



Научная статья

2.6.13 – Процессы и аппараты химических технологий (технические науки)

УДК 66.061.34

doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2023.03.028

 EDN: [EEYMSX](https://elibrary.ru/EEYMSX)

## ЭКСТРАГИРОВАНИЕ ИЗ ТВЕРДЫХ ВЕЩЕСТВ

Рубцова Лариса Николаевна<sup>1</sup>, Сорокин Владислав Валерьевич<sup>2</sup>,  
Касьяненко Елена Федоровна<sup>3</sup>

<sup>1,2</sup> Санкт-Петербургский государственный химико-фармацевтический университет, Санкт-Петербург, Россия

<sup>3</sup> Санкт-Петербургский государственный университет ветеринарной медицины, Санкт-Петербург, Россия

<sup>1</sup> [larisapns@mail.ru](mailto:larisapns@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0003-1687-1890>

<sup>2</sup> [vladislav.sorokin@pharminnotech.com](mailto:vladislav.sorokin@pharminnotech.com), <https://orcid.org/0000-0002-7262-0941>

<sup>3</sup> [kasyanenko@rambler.ru](mailto:kasyanenko@rambler.ru), <https://orcid.org/0000-0001-7858-7743>

**Аннотация.** В работе исследуются традиционные и инновационные технологии и оборудование, предназначенные для экстрагирования в твердожидкостных системах. Дана сравнительная характеристика процессов и аппаратов, которые используются в настоящее время в различных отраслях промышленности. Наряду с традиционными методами мацерации, перколяции, паровой дистилляции рассматриваются и альтернативные новые технологии: ультразвуковая экстракция (UAE), сверхкритическая флюидная экстракция (SFE), микроволновая экстракция (MAE), ускоренная экстракция растворителем (ASE), твердофазная микроэкстракция (ТФМЭ) и быстрая твердожидкостная динамическая экстракция (RSLDE), выполняемая с использованием экстрактора Naviglio. Метод RSLDE обладает целым рядом преимуществ: простота использования, низкое энергопотребление, высокая скорость процесса экстракции, более высокие выходы, не требует нагрева системы, позволяет извлекать активные ингредиенты и предотвращать их дегградацию, позволяет использовать воду в качестве экстрагента, высокая степень безопасности для человека и окружающей среды (“зеленая” экстракция).

**Ключевые слова:** экстрагирование, твердожидкостная система, зеленая экстракция, инновационное экстрагирование, принципы Naviglio.

---

**Для цитирования:** Рубцова Л. Н., Сорокин В. В., Касьяненко Е. Ф. Экстрагирование из твердых веществ // Ползуновский вестник. 2023. № 3. С. 203–209. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2023.03.028. EDN: <https://elibrary.ru/EEYMSX>.

---

Original article

## EXTRACTION FROM SOLIDS

Larisa N. Rubtsova<sup>1</sup>, Vladislav V. Sorokin<sup>2</sup>, Elena F. Kasyanenko<sup>3</sup>

<sup>1,2</sup> Saint Petersburg State University of Chemistry and Pharmacy, Saint Petersburg, Russia

<sup>3</sup> Sankt Petersburg State University of Veterinary Medicine, Saint Petersburg, Russia

<sup>1</sup> [larisa.rubtsova@pharminnotech.com](mailto:larisa.rubtsova@pharminnotech.com), <https://orcid.org/0000-0003-1687-1890>

<sup>2</sup> [vladislav.sorokin@pharminnotech.com](mailto:vladislav.sorokin@pharminnotech.com), <https://orcid.org/0000-0002-7262-0941>

<sup>3</sup> [kasyanenko@rambler.ru](mailto:kasyanenko@rambler.ru), <https://orcid.org/0000-0001-7858-7743>

