

**ИНТЕНСИФИКАЦИЯ ПРОЦЕССА СВЕРХКРИТИЧЕСКОЙ ЭКСТРАКЦИИ ТРИТЕРПЕНОВЫХ САПОНИНОВ ИЗ АРАЛИИ МАНЬЧЖУРСКОЙ И ЖЕНЬШЕНЯ****И.И. Худеев, Е.С. Лебедева, А.И. Артемьев, И.В. Казеев, Н.В. Меньшутина**

Илья Владимирович Казеев (ORCID 0000-0002-6100-3470)

Институт медицинских материалов, Москва, ул. Радио, 23/9, стр. 1, Российская Федерация, 105005

E-mail: i.kazeev@inmm.ru

Илларион Игоревич Худеев (ORCID 0000-0002-5011-5274)\*, Елена Сергеевна Лебедева (ORCID 0000-0003-0917-1765), Артем Ильич Артемьев (ORCID 0000-0001-8388-4806), Наталья Васильевна Меньшутина (ORCID 0000-0001-7806-1426)

Кафедра фармацевтического и химического инжиниринга, Российский химико-технологический университет им Д.И. Менделеева, ул. Героев Панфиловцев, 20, Москва, Российская Федерация, 125480

E-mail: khudeev.i.i@muctr.ru\*, 170805@muctr.ru, artemev.a.i@muctr.ru, menshutina.n.v@muctr.ru

*В работе представлены экспериментальные исследования извлечения тритерпеновых сапонинов из аралии маньчжурской и женьшеня с применением процесса сверхкритической экстракции. Следует отметить, что тритерпеновые сапонины аралии маньчжурской и женьшеня являются полярными соединениями, поэтому процесс сверхкритической экстракции проводили в среде сверхкритического диоксида углерода с использованием соразтворителя – водного раствора этанола. Изложена методика проведения процесса сверхкритической экстракции и представлена принципиальная схема установки собственной конструкции с экстрактором объемом 22 мл. Представлены кинетические кривые выхода экстракта при сверхкритической экстракции. Проведена интенсификация процесса сверхкритической экстракции с использованием следующих методов: оптимизация режимно-технологических параметров, наложение полей. Оптимизация режимно-технологических параметров проводилась в диапазоне температур 40-50 °С и давлений 120-200 бар. Отмечено явление ретроградации при изменении температуры процесса сверхкритической экстракции тритерпеновых сапонинов из женьшеня. Также исследовалось влияние способа подачи сверхкритического диоксида углерода: постоянная подача на протяжении всего процесса и импульсная подача. Импульсная подача позволила значительно сократить потребление диоксида углерода – на 59,5% относительно эксперимента при постоянной подаче диоксида углерода. В работе проводилось исследование влияния ультразвукового воздействия (метод наложения полей) на интенсивность процесса сверхкритической экстракции. Применение ультразвукового воздействия привело к увеличению выхода экстракта. Наибольшее количество экстракта из аралии маньчжурской и женьшеня было получено при температуре 50 °С и давлении 200 бар с применением ультразвукового воздействия и при постоянной подаче диоксида углерода (500 г/ч) на протяжении всего процесса.*

**Ключевые слова:** сверхкритическая экстракция, интенсификация, ультразвук, тритерпеновые сапонины, аралия маньчжурская, женьшень

**Для цитирования:**

Худеев И.И., Лебедева Е.С., Артемьев А.И., Казеев И.В., Меньшутина Н.В. Интенсификация процесса сверхкритической экстракции тритерпеновых сапонинов из аралии маньчжурской и женьшеня. *Изв. вузов. Химия и хим. технология.* 2023. Т. 66. Вып. 3. С. 108–118. DOI: 10.6060/ivkkt.20236603.6737.

**For citation:**

Khudeev I.I., Lebedeva E.S., Artemiev A.I., Kazeev I.V., Menshutina N.V. Intensification of supercritical extraction of triterpene saponins from *Aralia mandshurica* and *Panax ginseng*. *ChemChemTech [Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.]* 2023. V. 66. N 3. P. 108–118. DOI: 10.6060/ivkkt.20236603.6737.

## INTENSIFICATION OF SUPERCRITICAL EXTRACTION OF TRITERPENE SAPONINS FROM ARALIA MANDSHURICA AND PANAX GINSENG

I.I. Khudeev, E.S. Lebedeva, A.I. Artemiev, I.V. Kazeev, N.V. Menshutina

Ilya V. Kazeev (ORCID 0000-0002-6100-3470)

Institute of Medical Materials, Radio st., 23/9, bld. 1, Moscow, 105005, Russia

E-mail: i.kazeev@inmm.ru

Illarion I. Khudeev (ORCID 0000-0002-5011-5274)\*, Elena S. Lebedeva (ORCID 0000-0003-0917-1765),

Artem I. Artemiev (ORCID 0000-0001-8388-4806), Natalya V. Menshutina (ORCID 0000-0001-7806-1426)

Department of Pharmaceutical and Chemical Engineering, Mendeleev University of Chemical Technology of Russia, Geroev Panfilovtsev st., 20, Moscow, 125480, Russia

E-mail: khudeev.i.i@muctr.ru\*, 170805@muctr.ru, artemev.a.i@muctr.ru, menshutina.n.v@muctr.ru

