8. Жматова Г. В. Методы интенсификации технологических процессов экстрагирования биологически активных веществ из растительного сырья // Вестник ТГТУ. 2005. Т. 11. № 3. С. 701–707.

9. Фролов В. В., Мозговой И.В. Ультразвуковая интенсификация химических процессов в потоке // Технические науки – от теории к практике : сб. ст. по матер. XXIV Междунар. науч.-практ. конф. Новосибирск : СибАК, 2013. С. 25–27.

10. Мищенко Е. В. Обзор использования ультразвукового экстрагирования компонентов из растительного сырья // Вестник ОрелГАУ. 2015. № 2. С. 51–60.

11. Tabakaev A. V., Tabakaeva O. V. Comparative characteristics of carotenoid profiles and antiradical properties of extracts of brown kelp from the sea of Japan // Chemistry of natural compounds. Vol. 58. №. 2. P. 352–354. DOI: 10.1007/s10600-022-03678-x.

---

**Табакеев Антон Вадимович**, канд. техн. наук, ассистент, Департамент пищевых наук и технологий Школы наук о жизни и биомедицины, Дальневосточный федеральный университет.

E-mail: tabakaev92@mail.ru.

**Табакеева Оксана Вацлавовна**, д-р техн. наук, доцент, профессор, Департамент пищевых наук и технологий Школы наук о жизни и биомедицины, Дальневосточный федеральный университет.

E-mail: tabakaev92@mail.ru.

**Приходько Юрий Вадимович**, д-р техн. наук, профессор, профессор Департамента пищевых наук и технологий Школы наук о жизни и биомедицины, Дальневосточный федеральный университет.

E-mail: tabakaev92@mail.ru.

**Валевич Анастасия Леонидовна**, аспирант, Департамент пищевых наук и технологий Школы наук о жизни и биомедицины, Дальневосточный федеральный университет.

E-mail: tabakaev92@mail.ru.

\* \* \*