**Abstract.** The paper investigates traditional and innovative technologies and equipment designed for extraction in solid-liquid systems. Comparative characteristics of processes and devices that are currently used in various industries are given. Along with traditional methods of maceration, percolation, steam distillation, alternative new technologies are also being considered: ultrasonic extraction (UAE), supercritical fluid extraction (SFE), microwave extraction (MAE), accelerated solvent extraction (ASE), solid-phase mi-

---

© Рубцова Л. Н., Сорокин В. В., Касьяненко Е. Ф., 2023

*croextraction (TFME) and fast solid-liquid dynamic extraction (RSLDE), performed using Naviglio extractor. The RSLDE method has a number of advantages: ease of use, low energy consumption, high speed of the extraction process, higher yields, does not require heating of the system, allows you to extract active ingredients and prevent their degradation, allows you to use water as an extractant, a high degree of safety for humans and the environment ("green" extraction).*

**Keywords:** *extraction, solid-liquid system, green extraction, innovative extraction, Naviglio's principle.*

---

**For citation:** Rubtsova, L.N., Sorokin, V.V. & Kasyanenko, E.F. (2023). Extraction from solids. *Polzunovskiy vestnik*, (3), 203-209. (In Russ.). doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2023.03.028. <https://elibrary.ru/EEYMSX>.

---

## ВВЕДЕНИЕ

На протяжении последних лет в секторе технологий производства фармацевтической и других видов продукции экстракционным способом произошло много важных изменений. Эти перемены связаны с промышленным производством, качеством продукции и, в первую очередь, с безопасностью человека и окружающей среды. Прежде всего, интерес научного сообщества был направлен на изучение устойчивых процессов валоризации экстрактов путем использования инновационных технологий, представляющих собой действенную альтернативу традиционным методам. При разработке новых технологий и аппаратов учитываются такие характеристики, как экономия времени и энергии, повышение выхода и качества продукта, образование меньшего количества побочных веществ. Поэтому с развитием принципов, основанных на предотвращении загрязнения, на более низком риске для здоровья человека и на малом воздействии на окружающую среду, были внедрены новые системы для сокращения времени экстракции и потребления растворителей, повышения эффективности и производительности экстрактов, для повышения селективности процессов. В этой связи были поставлены следующие цели и задачи. Дать сравнительную характеристику традиционных и инновационных технологий и оборудования, предназначенных для экстрагирования из твердых веществ. На этой базе дать оценку и выделить наиболее перспективные технологии в плане производительности, универсальности, рентабельности и безопасности для человека и окружающей среды, отвечающие последним современным требованиям.

## ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

В настоящее время экстракция в твердожидкостной системе широко распространена в таких отраслях, как фармацевтическая, химическая, рудодобывающая (выщелачивание солей металлов из руд), косметическая,

пищевая и др. для получения различных ингредиентов. Методы твердожидкостной экстракции лежат в основе многих аналитических процедур для подготовки проб и описаны в официальных методах анализа [1]. С другой стороны, они применяются для производства небольших количеств домашних экстрактов, таких как алкогольные напитки и травяные чаи. Твердожидкостная экстракция также применяется в промышленном производстве. На самом деле во многих промышленных процессах начальная фаза приготовления продукта требует применения твердожидкостной экстракции для выделения экстрагируемого материала [2, 3]. Важным примером являются лекарственные растения, из которых получают активные вещества с фармакологическими свойствами [4]. Родственными областями являются фитотерапевтическая, косметическая и парфюмерная, которые являются самыми древними областями применения. В других отраслях промышленности, таких как производство напитков, твердожидкостная экстракция, используется для получения спиртовых экстрактов из плодов, фруктовой кожуры, цветов, листьев и т.д., которые затем смешиваются с водой и сахаром для получения готового продукта.

Обычные традиционные экстракции применяются уже много лет. Это мацерация, перколяция, их модификации и простой метод отжима [5, 6, 7]. Данные методы доступны, дешевы и часто применяются, хотя и имеют много недостатков. Мацерация не всегда применима. Процесс требует длительного времени. Например, растительное сырье не может долго мацерироваться из-за процессов гниения. Перколяция недостаточно эффективна. Метод быстрый, предназначен для извлечения больших объемов, но твердая матрица исчерпывается не полностью [8, 9].