*This work is devoted to experimental research of the extraction of triterpene saponins from Aralia mandshurica and Panax ginseng using the supercritical extraction process. Triterpene saponins of Aralia mandshurica and Panax ginseng are polar compounds. Therefore, the supercritical extraction process was carried out in a supercritical carbon dioxide using a co-solvent – an aqueous solution of ethanol. A technique for carrying out the supercritical extraction process is described and a schematic diagram of a supercritical extraction apparatus proprietary design with an extractor volume of 22 ml is presented. The kinetic curves of the yield of extract are presented. This work is considering methods of intensification of the supercritical extraction process: optimization of operational conditions, superposition of fields. Optimization of operational conditions was carried out in the temperature range of 40 to 50 °C and pressures range of 120 to 200 bar. The phenomenon of retrogradation was noted when the temperature of the supercritical extraction process from Panax ginseng changed. The influence of the method of supplying supercritical carbon dioxide (constant supply throughout the process and pulse supply) was studied. The pulsed supply made it possible to significantly reduce the consumption of carbon dioxide – by 59.5% relative to the experiment with a constant consumption of carbon dioxide. The study of the effect of ultrasonic exposure (the method of superimposing fields) on the intensity of the supercritical extraction process was carried out. The usage of ultrasound led to an increase in the yield of extract. The largest amount of extract from Aralia mandshurica and Panax ginseng was obtained at 50 °C and 200 bar with the usage of ultrasonic exposure and at a constant supply of carbon dioxide (500 g/h) throughout the process.*

**Key words:** supercritical extraction, intensification, ultrasound, triterpene saponins, Aralia mandshurica, Panax ginseng

### ВВЕДЕНИЕ

Биологически активные вещества, извлеченные из растительного сырья, находят широкое применение в составе различных лекарственных средств [1–6]. Лекарственные средства, в состав которых входят тритерпеновые сапонины женьшеня и аралии маньчжурской, применяют в качестве стимулирующего и тонизирующего средства: при физическом и умственном переутомлении, пониженной работоспособности, после перенесенных истощающих организм заболеваний, для лечения неврологических, сердечно-сосудистых, иммунологических и аутоиммунных заболеваний [7,8].

Аралия маньчжурская является основным источником аралозидов А, В и С. Аралозид А

имеет широкий спектр фармакологической активности, обладает противовоспалительным действием за счет ингибирования выработки NO и оказывает заметное противоопухолевое действие [9–11]. Аралозид С также обладает обширными противовоспалительными свойствами, помимо этого он оказывает сильное антиатеросклеротическое действие [12,13]. Агликоном аралозидов является олеаноловая кислота, которая применяется в качестве ингибитора онкогенеза [14].

Сапонины женьшеня – гинзенозиды – представляют собой тетрациклические тритерпеноиды. Агликонами гинзенозидов являются протопанаксадиол, протопанаксатриол и олеаноловая кислота, которые обладают широким спектром медико-биологического действия [7,15]. В настоящее время из

различных видов женьшеня выделено более 300 индивидуальных гинзенозидов, но основными из них являются семь – Rb<sub>1</sub>, Rb<sub>2</sub>, Rc, Rd, Re, Rf, Rg<sub>1</sub> [16]. Гинзенозиды помогают усилить иммунный ответ при многих инфекционных заболеваниях. Женьшень может быть полезен при лечении коронавируса в качестве иммуномодулятора, а также для профилактической и поддерживающей терапии [8]. Также женьшень применяется для лечения побочных эффектов, вызванных химиотерапией, таких как нефротоксичность, гепатотоксичность, кардиотоксичность, иммунотоксичность и угнетение кроветворения [17,18].

Извлечение тритерпеновых сапонинов из женьшеня и аралии маньчжурской проводят с помощью настаивания, Сокслет-экстракции, ультразвуковой и микроволновой экстракции. Такие методы требуют длительного времени обработки растительного сырья, большого количества органических растворителей и высоких температур. Все это приводит к малой эффективности извлечения биологически активных соединений и их разрушению. Кроме того, часто требуется последующий шаг фильтрации и/или концентрации, чтобы удалить твердый остаток [19].

Поиск новых эффективных и экологически чистых способов извлечения биологически активных веществ, в частности тритерпеновых сапонинов аралии маньчжурской и женьшеня, является перспективным направлением научных исследований [20,21]. Широкий интерес представляет сверхкритическая экстракция, в которой в качестве экстрагента выступает сверхкритический флюид. В сверхкритическом флюиде имеет место высокая интенсивность массопереноса, что способствует быстрому проникновению экстрагента в матрицу растительного сырья и извлечению биологически активных веществ. Следует отметить, что процесс сверхкритической экстракции проводится при температурах ниже 50 °С. Таким образом, извлечение биологически активных веществ с помощью сверхкритической экстракции является более эффективным методом относительно традиционных методов [22,23]. В сверхкритической экстракции в качестве экстрагента часто используется сверхкритический диоксид углерода [22,24–26]. Он обладает низкими критическими параметрами (Т<sub>кр</sub> = 31 °С, Р<sub>кр</sub> = 73 бар), что позволяет извлекать термолабильные соединения, также он является нетоксичным, пожаро- и взрывобезопасным, инертным и дешевым экстрагентом.

На процесс сверхкритической экстракции влияют различные параметры: давление, температура, расход экстрагента и способ его подачи [21,27]. Оптимизация данных параметров позволит повысить выход экстракта, снизить энергетические затраты и расход экстрагента. Данная работа направлена на интенсификацию процесса сверхкритической экстракции тритерпеновых сапонинов из аралии маньчжурской и женьшеня. Исследовались следующие методы интенсификации: оптимизация режимно-технологических параметров, наложение полей. Оптимизация режимно-технологических параметров проводилась в диапазоне температур 40-50 °С и давлений 120-200 бар. Также исследовалось влияние способа подачи сверхкритического диоксида углерода: постоянная подача на протяжении всего процесса и импульсная подача. В работе проводилось исследование влияния ультразвукового воздействия (метод наложения полей) на интенсивность процесса сверхкритической экстракции.

#### ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

##### МАТЕРИАЛЫ

Экстракты для исследования были приготовлены из сертифицированного сырья. В качестве исследуемого объекта использовались высушенные и измельченные корни аралии маньчжурской и женьшеня, предоставленные компанией ООО «Реликт» и собранные на Алтае. Остаточная влажность аралии маньчжурской и женьшеня варьируется от 5 до 10%. Экстракцию проводили с помощью экстрагента – диоксида углерода (99,8%), в качестве соразтворителя были выбраны этанол (объемная доля 95%) и дистиллированная вода.

##### МЕТОДИКА ИЗВЛЕЧЕНИЯ БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ СВЕРХКРИТИЧЕСКОЙ ЭКСТРАКЦИЕЙ

Процесс сверхкритической экстракции из аралии маньчжурской и женьшеня проводился на установке собственной конструкции с экстрактором объемом 22 мл. Принципиальная схема установки представлена на рис. 1.

Из баллона 1 диоксид углерода поступает в конденсатор 2, где происходит его охлаждение для перехода в жидкую фазу. С помощью насоса высокого давления 3 нагнетается необходимое давление, и диоксид углерода поступает в теплообменник 4, где нагревается выше своей критической температуры. Далее диоксид углерода поступает в экстрактор 5 объемом 22 мл. Также существует возможность интенсификации процесса сверхкритической

экстракции с помощью ультразвукового воздействия. Для этого экстрактор помещают в ультразвуковую ванну 6. Нагревательный элемент 7 необходим для предотвращения замерзания диоксида углерода. Разделение полученного экстракта и диоксида углерода происходит в сепараторе 8 за счет сброса давления, и, соответственно, перехода диоксида углерода в газообразное состояние. Расход диоксида углерода определяется с помощью кориолисового расходомера FI, а его регулирование осуществляется с помощью системы вентиляей. Регулирование температуры в экстракторе осуществляется системой регулятора температуры ПИС совместно с нагревательным элементом, размещенным поверх корпуса экстрактора. На входе в экстрактор температура потока диоксида углерода измеряется с помощью датчика температуры TI. Индикация давления внутри экстрактора осуществляется датчиком давления PI.

Процесс сверхкритической экстракции включает в себя следующие этапы (рис. 2): загрузка экстрактора (1), набор давления (2), статическая экстракция (3), динамическая экстракция (4), сброс давления (5), разгрузка экстрактора (6). На рис. 2 график черного цвета показывает изменение давления, а график серого цвета – расход диоксида углерода во время процесса сверхкритической экстракции.

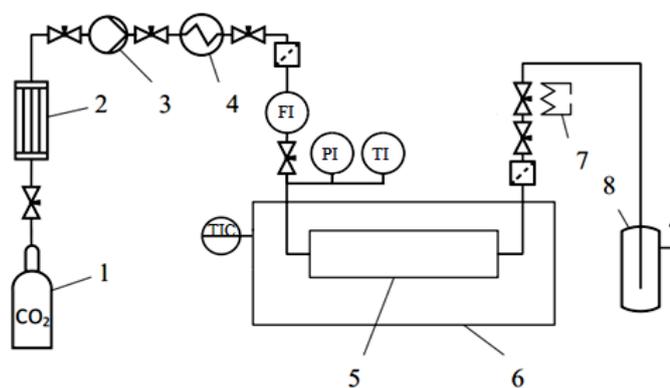


Рис. 1. Принципиальная схема установки для проведения процесса сверхкритической экстракции: 1 – баллон с CO<sub>2</sub>; 2 – конденсатор; 3 – насос высокого давления; 4 – теплообменник; 5 – экстрактор объемом 22 мл; 6 – ультразвуковая ванна; 7 – нагревательный элемент; 8 – сепаратор; FI – кориолисовый расходомер; PI – датчик давления; TI – датчик температуры; TIC – регулятор температуры

Fig. 1. Schematic diagram of the installation for the supercritical extraction process: 1 – CO<sub>2</sub> cylinder; 2 – condenser; 3 – high-pressure pump; 4 – heat exchanger; 5 – 22 ml extractor; 6 – ultrasonic bath; 7 – heating element; 8 – separator; FI – flow meter; PI – pressure sensor; TI – temperature sensor; TIC – temperature controller

Для лабораторной установки с экстрактором объемом 22 мл этап 1 занимал 15 мин, этап 2 – 5 мин, этап 3 – 30 мин, этап 4 – 150 мин, этап 5 – 20 мин, этап 6 – 20 мин. Интенсификацию процесса сверхкритической экстракции проводили на этапах 3 и 4, так как непосредственно во время этих этапов происходит извлечение биологически активных веществ в среде сверхкритического флюида.

Перед проведением процесса осуществлялось настаивание растительного сырья массой 2 г в 13 мл соразтворителя – 33% водного раствора этанола. Соразтворитель использовался, так как три-терпеновые сапонины являются полярными соединениями. Приготовленную смесь помещали в экстрактор, после чего экстрактор герметизировали и погружали в ультразвуковую ванну. Далее происходила подача диоксида углерода, осуществлялся набор давления и температуры до заданных параметров проведения процесса. После чего проводился процесс сверхкритической экстракции в статическом режиме, то есть в замкнутом объеме экстрактора с конечным количеством соразтворителя и диоксида углерода. Этап статической экстракции проводился в течение 30 мин. Введение статического этапа перед этапом динамической экстракции используется для увеличения выхода экстракта и сокращения времени экстракции [28]. Затем следовал этап динамической экстракции, во время которого сверхкритический диоксид углерода непрерывно протекал через экстрактор с сырьем. Длительность этапа динамической экстракции составила 150 мин. Затем подача диоксида углерода прекращалась и на протяжении 20 мин сбрасывалось давление.

