

УДК 542.61

## ВЛИЯНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ НА ОБРАЗОВАНИЕ ЭМУЛЬСИОННОГО ЭКСТРАКТА ДРЕВЕСНОЙ ЗЕЛЕНИ СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ

© Н.Н. Никонова\*, Ф.В. Легкий, Т.В. Хуришкainen, А.В. Кучин

Институт химии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, ул. Первомайская, 48,  
Сыктывкар, 167000 (Россия), e-mail: lifedream123456789@gmail.com

Представленное исследование посвящено анализу экстрактов, полученных из древесной зелени сосны эмульсионным методом и повышению эффективности извлечения экстрактивных веществ. Хвойная древесная зелень является богатым источником соединений, которые обладают поверхностно-активными свойствами (соли смоляных и жирных кислот, фосфолипиды, глицериды и т.д.), благодаря чему появляется возможность получать эмульсионные экстракты. Определено влияние концентрации водного раствора щелочи, гидромодуля и продолжительности экстракции на формирование эмульсии и ее качество (размер частиц дисперсионной фазы и их распределение). Анализ экстрактов проведен методом оптической микроскопии. Установлено, что концентрация водного раствора щелочи 3%, гидромодуль 1/8 и продолжительность экстракции 30 мин способствует образованию эмульсии типа «масло в воде» со средним размером частиц дисперсионной фазы 2.5 мкм, равномерно распределенных по всему объему дисперсионной среды. В установленных параметрах образуется качественная эмульсия и происходит эффективное извлечение липофильных нейтральных компонентов исследуемого сырья.

*Ключевые слова:* экстракция, водный раствор щелочи, эмульсия, древесная зелень, *Pinus sylvestris*, поверхность раздела фаз, низкомолекулярные компоненты.

### Введение

Переработка отходов лесозаготовок для получения товарных продуктов приобретает все большее распространение. В хвойной древесной зелени (ДЗ) содержатся фенольные соединения, эфирные масла, терпеноиды, каротиноиды и другие соединения, обладающие широким спектром биологической активности, что определяет перспективы переработки сырья с целью получения препаратов для медицины, косметологии, сельского хозяйства [1–7].

Извлечение экстрактивных веществ (ЭВ) из растительного сырья проводят органическими растворителями (гексан, этанол, ацетон, этилацетат и др.) в различных условиях [1, 8–11]. Однако такие растворители, как метанол, гексан, бензол в больших концентрациях отличаются достаточно высоким токсическим действием на живые организмы [12, 13].

---

*Никонова Наталья Николаевна* – кандидат технических наук, младший научный сотрудник лаборатории органического синтеза и химии природных соединений, e-mail: lifedream123456789@gmail.com

*Легкий Филипп Васильевич* – старший лаборант лаборатории ультрадисперсных систем, e-mail: philipp2374372@mail.ru

*Хуришкainen Татьяна Владимировна* – кандидат химических наук, доцент, старший научный сотрудник лаборатории органического синтеза и химии природных соединений, e-mail: hurshkainen@chemi.komisc.ru

*Кучин Александр Васильевич* – доктор химических наук, академик РАН, профессор, заведующий лабораторией органического синтеза и химии природных соединений, e-mail: kutchin-av@chemi.komisc.ru

Для решения проблемы загрязнения окружающей среды в Институте химии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН разработан способ переработки растительного сырья с использованием в качестве экстрагента водного раствора щелочи. Данный экстрагент отличается своей доступностью, высокой эффективностью и не содержит токсичных примесей. В процессе обработки сырья образуется эмульсионный раствор, который содержит соли карбоновых кислот, обладающих поверхностно-активными свойствами.

---

\* Автор, с которым следует вести переписку.

Очевидно, что технология получения эмульсионных экстрактов требует знания особенностей всех происходящих при этом процессов для эффективного выделения экстрактивных веществ. Ранее нами была проведена оптимизация условий выделения суммы ЭВ из ДЗ сосны методом эмульсионной экстракции [14]. Задача данного исследования заключалась в повышении эффективности извлечения экстрактивных веществ за счет подбора технологических условий, влияющих на формирование эмульсии.