Для производства эфирных масел можно прибегнуть к паровой дистилляции [10, 11]. Этот метод твердожидкостной экстракции отличается тем, что он требует переноса летучих соединений через поток пара. Поскольку

выделенный продукт представляет собой эфирное масло, его можно рассматривать как метод твердожидкостной экстракции. В любом случае экстракционная система подвергается сильному нагреву, поэтому термолабильные соединения претерпевают превращения.

Традиционные методы основаны на двух фундаментальных принципах: диффузии или осмосе. На основании этих методов можно делать некоторые общие прогнозы по отношению к экстрактивной системе. Можно предположить примерное время извлечения и количество экстракта по отношению к общей твердой матрице. Согласно теории, для достижения наилучших результатов экстракции нужно оптимизировать три переменные: размер гранулы твердого тела, температуру и сродство твердых частиц к растворителю. При уменьшении размеров твердого тела увеличивается выход экстракта, т.к. расширяется площадь поверхности контакта твердого тела с жидкостью. Возрастание температуры системы сокращает время экстракции из-за нарастания диффузионных явлений (закон Фика). Увеличение сродства экстракционной жидкости к экстрагируемым соединениям повышает время экстракции. Однако следует учитывать, что основные принципы, на которых базируются перечисленные выше методы, не оказывают существенного активного влияния на такие характеристики, как время экстракции, выход веществ и эффективность. Фактически после установления параметров система достигает состояния равновесия, которое может измениться только путем изменения температуры или добавления другой экстракционной жидкости [12, 13, 14].

Итак, можно выделить основные недостатки традиционных методов: потребление больших объемов не всегда дешевых растворителей, высокая скорость их испарения, длительное время экстракции и разложение термолабильных соединений.

Для преодоления всех этих ограничений были внедрены новые и перспективные методы твердожидкостной экстракции, которые определяются как нетрадиционные или инновационные. Из них можно выделить следующие технологии: ультразвуковая экстракция (UAE), сверхкритическая флюидная экстракция (SFE), микроволновая экстракция (MAE), ускоренная экстракция растворителем (ASE), твердофазная микроэкстракция (ТФМЭ), ферментативная экстракция и быстрая твердожидкостная динамическая экстракция (RSLDE), выполняемая с использованием экстрактора Naviglio.

Ультразвуковая экстракция (UAE) может

быть хорошей заменой прессованию. UAE позволяет извлекать биоактивные компоненты за очень короткое время при низкой температуре с меньшими затратами энергии и растворителя. Ультразвуковые волны вызывают разрушение твердых веществ (например, растительной ткани) за счет физических сил, возникающих при акустической кавитации, и способствуют высвобождению экстрагируемых компонентов в растворителе за очень короткое время за счет усиления массопереноса. UAE как метод нетермической экстракции лучше приспособлен для сохранения функциональности биологически активных соединений. Следует учитывать, что при использовании UAE твердая матрица полностью измельчается и получается смесь, которую очень трудно разделить на составляющие. Помимо прочего, использование энергии ультразвука более 20 кГц может оказывать влияние на активные фитохимические вещества и привести к образованию свободных радикалов. Поэтому переменные, связанные с UAE, такие как частота, мощность, рабочий цикл, температура, время, тип растворителя, соотношение твердое вещество–жидкость, должны быть проанализированы и оптимизированы для каждого продукта. Они нуждаются в точном контроле для оптимальной экстракции. Однако благодаря своей скорости, экономическому преимуществу и относительно низкой стоимости технологии UAE являются одним из методов, используемых в промышленности для извлечения биологически активных соединений. Ультразвук успешно используется для извлечения полифенолов, каротиноидов, ароматов, полисахаридов из растительных матриц (как целых растений, так и побочных продуктов) [15, 16, 17].