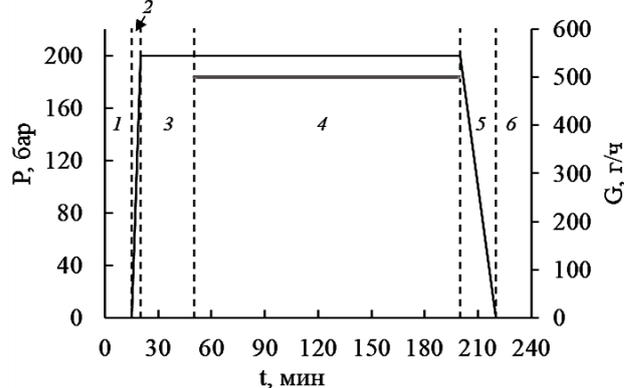


Рис. 2. Этапы процесса сверхкритической экстракции на графике изменения давления (черный график) и расхода диоксида углерода (серый график): P – давление процесса, бар; G – расход CO<sub>2</sub>, г/ч; t – время проведения процесса, мин

Fig. 2. The stages of the supercritical extraction process on the graph of changes in pressure (black graph) and in carbon dioxide consumption (gray graph): P – process pressure, bar; G – CO<sub>2</sub> consumption, g/h; t – time of the process, min

Исследовалось влияние способа подачи диоксида углерода на процесс сверхкритической экстракции на этапе динамической экстракции. После 30 мин динамической экстракции перекрывалась подача диоксида углерода на 30 мин (период выключения). Затем снова подавался диоксид углерода в течении 10 мин (период включения). Данная процедура повторялась 3 раза.

Исследовалось влияние ультразвукового воздействия на процесс сверхкритической экстракции. Ход процесса аналогичен проведению процесса без ультразвукового воздействия. Главным отличием является включение ультразвуковых излучателей с частотой колебаний 20 кГц и суммарной мощностью 100 Вт после помещения экстрактора в ультразвуковую ванну. Действие ультразвука оказывалось на этапах набора давления, статической и динамической экстракции, сброса давления. По завершении сверхкритической экстракции ультразвуковые излучатели выключали.

#### МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ КИНЕТИЧЕСКОЙ КРИВОЙ ПРОЦЕССА СВЕРХКРИТИЧЕСКОЙ ЭКСТРАКЦИИ

Кинетическая кривая представляет собой функцию массового выхода экстракта в зависимости от времени, расхода или отношения растворителя к массе сырья и используется для масштабирования процесса и оценки производственных затрат. В данной работе рассматривалась кинетическая кривая зависимости массового выхода экстракта от времени проведения процесса сверхкритической экстракции.

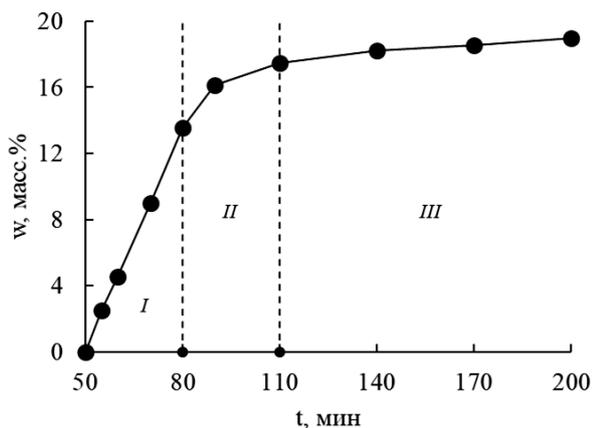


Рис. 3. Кинетическая кривая выхода экстракта из аралии маньчжурской при сверхкритической экстракции ( $T = 50\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $P = 200\text{ бар}$ ): I, II, III – периоды экстракции,  $w$  – выход экстракта, масс. %

Fig. 3. Kinetic curve of the yield of extract from *Aralia mandshurica* during supercritical extraction ( $T = 50\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $P = 200\text{ бар}$ ): I, II, III – periods of extraction,  $w$  – yield of extract, mass %

Кинетическая кривая выхода экстракта определялась следующим образом: экстракт в растворе этанола собирали в виалы на протяжении всего этапа динамической экстракции. В ходе процесса сверхкритической экстракции важным является выход непосредственно самого экстракта, а не его смеси с раствором этанола. Поэтому для удаления раствора этанола и получения чистого экстракта виалы помещали в сушильный шкаф ИКА Oven 125 basic dry при температуре  $37\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Полученные кинетические кривые состоят из трех периодов в соответствии с различными механизмами массопереноса (рис. 3).

На интенсивность массопереноса в период постоянной скорости экстракции (I) влияет конвективный транспорт. На массоперенос в период падающей скорости экстракции (II) оказывает влияние как конвективный, так и диффузионный транспорт. Последним периодом является диффузионно-контролируемый период или период низкой скорости экстракции (III), в котором на интенсивность массопереноса влияет скорость диффузии остаточных растворенных веществ внутри клеток растительного сырья.

#### РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

##### ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ И ДАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССА

Исследовалось влияние температуры и давления на интенсивность процесса сверхкритической экстракции. На рис. 4 и 5 представлены кинетические кривые выхода экстракта из аралии маньчжурской и женьшеня соответственно при различной температуре.

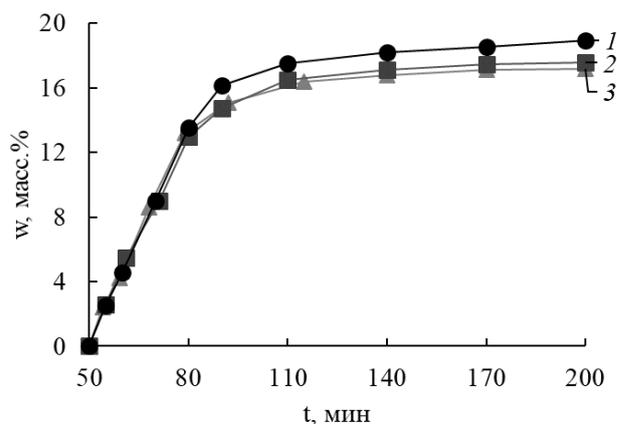


Рис. 4. Кинетическая кривая выхода экстракта из аралии маньчжурской при температуре: 1 –  $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ , 2 –  $45\text{ }^{\circ}\text{C}$ , 3 –  $40\text{ }^{\circ}\text{C}$   
 Fig. 4. Kinetic curve of extract yield from *Aralia mandshurica* at: 1 –  $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ , 2 –  $45\text{ }^{\circ}\text{C}$ , 3 –  $40\text{ }^{\circ}\text{C}$

На рис. 6 и 7 представлены кинетические кривые выхода экстракта из аралии маньчжурской и женьшеня соответственно при различном давлении.

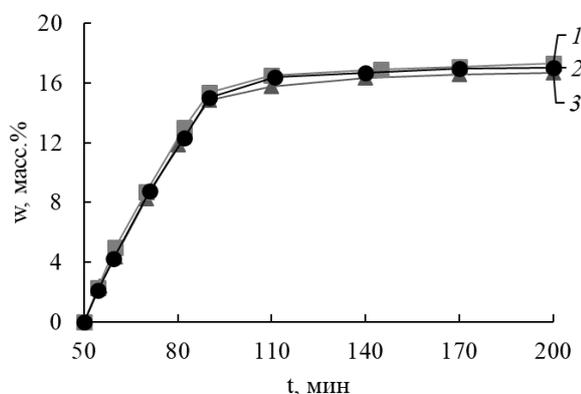


Рис. 5. Кинетическая кривая выхода экстракта из женьшеня при температуре: 1 – 45 °С, 2 – 50 °С, 3 – 40 °С

Fig. 5. Kinetic curve of extract yield from *Panax ginseng* at: 1 – 45 °С, 2 – 50 °С, 3 – 40 °С

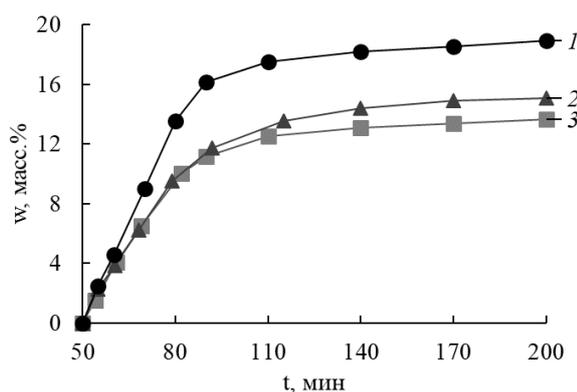


Рис. 6. Кинетическая кривая выхода экстракта из аралии маньчжурской при давлении: 1 – 200 бар, 2 – 160 бар, 3 – 120 бар

Fig. 6. Kinetic curve of extract yield from *Aralia mandshurica* at: 1 – 200 bar, 2 – 160 bar, 3 – 120 bar

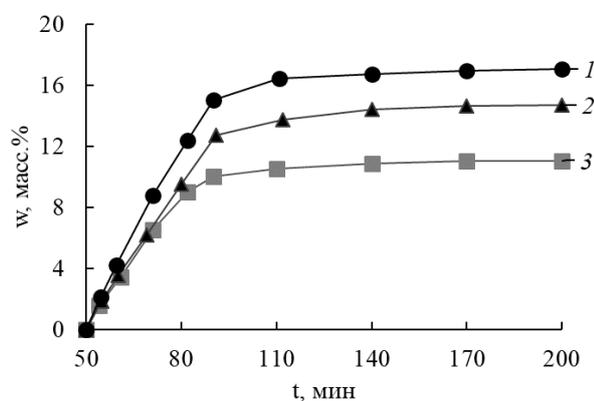


Рис. 7. Кинетическая кривая выхода экстракта из женьшеня при давлении: 1 – 200 бар, 2 – 160 бар, 3 – 120 бар

Fig. 7. Kinetic curve of extract yield from *Panax ginseng* at: 1 – 200 bar, 2 – 160 bar, 3 – 120 bar

Результаты исследований влияния температуры и давления на процесс сверхкритической экстракции представлены в табл. 1.

Увеличение температуры приводит к уменьшению плотности сверхкритического флюида, что может привести к снижению растворимости извлекаемых биологически активных веществ. Однако, увеличение температуры повышает летучесть паров растворенных веществ, что приводит к увеличению их растворимости. Возникает явление пересечения изотерм растворимости, известное как ретроградация. Данное явление наблюдалось при сверхкритической экстракции из женьшеня. Максимальный выход экстракта женьшеня наблюдается при температуре 45 °С, а последующее увеличение температуры до 50 °С привело к снижению выхода экстракта. В случае с аралией маньчжурской повышение температуры с 40 до 50 °С привело к увеличению выхода экстракта.