Известно, что качество образовавшейся эмульсии имеет влияние на качество извлечения целевых компонентов. При этом под качеством эмульсии подразумевается равномерное распределение капель дисперсной фазы в дисперсионной среде. Причем необходимо добиться оптимального соотношения между средами, чтобы эмульсия являлась не перенасыщенной и одновременно не крайне разбавленной и неспособной к эффективному массопереносу между фазами [15, 16].

Цель данной работы – оценка влияния технологических параметров водно-щелочной экстракции веществ из ДЗ сосны на образование эмульсии и ее качество (размер частиц дисперсной фазы и их распределение).

### **Экспериментальная часть**

ДЗ сосны (*Pinus sylvestris* L.) была собрана в пригородных лесах г. Сыктывкара, Республика Коми, Россия. Размол веток проводили на шнековом измельчителе до фракции 2–5 мм. Измельченное сырье хранили в морозильной камере. Перед проведением опытов определяли влажность сырья по методу Дина и Старка [17]. Сырье экстрагировали эмульсионным методом водным раствором NaOH [18]. Опыты проводили в лабораторном экстракторе объемом 1 л с механическим перемешиванием (1000 об/мин). Измельченное сырье (50 г) настаивали в 5%-м водном растворе NaOH при соотношении массы сырья к объему щелочного раствора (гидромодуль (Г/М)) 1/10 в течение 60 мин. Далее проводили перемешивание смеси в течение 30 мин. Дальнейшие опыты проводили при варьировании значений ГМ 1/8 и 1/10, концентрации водного раствора NaOH 3 и 5%, продолжительности обработки 20–90 мин (табл. 1).

Для определения выхода экстрактивных веществ полученную гетерогенную смесь фильтровали на воронке Бюхнера для отделения твердой фазы. Выход ЭВ определяли, суммируя массу кислых и нейтральных компонентов, выделенных из полученного эмульсионного экстракта кислотно-основным методом [19].

*Анализ экстракта.* Непосредственно после завершения экстракции производился анализ образовавшейся эмульсии. Для отделения жидкой фазы и концентрирования эмульсии, полученную смесь отбирали в пробирку типа Эппендорф вместимостью 1.5 мл и центрифугировали в течение 10 мин при центробежном ускорении 14500 g. Отбирали микропипеткой надосадочную жидкость и анализировали с использованием оптического микроскопа Olympus BX53 при тысячекратном увеличении. Для увеличения апертуры оптической системы использовали иммерсионное масло с показателем преломления 1.518. Снимки производились с помощью камеры Altam в светлом поле, а также в темном поле в ультрафиолетовом свете. Определение размера капель осуществляли с использованием программного обеспечения ImageJ.

### **Обсуждение результатов**

Образование устойчивых эмульсий типа «масло в воде» всегда связано с наличием в данной системе стабилизатора (поверхностно-активных веществ), который концентрируется на границе раздела жидких фаз, снижая таким образом поверхностное натяжение дисперсной фазы за счет повышения электрического заряда на поверхности микрокапель [20]. Электростатическое отталкивание между микрокаплями препятствует их дальнейшей коалесценции, что придает эмульсии большую или меньшую устойчивость [16]. Применяемый нами метод эмульсионной экстракции основан на обработке измельченного растительного сырья (ДЗ) водно-щелочными растворами. В щелочных растворах происходит омыление липофильных веществ (триглицеридов, свободных жирных и смоляных кислот и др.) с образованием солей, которые являются поверхностно-активными веществами (ПАВ), способствующими образованию эмульсии. Интенсивное перемешивание позволяет увеличить площадь поверхности липофильной фазы и интенсифицировать процессы массопереноса, при этом образуются мицеллы, способные включать в себя липиды ДЗ.

При извлечении ЭВ из ДЗ сосны в установленных ранее оптимальных условиях (концентрация водного раствора щелочи 5%, гидромодуль 1/10, перемешивание в течение 90 мин при температуре 50 °С) [14] получен Экстракт 1. Выход ЭВ составил 9.5% от массы сухого сырья (табл. 2). Для оценки влияния технологических параметров на формирование эмульсии проводили анализ экстракта микроскопическим методом

с определением среднего диаметра микрокапель дисперсной фазы, а также распределения микрокапель по диаметру в дисперсионной среде.