Альтернативным инновационным методом также можно назвать метод сверхкритической флюидной экстракции (SFE) [18]. Сверхкритическая жидкость (SCF), которая используется в качестве растворителя, извлекает и способствует разделению экстрагируемых веществ. И температура, и давление сверхкритического флюида выше критической точки. Сверхкритическая плотность SCF подобна жидкостям, и многие вещества имеют хорошую растворимость в нем. С другой стороны, его диффузионная способность находится между газом и жидкостью, сохраняя передаточные свойства газа. Такие свойства позволяют сверхкритическим жидкостям проникать глубже и быстрее в твердые матрицы. В качестве SCF чаще всего используют углекислый газ. В сверхкритической фазе диоксид углерода приобретает характеристики

неполярного растворителя, и сравним с жидким *n*-гексаном. Таким образом, с помощью этого метода можно извлекать неполярные соединения из твердых матриц. Преимущество этого метода заключается в том, что в конце экстракции растворитель ( $\text{CO}_2$ ) удаляется в виде газа, что позволяет извлекать концентрированные экстрагированные соединения с очень низким уровнем загрязнения окружающей среды. Сверхкритическая флюидная экстракция получила название "зеленой" экстракции. Этот метод находит применение на промышленном уровне, например, при извлечении масла из семян кофеина из кофе, никотина из табака и т. д. [19, 20]. Эта технология остается еще очень дорогой и недостаточно универсальной из-за сложности изменения полярности углекислого газа и интерференции воды, содержащейся в твердых телах.

Другим инновационным методом является ускоренная экстракция растворителем (ASE). Она предназначена для увеличения выхода экстракции и сокращения времени процесса [21]. Этот метод основан на увеличении диффузии, поскольку можно извлекать твердые вещества с помощью жидкостей, работающих выше температуры их кипения, и поддерживать их в жидком состоянии за счет увеличения давления. Экстрагируемый материал помещают в цилиндрический стальной контейнер и вводят экстрагирующий растворитель. Температуру системы поднимают выше точки кипения экстрагируемого соединения. Растворитель поддерживается в жидком состоянии благодаря одновременному повышению давления. Флакон герметичен и выдерживает высокое давление до 200 атмосфер. После короткого периода контакта твердая матрица полностью отдает экстрагируемые вещества. Недостаток этой системы заключается в невозможности экстрагирования термически нестабильных соединений [22]. ASE может быть применен во многих отраслях промышленности, в том числе и в фармацевтической: для изготовления масел и органических кислот, витаминов и антибиотиков, моющих средств, устройств и упаковок для хранения лекарств. Метод имеет хороший потенциал для извлечения летучих и полунлетучих соединений. ASE используют для выделения органических соединений из твердых образцов для дальнейшего хроматографического анализа [23].

Микроволновая экстракция MAE в настоящее время широко используется для извлечения природных продуктов из растительного сырья и привлекает все больший

интерес [24]. Действительно, этот метод позволяет быстро извлекать растворенные вещества из твердых матриц с эффективностью экстракции, сравнимой с эффективностью классических методов, но с преимуществом уменьшения количества растворителя, отходов растворителя, выделения растворителя в окружающую среду и воздействия на человека, а также отказ от использования  $\text{SO}_2$  в системе. MAE позволяет полностью контролировать параметры экстракции (время, мощность и температуру). С точки зрения современного контекста "зеленой" химии, MAE – это экологический и безопасный метод.