Таблица 1

Влияние температуры и давления на выход экстракта из аралии маньчжурской и женьшеня  
Table 1. Effect of temperature and pressure on the yield of extract from *Aralia mandshurica* and *Panax ginseng*

T, °С	P, бар	w, %
Аралия маньчжурская		
40	200	17,20
45	200	17,55
50	120	13,65
50	160	15,10
50	200	18,95
Женьшень		
40	200	16,70
45	200	17,30
50	120	11,05
50	160	14,70
50	200	17,05

Примечание: T – температура процесса, °С

Note: T is the process temperature, °С

Увеличение давления повышает интенсивность массопереноса, увеличивая плотность смеси «диоксид углерода – этанол», в результате чего сверхкритический флюид интенсивнее проникает в поры растительного сырья. Увеличение давления со 160 до 200 бар привело к увеличению выхода экстракта как в случае со сверхкритической экстракцией из аралии маньчжурской, так и в случае с экстракцией из женьшеня.

Таким образом, наибольшее количество экстракта из аралии маньчжурской было получено при температуре 50 °С и 200 бар, а наибольшее количество экстракта из женьшеня было получено при температуре 45 °С и давлении 200 бар.

ВЛИЯНИЕ СПОСОБА ПОДАЧИ ДИОКСИДА УГЛЕРОДА

Исследование влияния способа подачи диоксида углерода на процесс сверхкритической экстракции проводилось при температуре 50 °С, давлениях 120 бар и 200 бар. На рис. 8 и 9 представлены кинетические кривые выхода экстракта из аралии маньчжурской и женьшеня соответственно.

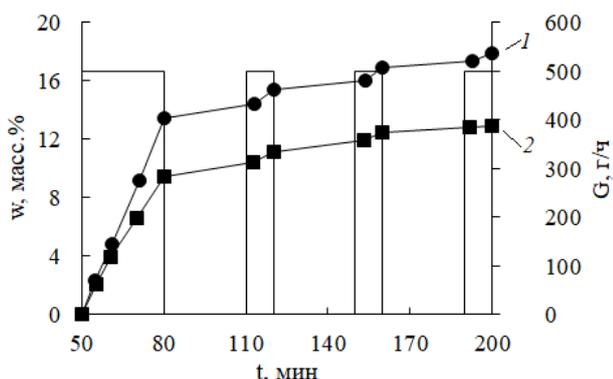


Рис. 8. Кинетическая кривая выхода экстракта из аралии маньчжурской при: 1 – 50 °С, 200 бар, 2 – 50 °С, 120 бар  
Fig. 8. Kinetic curve of extract yield from *Aralia mandshurica* at: 1 – 50 °С, 200 bar, 2 – 50 °С, 120 bar

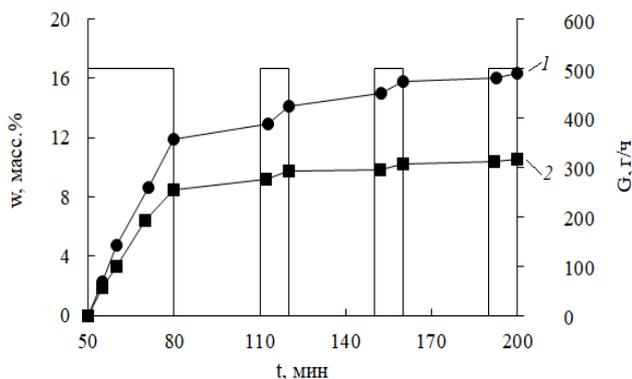


Рис. 9. Кинетическая кривая выхода экстракта из женьшеня при: 1 – 50 °С, 200 бар, 2 – 50 °С, 120 бар  
Fig. 9. Kinetic curve of extract yield from *Panax ginseng* at: 1 – 50 °С, 200 bar, 2 – 50 °С, 120 bar

Аналогично с экспериментами при постоянном расходе диоксида углерода наблюдается увеличение выхода экстракта при увеличении давления. Результаты проведения экспериментов при импульсной подаче диоксида углерода представлены в табл. 2.

Импульсная подача диоксида углерода позволяет значительно сократить потребление диоксида углерода – на 59,5% относительно эксперимента при постоянном расходе диоксида углерода, при этом наблюдается незначительное снижение выхода экстракта.

Таблица 2

Влияние способа подачи CO<sub>2</sub> на выход экстракта из аралии маньчжурской и женьшеня  
Table 2. Effect of the CO<sub>2</sub> supply method on the yield of extract from *Aralia mandshurica* and *Panax ginseng*

G, г/ч	P, бар	w, %	M <sub>CO<sub>2</sub></sub> , г	ΔM <sub>CO<sub>2</sub></sub> /M <sub>CO<sub>2</sub></sub> , %
Аралия маньчжурская				
500	120	13,65	1260	-
Им-пульсы	120	12,95	510	59,5
500	200	18,95	1260	-
Им-пульсы	200	17,85	510	59,5
Женьшень				
500	120	11,05	1260	-
Им-пульсы	120	10,55	510	59,5
500	200	17,05	1260	-
Им-пульсы	200	16,35	510	59,5