На микрофотографии Экстракта 1 наблюдаются капли масла, сорбированные на твердых растительных частицах сырья (рис. 1А). При съемке в темном поле в ультрафиолетовом свете красная флуоресценция связана с наличием растворенных в масле растительных пигментов, а в синяя флуоресценция – с волокнами твердых частиц (рис. 1Б). Эмульсия Экстракта 1 представляет собой крупные агломераты волокон, смоченных маслом, прочно удерживающихся между собой, в связи с чем оценка среднего размера капель масла является невозможной и нецелесообразной.

На следующем этапе для исследования влияния концентрации водно-щелочного раствора на образование эмульсии были получены эмульсионные экстракты с использованием концентрации водного раствора щелочи 3% (Экстракт 2) и 10% (Экстракт 3). При увеличении концентрации щелочи выход кислых компонентов резко снижается (табл. 2), что можно объяснить процессами окисления и полимеризации соединений в сильно щелочной среде.

На микрофотографиях Экстракта 2 наблюдается разбавленная эмульсия. Микрокапли масла имеют сферическую форму и не коалесцированы (рис. 2А), что позволило определить их размер: от 0.8 до 5.9 мкм, средний размер – 1.8 мкм. На микрофотографии Экстракта 3 наблюдаются частицы растительного сырья и сорбируемые на них капли масла (рис. 2Б).

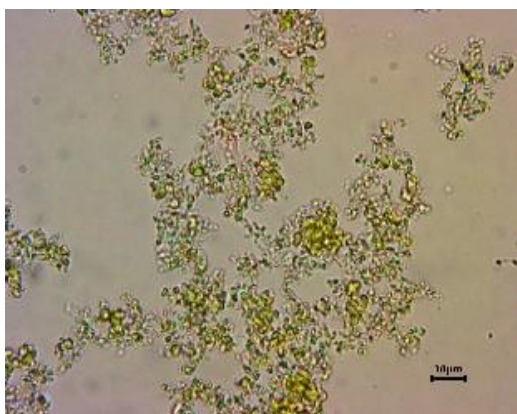
Из полученных данных следует, что концентрация водно-щелочного раствора влияет на образование эмульсии, на формирование и устойчивость капель масла в эмульсии. Чем ниже концентрация водного раствора NaOH, тем качественнее образуется эмульсия, что способствует более эффективному извлечению нейтральных компонентов (табл. 2).

На следующем этапе был получен Экстракт 4 с использованием гидромодуля 1/8 и концентрации водно-щелочного раствора 3%. Уменьшение количества экстрагента способствует большему извлечению масляной фазы, что подтверждается повышением выхода нейтральных компонентов в 2 раза (табл. 2). На микрофотографии Экстракта 4 непосредственно после экстракции наблюдается неоднородная эмульсия, которая содержит частицы дисперсной фазы больших и средних размеров, при чем их распределение по объему дисперсионной среды не равномерно (рис. 3А). На микрофотографии экстракта 4 через 1 ч (рис. 3Б) наблюдается коалесценция микрокапель в крупные капли, что говорит о плохой устойчивости образовавшейся эмульсии.

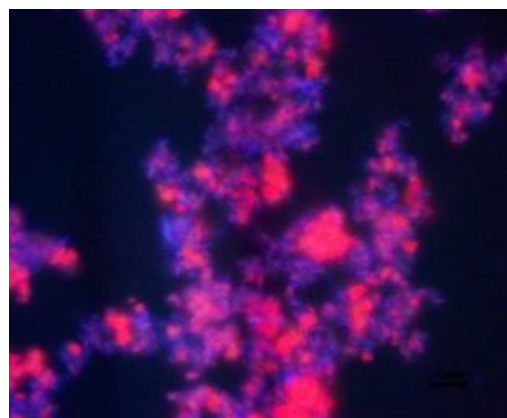
Дальнейшее уменьшение гидромодуля невозможно из-за технологических ограничений – происходит интенсивное пенообразование реакционной смеси, что затрудняет анализ экстракта.