Твердофазная микроэкстракция SPME была открыта два десятилетия назад. SPME – это метод отбора проб, основанный на поглощении. С помощью SPME анализируемые вещества поглощаются из жидкого или газообразного образца на покрытое абсорбентом плавленное кремнеземное волокно, которое является частью иглы шприца, в течение фиксированного времени. Затем волокно вводится непосредственно в инъекционный порт GC для термической десорбции. Это простой, не содержащий растворителей и надежный метод микроэкстракции, который продолжает совершенствоваться отбор проб и пробоподготовку. Небольшие габариты устройства обеспечивают удобство отбора проб в любых условиях. SPME обладает значительными преимуществами по сравнению с современными методами. Он значительно быстрее, не требует биологической обработки проб, выявляет дополнительные параметры (свободные концентрации, константы связывания). Анализ экстрагируемых соединений может быть выполнен с помощью высокоспецифичных приборов, таких как GC–MS или LC–MS/MS. SPME успешно применяется в широком спектре аналитических исследований, связанных с живыми организмами с минимальным ущербом. Разработка биосовместимых фаз экстракции для SPME привела к значительному прогрессу в биоанализе: все этапы подготовки образцов могут быть объединены в один, даже для сложных биологических образцов, таких как цельная кровь или плазма. Кроме того, биосовместимые устройства позволяют непосредственно извлекать целевые анализы из текущей крови и мягких тканей живых организмов. Вторым важным вкладом SPME в эту область является способность улавливать стабильные и/или короткоживущие виды и метаболиты с высокой скоростью оборота (например, энергетические метаболиты), которые не наблюдаются другими методами. Предварительные исследова-

дования показывают, что *in vivo* SPME особенно эффективен для отбора проб нуклеозидов, каротинов и глутатиона. Это делает предложенную технологию особенно интересной с точки зрения изучения реактивных метаболитов лекарственных средств и противовирусных нуклеозидных аналогов, используемых для предотвращения вирусной репликации в инфицированных клетках, для целенаправленных и для глобальных исследований метаболизма. В будущем можно ожидать повышения интереса к этому виду исследований для микроорганизмов, растений, животных и человека [25, 26].

Подробнее рассмотрим принцип действия инновационной быстрой твердожидкостной динамической экстракции (RSLDE), выполняемой с использованием экстрактора Naviglio, так как информации по ее использованию в отечественной литературе нет. Патент на прибор под названием экстрактор Навильо был выпущен в 2000 году. По сравнению с традиционными технологиями, этот метод способен сократить время экстракции, приводит к более высоким выходам, не требует нагрева системы, позволяет извлекать активные ингредиенты и предотвращать их деградацию. Он основан на новом принципе твердожидкостной экстракции, названном принципом Naviglio. При других технологиях процедура экстракции обычно происходит в одном растворе (одностадийный процесс). Трудно установить две или более стадии экстракции из-за повышения объема экстрагента, а также увеличения времени выполнения. Многостадийный процесс проводится при помощи противотока извлекающего вещества или при использовании комбинации экстрагентов. Часто такие технологии называют экстрактивными многоступенчатыми. Только экстрактор Сокслета ограничивает объем растворителя, потому что он использует дистилляцию летучего растворителя для возобновления чистоты процесса [27].

RSLDE основан на другом принципе. Экстракция происходит благодаря отрицательному градиенту давления между внутренним материалом и внешней стороной твердой матрицы (высокое давление внутри и низкое давление снаружи; принцип Навильо). Когда градиент давления исчезает, экстрагирующая жидкость очень быстро вытекает из твердого тела и уносит все вещества, химически не связанные с основной структурой твердого тела. Это означает, что в данном случае экстракция является “активным” процессом, поскольку градиент давления вытесняет молекулы, в то время как методы, осно-

ванные на диффузии и осмосе, являются “пассивными” процессами, поскольку молекулы не вытесняются из матрицы. Согласно этому принципу, процесс твердожидкостной экстракции не зависит от сродства соединения, подлежащего извлечению из твердой матрицы к экстрагирующему растворителю. Вещество, по сути, извлекается разностью давлений между жидкостью внутри матрицы и жидкостью снаружи. Они извлекаются из твердого вещества с эффектом всасывания и могут быть извлечены в растворителях с противоположной или различной полярностью. Поэтому степень извлечения тесно коррелирует с разницей давления, сгенерированной внутри и снаружи твердой матрицы, и с особенностями твердой матрицы. В этом заключается инновационный экстрактивный принцип Naviglio. Метод позволяет использовать воду в качестве экстракционного растворителя, что не представлялось возможным при применении традиционных методов, таких как мацерация и перколяция. RSLDE может работать при температурах ниже комнатной. Простота использования, низкое энергопотребление, высокая скорость процесса экстракции RSLDE вкупе с перечисленными выше достоинствами позволяет использовать эту технологию во многих отраслях: в производстве напитков, в пищевой, фармацевтической, парфюмерной, химической и пр. промышленности [28, 29, 30].