Примечание: M<sub>CO<sub>2</sub></sub> – потребление диоксида углерода за один цикл экстракции, г; ΔM<sub>CO<sub>2</sub></sub>/M<sub>CO<sub>2</sub></sub> – сокращение потребления диоксида углерода за один цикл экстракции при импульсном изменении расхода относительно аналогичного эксперимента с постоянным расходом диоксида углерода, %

Note: M<sub>CO<sub>2</sub></sub> is carbon dioxide consumption per extraction cycle, g; ΔM<sub>CO<sub>2</sub></sub>/M<sub>CO<sub>2</sub></sub> is the reduction in carbon dioxide consumption for one extraction cycle with a pulsed change in consumption relative to a similar experiment with a constant consumption of carbon dioxide, %

ВЛИЯНИЕ УЛЬТРАЗВУКОВОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ

На рис. 10 и 11 представлены кинетические кривые выхода экстракта из аралии маньчжурской и женьшеня соответственно в экспериментах сверхкритической экстракции с использованием ультразвукового воздействия.

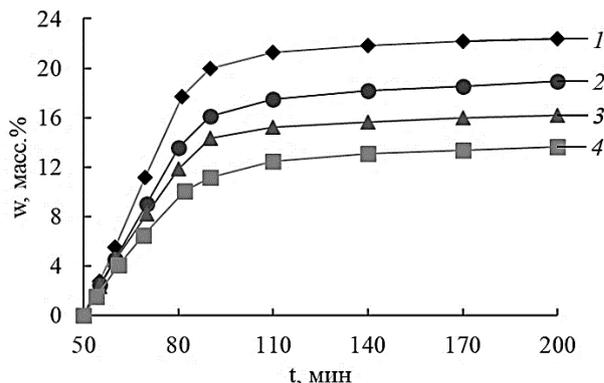


Рис. 10. Кинетическая кривая выхода экстракта из аралии маньчжурской при: 1 – ультразвук, 50 °С, 200 бар, 2 – 50 °С, 200 бар, 3 – ультразвук, 50 °С, 120 бар, 4 – 50 °С, 120 бар  
Fig. 10. Kinetic curve of extract yield from the *Aralia mandshurica* at: 1 – ultrasound, 50 °С, 200 bar, 2 – 50 °С, 200 bar, 3 – ultrasound, 50 °С, 120 bar, 4 – 50 °С, 120 bar

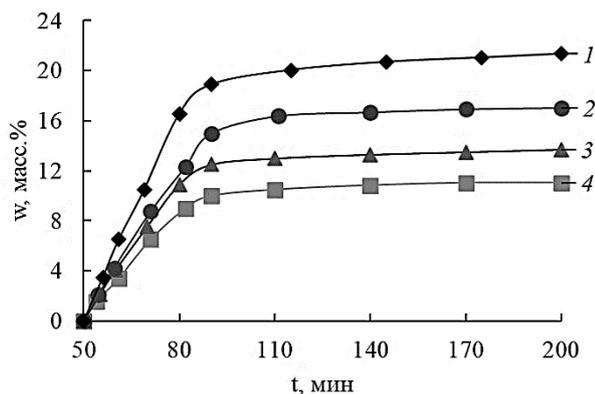


Рис. 11. Кинетическая кривая выхода экстракта из женьшеня при: 1 – ультразвук, 50 °С, 200 бар, 2 – 50 °С, 200 бар, 3 – ультразвук, 50 °С, 120 бар, 4 – 50 °С, 120 бар  
 Fig. 11. Kinetic curve of extract yield from *Panax ginseng* at: 1 – ultrasound, 50 °С, 200 bar, 2 – 50 °С, 200 bar, 3 – ultrasound, 50 °С, 120 bar, 4 – 50 °С, 120 bar

Результаты проведения экспериментов с использованием ультразвукового воздействия представлены в табл. 3. Расход диоксида углерода равнялся 500 г/ч, температура процесса 50 °С и давление процесса 120 и 200 бар.

Таблица 3

Влияние ультразвукового воздействия на выход экстракта из аралии маньчжурской и женьшеня  
 Table 3. The effect of ultrasound exposure on the yield of extract from *Aralia mandshurica* and *Panax ginseng*

УЗ	<i>P</i> , бар	<i>w</i> , %	$\Delta w/w$ , %
Аралия маньчжурская			
Нет	120	13,65	-
Да	120	16,20	18,70
Нет	200	18,95	-
Да	200	22,35	17,90
Женьшень			
Нет	120	11,05	-
Да	120	13,70	24,00
Нет	200	17,05	-
Да	200	21,35	25,22

Примечание: УЗ – ультразвуковое воздействие;  $\Delta w/w$  – увеличение массового выхода экстракта при ультразвуковом воздействии относительно аналогичного эксперимента без ультразвукового воздействия, %

Note: US is ultrasonic action;  $\Delta w/w$  is an increase in the mass yield of the extract under ultrasonic exposure relative to a similar experiment without ultrasonic exposure, %

Во всех представленных случаях ультразвуковое воздействие приводит к увеличению выхода экстракта из аралии маньчжурской и женьшеня. При ультразвуковом воздействии возникают перепады давлений, которые разрушают клеточную структуру растительного сырья, что способствует повышению интенсивности массообменных

процессов. Кроме того, ультразвуковые колебания создают акустические течения, которые приводят к повышению интенсивности конвективного транспорта в свободном объеме экстрактора. Таким образом, было установлено, что применение ультразвукового воздействия является эффективным методом интенсификации процесса сверхкритической экстракции.