Таблица 1. Условия получения экстрактов

Условия экстракции	Экстракт 1	Экстракт 2	Экстракт 3	Экстракт 4	Экстракт 5	Экстракт 6
Концентрация раствора NaOH, %	5	3	10	3	3	3
Гидромодуль	1/10	1/10	1/10	1/8	1/8	1/8
Продолжительность настаивания, мин	60	60	60	60	–	–
Продолжительность перемешивания, мин	30	30	30	30	30	20



А

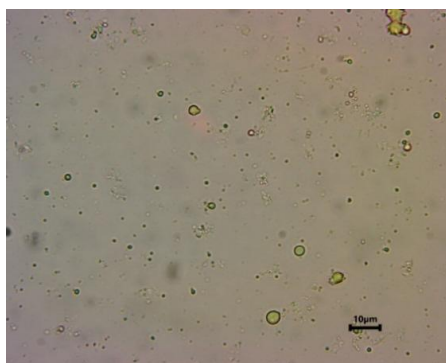


Б

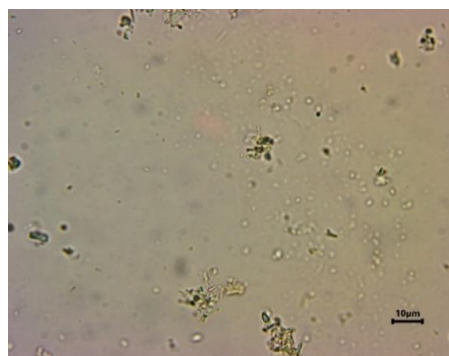
Рис. 1. Микрофотографии Экстракта 1: А – в видимой области, Б – в УФ области

Таблица 2. Выход экстрактивных веществ, % от массы сухого сырья

Экстрактивные вещества	Экстракт 1	Экстракт 2	Экстракт 3	Экстракт 4	Экстракт 5	Экстракт 6
Нейтральные компоненты	0.7±0.12	0.8±0.07	0.5±0.2	1.6±0.09	2.2±0.2	1.1±0.11
Кислые компоненты	8.8±0.07	6.6±0.09	1.6±0.13	6.7±0.1	7.3±0.3	7.5±0.08
Сумма	9.5	7.4	2.1	8.3	9.5	8.6



А



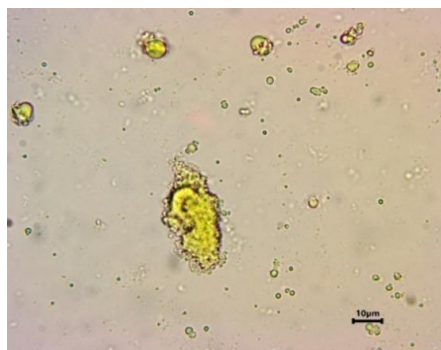
Б

Рис. 2. Микрофотографии экстрактов: А – Экстракт 2 (концентрация NaOH 3%), Б – Экстракт 3 (концентрация NaOH 10%)

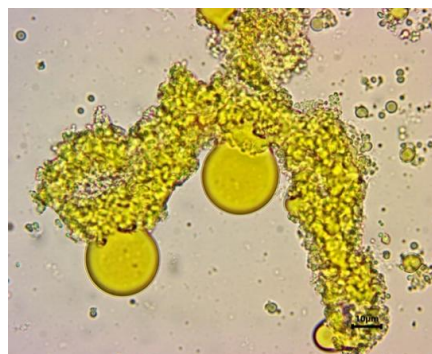
При уменьшении продолжительности обработки до 30 мин и исключении стадии настаивания выход ЭВ увеличился и составил 9.5% от массы сухого сырья (Экстракт 5). На микрофотографии Экстракта 5 наблюдаются мелкие капли масла сферической формы с размерами от 0.9 до 4.9 мкм (средний размер 2.5 мкм), равномерно распределенные по всему объему дисперсионной среды (рис. 4А), что говорит об эффективности образования эмульсии и повышении ее стабильности, благодаря чему происходит более полное извлечение липофильных нейтральных компонентов (табл. 2).