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Выбор методов и технологий, связанных с процессом экстракции на основе твердожидкостного контакта, не прост и во многом зависит от структурной сложности и состава твердой матрицы. Поэтому сложно найти универсальные методы, подходящие для каждого типа твердожидкостной экстракции. При выборе наиболее подходящих методов фундаментальное значение приобретает знание химических свойств экстрагируемых соединений и их поведение в присутствии различных растворителей. На сегодняшний день модели, которые могли бы предсказать время и выход экстракции, начиная с точных условий (тип твердого вещества, растворитель, температура и т. д.), отсутствуют. Наряду с вышеупомянутыми классическими техниками стали использоваться более сложные и эффективные, основанные на инновационных принципах экстракции. Среди них: экстракция сверхкритическими жидкостями (SFE), ультразвуковая экстракция (UAE), микроволновая экстракция (MAE), ускоренная экстракция растворителем (ASE)

и, наконец, быстрая твердожидкостная динамическая экстракция (RSLDE), использующая экстрактор Naviglio.

Из тщательного сравнения основных характеристик каждой из твердожидкостных экстракций, описанных в обзоре, можно утверждать, что в настоящее время ни один метод не обеспечивает одновременно всех преимуществ, предлагаемых быстрой твердожидкостной динамической экстракцией (RSLDE), использующей экстрактор Naviglio.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Метод экстракции // Химик: электронный научный журнал. 2020 [Электронный ресурс]. URL : <https://ximuk.ru/toxicchem/34.html> (дата обращения 26.03.2023).

2. Ливен И. Полимерные добавки. Подготовка образцов для анализа. Твердофазная экстракция. Часть 1 // Nomotech: электронный научный журнал. 22 сентября 2020 [Электронный ресурс]. URL : [https://nomitech.ru/articles-and-blog/polimernye\\_dobavki\\_podgotovka\\_obraztsov\\_dlya\\_analiza\\_tverdogfaznaya\\_ekstraktsiya\\_chast\\_1/](https://nomitech.ru/articles-and-blog/polimernye_dobavki_podgotovka_obraztsov_dlya_analiza_tverdogfaznaya_ekstraktsiya_chast_1/) (дата обращения 23.03.2023).

3. Твердофазная экстракция // Аквилон: электронный научный журнал. [Электронный ресурс]. URL: <https://prochrom.ru/ru/?idp=SPE> (дата обращения 26.03.2023).

4. Горбунова Е.А., Басевич А.В. Обоснование выбора метода получения извлечений из травы душицы обыкновенной, обогащенных флавоноидами. Сборник материалов международной научно-практической конференции «Современное состояние фармацевтической отрасли: проблемы и перспективы». Ташкент, 29 октября 2021. 2021 С. 259–260.

5. Kuznetsov A., Basevich A. Study of the qualitative composition of the amount of oregano herb flavonoids BY TLC. Журнал : Обзоры по клинической фармакологии и лекарственной терапии. Т. 17. 2019. 35 с.

6. Цебрено К.Н. Исследование техники для экстракции маслянистого материала способом непрерывной многоступенчатой перколяции. В сборнике: Актуальные вопросы современного социально-экономического развития России: проблемы теории и практики. Сборник научных трудов Национальной (всероссийской) научно-практической конференции. 2019. С. 625–634.

7. Методы экстрагирования, применяемые на фармацевтических производствах // MedInfo.Social: электронный научный журнал. [Электронный ресурс]. URL : [https://medinfo.social/farmakologiya\\_874\\_876/metodyi-ekstragirovaniya-primenyaemye-50156.html](https://medinfo.social/farmakologiya_874_876/metodyi-ekstragirovaniya-primenyaemye-50156.html) (дата обращения 26.03.2023).

8. Кривова Л.П., Волкова А.С. Использование метода перколяции для экстракции ароматических компонентов из растительного сырья (разработка рецептуры алкогольного напитка). В сборнике : Образование, наука и технологии: проблемы и перспективы: сборник научных трудов по материалам II

Международной научно-практической конференции. Под общ. ред. А.В. Туголукова. 2019. С. 176–180.

9. Алтарёв С.Н. Способ производства ароматических масляных экстрактов из растительного сырья в процессе вакуумной перколяции. Патент на изобретение RU 2290942 C1, 10.01.2007. Заявка № 2005121823/15 от 11.07.2005.

10. Шляпников В.А., Шляпников М.О. Новый способ паровой дистилляции плодов кориандра. *Universum: технические науки*. 2016. № 9 (30). С. 24–26.

11. Шляпников В.А., Шляпников М.О., Подлесный А.А. Передвижной аппарат для паровой дистилляции эфиромаслянистого сырья. Патент на полезную модель RU 179171 U1, 03.05.2018. Заявка № 2017124122 от 06.07.2017.

12. Wang L., Weller C.L. Recent advances in extraction of nutraceuticals from plants. *Trends Food Sci. Technol.* 2006, 17, 300–312.

13. Galanakis C.M. Recovery of high added-value components from food wastes: Conventional, emerging technologies and commercialized applications. *Trends Food Sci. Technol.* 2012, 26, 68–87.

14. Aguilera J.M. Solid-liquid extraction. In *Extraction Optimization in Food Engineering*; CRC Press: Boca Raton, FL, USA, 2003; pp. 51–70.

15. Chemat F., Rombaut N., Sicaire A.G., Meullemiestre A., Fabiano-Tixier A.S., Abert-Vian M. Ultrasound assisted extraction of food and natural products. Mechanisms, techniques, combinations, protocols and applications. A review. *Ultrason. Sonochem.* 2017, 34, 540–560.

16. Kshitiz Kumar, Shivmurti Srivastav, Vijay Singh Sharanagat. Ultrasound assisted extraction (UAE) of bioactive compounds from fruit and vegetable processing by-products: A review. 2020. DOI: 10.1016/j.ultsonch.2020.105325.

17. Алексеева В.А. Получение различных экстрактов с высоким содержанием различных биологически активных веществ перспективными методами экстрагирования. Смоленский медицинский альманах. 2018. № 1. С. 8–9.

18. Дадашев М.Н., Шелков Е.М., Короткий В.М. Термодинамические аспекты сверхкритической флюидной экстракции. Оборонный комплекс – научно-техническому прогрессу России. 2009. № 2. С. 64–67.

19. Jesus S.P., Meireles M.A.A. Supercritical fluid extraction: A global perspective of the fundamental concepts of this eco-friendly extraction technique. In *Alternative Solvents for Natural Products Extraction*; Springer: Berlin, Germany, 2014; pp. 39–72.

20. Khaw K.Y., Parat M.O., Shaw P.N., Falconer J.R. Solvent supercritical fluid technologies to extract bioactive compounds from natural sources: A review. *Molecules*. 2017, 22, 1186.

21. Molino A., Rimauro J., Casella P., Cerbone A., Larocca V., Chianese S., Musmarra D. Extraction of astaxanthin from microalga *Haematococcus pluvialis* in red phase by using generally recognized as safe solvents and accelerated extraction. *J. Biotechnol.* 2018, 283, 51–61.

22. Accelerated Solvent Extraction (ASE) – Maximize results and reduce errors in food analysis! Available at: <https://www.analytica-world.com/en/products/>

127465/accelerated-solvent-extraction-ase-dionex.html [Accessed 01 March, 2021].