При дальнейшем уменьшении продолжительности обработки до 20 мин выход нейтральных компонентов уменьшился в 2 раза в сравнении с обработкой сырья в течение 30 мин (табл. 2) (Экстракт 6). На микрофотографии Экстракта 6 наблюдаются мелкие сферические капли, но их количество значительно уменьшается по сравнению с Экстрактом 5 (рис. 4Б). Это может говорить о недостаточной продолжительности обработки для эффективного извлечения масляной фазы. Оценка среднего размера капель масла является невозможной из-за малого количества дисперсной фазы.

Таким образом установлено, что технологические условия переработки ДЗ сосны водно-щелочным раствором влияют на образование, характеристики и качество эмульсии. При уменьшении количества экстрагента по отношению к растительному сырью, уменьшении концентрации щелочи до 3% и сокращении времени контакта фаз до 30 мин, образуется эмульсия с равномерным распределением дисперсной фазы в дисперсионной среде и в результате повышается степень извлечения экстрактивных веществ.



А



Б

Рис. 3. Микрофотография Экстракта 4: А – непосредственно после экстракции, Б – через 1 ч после экстракции

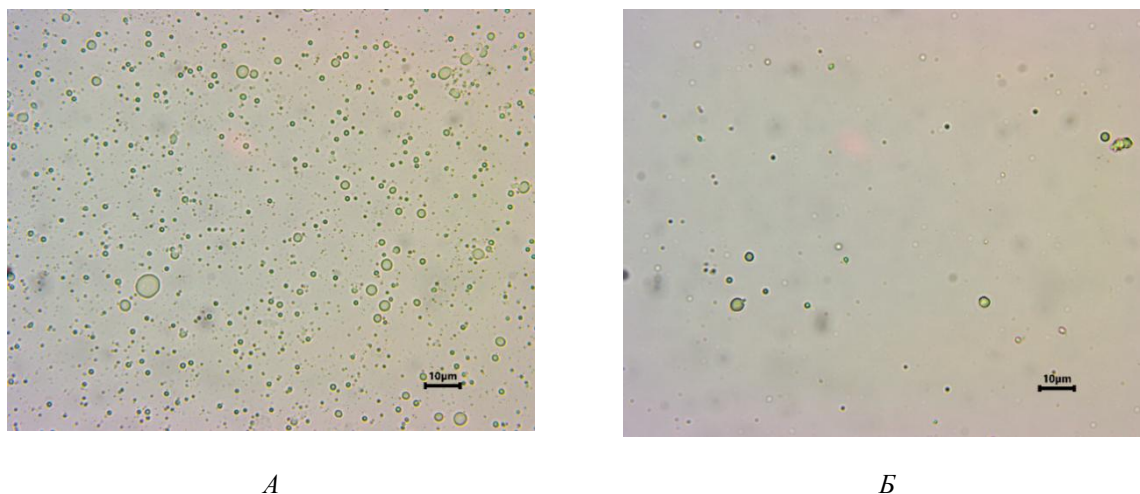


Рис. 4. Микрофотографии экстрактов: А – Экстракт 5, Б – Экстракт 6

### Заключение

Проведенное исследование позволило оценить влияние технологических параметров водно-щелочной экстракции веществ из ДЗ сосны на образование эмульсии и за счет этого повысить эффективность степени извлечения экстрактивных веществ.

При обработке измельченного растительного сырья водным раствором щелочи 3%, гидромодуле 1/8 и продолжительности обработки 30 мин экстракт представляет собой двухфазную систему, состоящую из двух несмешивающихся жидкостей, в которой дисперсная фаза с размером частиц 2.5 мкм, стабилизированная природными поверхностно-активными веществами, распределена по всему объему дисперсионной среды. Частицы дисперсной фазы представляет собой липофильную фракцию компонентов ДЗ сосны, дисперсионная среда – водно-щелочной раствор с содержанием водорастворимых компонентов растительного сырья. Выход экстрактивных веществ в этих условиях составил 9.5% от массы сухого сырья.

### Список литературы

1. Manninen A.M., Tarhainen S., Vuorinen M., Kainulainen P. Comparing the variation of needle and wood terpenoids in Scots pine provenances // *J. Chem. Ecol.* 2002. Vol. 28. Pp. 211–228. DOI: 10.1023/A:1013579222600.
2. Лацерус Л.А., Барышников А.Ю. Противоопухолевая активность терпеноидов семейства Pinaceae и потенциальные мишени их действия // *Российский биотерапевтический журнал.* 2012. Т. 11. №4. С. 9–14.
3. Tanaka R., Tokuda H., Ezaki Y. Cancer chemopreventive activity of “rosin” constituents of *Pinus spez.* and their derivatives in two-stage mouse skin carcinogenesis test // *Phytomedicine.* 2008. Vol. 15. Pp. 985–992. DOI: 10.1016/j.phymed.2008.02.020.
4. Karonen M., Hamalainen M., Nieminen R., Klika K.D., Loponen J., Ovcharenko V.V., Moilanen E., Pihlaja K. Phenolic extractives from the bark of *Pinus sylvestris* L. and their effects on inflammatory mediators nitric oxide and prostaglandin E2 // *J. Agric. Food Chem.* 2004. Vol. 52. Pp. 7532–7540. DOI: 10.1021/jf048948q.
5. Xue J.J., Fan C.Q., Dong L., Yang S.P., Yue J.M. Novel antibacterial diterpenoids from *Larix chinensis* Beissn // *Chem. Biodivers.* 2004. Vol. 1. Pp. 1702–1707. DOI: 10.1002/cbdv.200490128.
6. Alfredsen G., Solheim H., Slimestad R. Antifungal effect of bark extracts from some European tree species // *Eur. J. Forest Res.* 2008. Vol. 127. Pp. 387–393. DOI: 10.1007/s10342-008-0222-x.
7. Ушанова В.М. Переработка древесной зелени и коры пихты сибирской с получением биологически активных продуктов // *Хвойные бореальной зоны.* 2013. №1–2. С. 138–142.
8. Slimestad R. Flavonoids in buds and young needles of *Picea*, *Pinus* and *Abies* // *Biochemical Systematics and Ecology.* 2003. Vol. 31 (11). Pp. 1247–1255. DOI: 10.1016/S0305-1978(03)00018-8.
9. Chen Y.-H., Hsieh P.-C., Mau J.-L., Sheu S.-C. Antioxidant properties and mutagenicity of *Pinus morrisonicola* and its vinegar preparation // *LWT – Food Science and Technology.* 2011. Vol. 44. №6. Pp. 1477–1481. DOI: 10.1016/j.lwt.2011.01.016.
10. Arrabal C., Garcia-Vallejo M.C., Cadahia E., Cortijo M., Simon B.F. Characterization of two chemotypes of *Pinus pinaster* by their terpene and acid patterns in needles // *Plant Syst. Evol.* 2012. N298. Pp. 511–522. DOI: 10.1007/s00606-011-0562-8.
11. Basas-Jaumandreu J., López J.F., de las Heras F.X.C. Labdane-type diterpenoids from *Juniperus communis* needles // *Industrial Crops and Products.* 2015. Vol. 76. Pp. 333–345. DOI: 10.1016/j.indcrop.2015.07.005.