23. He Q., Du B., Xu B. Extraction optimization of phenolics and antioxidants from black goji berry by accelerated solvent extractor using response surface methodology. *Appl. Sci.* 2018, 8, 1905.

24. Ekezie F.G.C., Sun D.W., Cheng J.H. Acceleration of microwave-assisted extraction processes of food components by integrating technologies and applying emerging solvents: A review of latest developments. *Trends Food Sci. Technol.* 2017, 67, 160–172.

25. Твердофазная экстракция (ТФЭ) Solid Phase Extraction (SPE) // Лабораторное и аналитическое оборудование: электронный научный журнал. [Электронный ресурс]. URL : [http://www.rts-engineering.ru/Med/Gilson/EquipHromat/lbGI\\_ASPEC\\_SPE.html](http://www.rts-engineering.ru/Med/Gilson/EquipHromat/lbGI_ASPEC_SPE.html) (дата обращения 23.03.2023).

26. Пробоподготовка и Экстракция Dionex // Биоаналит: электронный научный журнал. 2020 [Электронный ресурс]. URL : <http://www.bioanalyte.ru/node/472> (дата обращения 23.03.2023).

27. Naviglio D. Naviglio's principle and presentation of an innovative solid-liquid extraction technology: Extractor Naviglio®. *Anal. Lett.* 2003, 36, 1647–1659.

28. Daniele Naviglio, Pierpaolo Scarano, Martina Ciaravolo, Monica Gallo. Rapid Solid-Liquid Dynamic Extraction (RSLDE): A Powerful and Greener Alternative to the Latest Solid-Liquid Extraction Techniques. *Foods* 2019, 8, 245; DOI:10.3390/foods8070245.

29. Scarano Pierpaolo & Naviglio Daniele & Prigioniero Antonello & Tartaglia Maria & Postiglione Alessia & Sciarrillo Rosaria & Guarino Carmine. (2020). Sustainability: Obtaining Natural Dyes from Waste Matrices Using the Prickly Pear Peels of *Opuntia ficus-indica* (L.) Miller. *Agronomy*. 10. 528. 10.3390/agronomy10040528.

30. Naviglio D., Pizzolongo F., Romano R., Ferrara L., Naviglio B., Santini A. An innovative solid-liquid extraction technology: Use of the Naviglio Extractor for the production of lemon liquor. *Afr. J. Food Sci.* 2007, 1,

42–50.

### **Информация об авторах:**

*Л. Н. Рубцова – кандидат фармацевтических наук, доцент кафедры «Процессов и аппаратов химической технологии» Санкт-Петербургского государственного химико-фармацевтического университета.*

*В. В. Сорокин – кандидат фармацевтических наук, доцент кафедры «Процессов и аппаратов химической технологии» Санкт-Петербургского государственного химико-фармацевтического университета.*

*Е. Ф. Касьяненко – кандидат ветеринарных наук, доцент кафедры фармакологии, Санкт-Петербургский государственный университет ветеринарной медицины.*

### **Information about the authors**

*L.N. Rubtsova - Candidate of Pharmaceutical Sciences, Associate Professor of the Department of "Processes and Applications of Chemical Technology" of St. Petersburg State Chemical and Pharmaceutical University.*

*V.V. Sorokin - Candidate of Pharmaceutical Sciences, Associate Professor of the Department of "Processes and Applications of Chemical Technology" of St. Petersburg State Chemical and Pharmaceutical University.*

*E.F. Kasyanenko - PhD, Candidate of veterinary sciences, Associate Professor of the Department of Pharmacology St. Petersburg State University of Veterinary Medicine.*

*Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.  
The authors declare that there is no conflict of interest.*

*Статья поступила в редакцию 28.03.2023; одобрена после рецензирования 13.08.2023; принята к публикации 11.09.2023.*

*The article was received by the editorial board on 28 Mar 2023; approved after editing on 13 Aug 2023; accepted for publication on 11 Sep 2023.*