12. Heipieper H.J., Weber F.J., Sikkema J., Keweloh H., de Bont J.A.M. Mechanisms of resistance of whole cells to toxic organic solvents // *Trends in Biotechnology*. 1994. Vol. 12(10). Pp. 409–415. DOI: 10.1016/0167-7799(94)90029-9.
13. Chemat F., Abert-Vian M., Fabiano-Tixier A.S., Strube J., Uhlenbrock L., Gunjevic V., Cravotto G. Green extraction of Natural Products. Origins, Current Status, and Future Challenges // *Trends in Analytical Chemistry*. 2019. Vol. 118. Pp. 248–263. DOI: 10.1016/j.trac.2019.05.037.
14. Никонова Н.Н., Хуршкainen Т.В., Кучин А.В. Математическое планирование эксперимента для оптимизации выделения экстрактивных веществ из древесной зелени *Pinus Sylvestris* // *Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии*. 2021. Вып. 235. С. 221–237.
15. Серенко А.А., Зеленецкая Е.П. Исследование процесса образования эмульсионного слоя в центробежном экстракторе // *Международный научно-исследовательский журнал*. 2018. №5(71). С. 32–37.
16. Lu G.W., Gao P. Emulsions and microemulsions for topical and transdermal drug delivery // *Handbook of non-invasive drug delivery systems*. 2010. Pp. 59–94. DOI: 10.1016/B978-0-8155-2025-2.10003-4.
17. Колесников А.Л. Технический анализ продуктов органического синтеза. М.: Высшая школа, 1966. С. 22.
18. Патент №2161149 (РФ). Способ выделения биологически активной суммы кислот из древесной зелени пихты / А.В. Кучин, Л.П. Карманова, Т.В. Хуршкainen. – 2000.
19. Патент №2117487 (РФ). Эмульсионный способ выделения липидов / А.В. Кучин, Л.П. Карманова, А.А. Королёва, Т.В. Хуршкainen, Р.Л. Сычёв. – 1998.
20. Цымбалов А.С. Влияние поверхностно-активных веществ на диспергирование и стабильность водомасляных эмульсий // *Современные наукоемкие технологии. Региональное приложение*. 2018. №3(55). С. 108–119.

*Поступила в редакцию 28 ноября 2022 г.*

*После переработки 7 декабря 2022 г.*

*Принята к публикации 7 декабря 2022 г.*

**Для цитирования:** Никонова Н.Н., Легкий Ф.В., Хуршкainen Т.В., Кучин А.В. Влияние технологических параметров на образование эмульсионного экстракта древесной зелени сосны обыкновенной // *Химия растительного сырья*. 2023. №2. С. 319–325. DOI: 10.14258/jcprm.20230212176.

*Nikonova N.N.\**, *Legkiy F.V.*, *Khurshkainen T.V.*, *Kuchin A.V.* INFLUENCE OF TECHNOLOGICAL PARAMETERS ON THE FORMATION OF AN EMULSION EXTRACT OF WOODY GREENS OF SCOTS PINE

*Institute of Chemistry FRC Komi Science Center Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, ul. Pervomayskaya, 48, Syktyvkar, 167000 (Russia), e-mail: lifedream123456789@gmail.com*

The present study is devoted to the analysis of extracts obtained from pine tree greens by the emulsion method and to increasing the efficiency of extraction of extractive substances. Coniferous tree greens are a rich source of compounds that have surface-active properties (resin and fatty acid salts, phospholipids, glycerides, etc.), which makes it possible to obtain emulsion extracts. The influence of the concentration of an aqueous solution of alkali, hydromodulus and duration of extraction on the formation of an emulsion and its quality (particle size of the dispersed phase and their distribution) was determined. Extracts were analyzed by optical microscopy. It has been established that the concentration of an aqueous solution of alkali is 3%, the hydromodulus is 1/8, and the duration of extraction is 30 min, which contributes to the formation of an oil-in-water emulsion with an average particle size of the dispersed phase of 2.5  $\mu\text{m}$ , uniformly distributed throughout the volume of the dispersion medium. In the set parameters, a high-quality emulsion is formed and the lipophilic neutral components of the studied raw materials are effectively extracted.

**Keywords:** extraction, alkali aqueous solution, emulsion, tree greens, *Pinus sylvestris*, phase interface, low molecular weight components.

---

\* Corresponding author.

**References**

1. Manninen A.M., Tarharnen S., Vuorinen M., Kainulainen P. *J. Chem. Ecol.*, 2002, vol. 28, pp. 211–228. DOI: 10.1023/A:1013579222600.
2. Latserus L.A., Baryshnikov A.Yu. *Rossiyskiy bioterapevticheskiy zhurnal*, 2012, vol. 11, no. 4, pp. 9–14. (in Russ.).
3. Tanaka R., Tokuda H., Ezaki Y. *Phytomedicine*, 2008, vol. 15, pp. 985–992. DOI: 10.1016/j.phymed.2008.02.020.
4. Karonen M., Hamalainen M., Nieminen R., Klika K.D., Loponen J., Ovcharenko V.V., Moilanen E., Pihlaja K. *J. Agric. Food Chem.*, 2004, vol. 52, pp. 7532–7540. DOI: 10.1021/jf048948q.
5. Xue J.J., Fan C.Q., Dong L., Yang S.P., Yue J.M. *Chem. Biodivers.*, 2004, vol. 1, pp. 1702–1707. DOI: 10.1002/cbdv.200490128.
6. Alfredsen G., Solheim H., Slimestad R. *Eur. J. Forest Res.*, 2008, vol. 127, pp. 387–393. DOI: 10.1007/s10342-008-0222-x.
7. Ushanova V.M. *Khvoynnye boreal'noy zony*, 2013, no. 1–2, pp. 138–142. (in Russ.).
8. Slimestad R. *Biochemical Systematics and Ecology*, 2003, vol. 31 (11), pp. 1247–1255. DOI: 10.1016/S0305-1978(03)00018-8.
9. Chen Y.-H., Hsieh P.-C., Mau J.-L., Sheu S.-C. *LWT – Food Science and Technology*, 2011, vol. 44, no. 6, pp. 1477–1481. DOI: 10.1016/j.lwt.2011.01.016.
10. Arrabal C., Garcia-Vallejo M.C., Cadahia E., Cortijo M., Simon B.F. *Plant Syst. Evol.*, 2012, no. 298, pp. 511–522. DOI: 10.1007/s00606-011-0562-8.
11. Basas-Jaumandreu J., López J.F., de las Heras F.X.C. *Industrial Crops and Products*, 2015, vol. 76, pp. 333–345. DOI: 10.1016/j.indcrop.2015.07.005.
12. Heipieper H.J., Weber F.J., Sikkema J., Keweloh H., de Bont J.A.M. *Trends in Biotechnology*, 1994, vol. 12(10), pp. 409–415. DOI: 10.1016/0167-7799(94)90029-9.
13. Chemat F., Abert-Vian M., Fabiano-Tixier A.S., Strube J., Uhlenbrock L., Gunjevic V., Cravotto G. *Trends in Analytical Chemistry*, 2019, vol. 118, pp. 248–263. DOI: 10.1016/j.trac.2019.05.037.
14. Nikonova N.N., Khurshkaynen T.V., Kuchin A.V. *Izvestiya Sankt-Peterburgskoy lesotekhnicheskoy akademii*, 2021, no. 235, pp. 221–237. (in Russ.).
15. Serenko A.A., Zelenetskaya Ye.P. *Mezhdunarodnyy nauchno-issledovatel'skiy zhurnal*, 2018, no. 5(71), pp. 32–37. (in Russ.).
16. Lu G.W., Gao P. *Handbook of non-invasive drug delivery systems*, 2010, pp. 59–94. DOI: 10.1016/B978-0-8155-2025-2.10003-4.
17. Kolesnikov A.L. *Tekhnicheskii analiz produktov organicheskogo sinteza*. [Technical Analysis of Organic Synthesis Products]. Moscow, 1966, p. 22. (in Russ.).
18. Patent 2161149 (RU). 2000. (in Russ.).
19. Patent 2117487 (RU). 1998. (in Russ.).
20. Tsymbalov A.S. *Sovremennyye naukoemkiye tekhnologii. Regional'noye prilozheniye*, 2018, no. 3(55), pp. 108–119. (in Russ.).

Received November 28, 2022

Revised December 7, 2022

Accepted December 7, 2022

**For citing:** Nikonova N.N., Legkiy F.V., Khurshkainen T.V., Kuchin A.V. *Khimiya Rastitel'nogo Syr'ya*, 2023, no. 2, pp. 319–325. (in Russ.). DOI: 10.14258/jcprm.20230212176.