## ВЫВОДЫ

Повышение давления процесса сверхкритической экстракции положительно влияет на кинетику экстракции биологически активных веществ. С увеличением давления возрастает плотность  $\text{CO}_2$  и его растворяющая способность. Среднее межмолекулярное расстояние между молекулами  $\text{CO}_2$  уменьшается, что приводит к усиленному специфическому взаимодействию между молекулами извлекаемых биологически активных веществ и растворителем. Помимо этого, увеличение массового выхода экстракта может быть связано с высвобождением извлекаемых биологически активных веществ из поврежденных из-за повышенного давления клеток.

Повышение температуры процесса сверхкритической экстракции ведет к возникновению явления ретроградии. С одной стороны, увеличение температуры приводит к снижению выхода экстракта из-за уменьшения растворимости вследствие уменьшения плотности, а с другой стороны, к повышению выхода экстракта из-за повышения летучести извлекаемых компонентов. Таким образом, при планировании экспериментов сверхкритической экстракции важно подобрать оптимальный диапазон температур проведения процесса для увеличения массового выхода экстракта.

Импульсная подача диоксида углерода позволяет значительно сократить потребление диоксида углерода – на 59,5% относительно эксперимента при постоянном расходе диоксида углерода.

Применение ультразвукового воздействия приводит к повышению выхода экстракта. Ультразвуковые колебания повышают интенсивность диффузионного массопереноса внутри клеточной структуры сырья и конвективный массоперенос в свободном объеме экстрактора.

*Работа выполнена при финансовой поддержке РХТУ им. Д.И. Менделеева, прикладной научно-исследовательский проект молодых штатных работников РХТУ им. Д.И. Менделеева в рамках программы стратегического академического лидерства «Приоритет-2030» № ВИГ-2022-008.*

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов, требующего раскрытия в данной статье.

The work is performed in the framework of research project №. VIG-2022-008 of the development

program "Priority-2030" of the Mendeleev University of Chemical Technology of Russia.

The authors declare the absence a conflict of interest warranting disclosure in this article.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Казеев И.В., Бочарова О.А., Шевченко В.Е., Карпова Р.В., Бочаров Е.В., Уютова Е.В., Шейченко О.П., Кучеряну В.Г., Барышникова М.А. Тандемная масс-спектрометрия в технологии определения аралозидов композиции фитоадаптогенов. *Теор. основы хим. технол.* 2020. Т. 54. № 6. С. 733–737. DOI: 10.31857/S0040357120050085.
2. Демченко Ю.Т., Смирнова А.А., Болотова В.Ц., Каухова И.Е., Вишневская Е.К. Противовоспалительная активность извлечений, полученных методом двухфазной экстракции трех видов лекарственного растительного сырья. *Растит. ресурсы.* 2006. Т. 42. № 4. С. 61–70.
3. Бошкаева А.К., Игисенова А.И., Ибадуллаева Г.С., Ибадуллаева Р.А., Исакаова М.К., Бисенбаев Э.М. Клинико-лабораторные исследования лекарственных средств растительного происхождения из отечественного сырья. *Internat. Sci. and Pract. Conf. World Sci.* 2016. Т. 2. № 9 (13). С. 34–38.
4. Смоленцев С.Ю., Гугкаева М.С., Цугкиева З.Р. Эффективность применения лекарственных средств из растительного сырья для лечения острого послеродового эндометрита у коров. *Изв. Горск. гос. аграр. ун-та.* 2022. Т. 59–2. С. 123–131. DOI: 10.54258/20701047\_2022\_59\_2\_123.
5. Дегтярева Е.А., Вишневская Л.И., Ярных Т.Г., Ткачук О.Ю. Перспективы использования растительного сырья тыквы для создания лекарственного препарата на его основе. *Україн. журн. клініч. та лаборатор. мед.* 2013. Т. 8. № 2. С. 31–35.
6. Фабрицкая А.А., Семенихин С.О., Городецкий В.О., Котляревская Н.И., Викторова Е.П. Современные исследования в области интенсификации процесса экстракции биологически активных веществ из растительного сырья с применением ферментов. *Нов. технол.* 2021. Т. 17. № 2. С. 56–66. DOI: 10.47370/2072-0920-2021-17-2-56-66.
7. Муравьева Д.А., Самылина И.А., Яковлев Г.П. Фармакогнозия: учебник для студентов фармацевтических вузов. М.: Медицина. 2007. 652 с.
8. Alsayari A., Muhsinah A.B., Almughaslah D., Annadurai S., Wahab S. Pharmacological Efficacy of Ginseng against Respiratory Tract Infections. *Molecules.* 2021. V. 26. N 13. P. 4095. DOI: 10.3390/molecules26134095.
9. Yang H., Zhai B., Fan Y., Wang J., Sun J., Shi Y., Guo D. Intestinal absorption mechanisms of araloside A in situ single-pass intestinal perfusion and in vitro Caco-2 cell model. *Biomed. & Pharmacoth.* 2018. V. 106. P. 1563–1569. DOI: 10.1016/j.biopha.2018.07.117.
10. Yu L. The antitumor effects of Araloside A extracted from the root bark of *Aralia elata* on human kidney cancer cell lines. *Afr. J. Pharm. Pharmacol.* 2011. V. 5. N 4. P. 462–467. DOI: 10.5897/AJPP10.317.
11. Lee J.-H., Kim J.-S., Shin S.-D. Anti-oxidant, anti-inflammatory, and anti-carcinogenic activities of araloside A from *Aralia elata*. *J. App. Pharm. Sci.* 2018. V. 8. N 10. P. 129–135. DOI: 10.7324/JAPS.2018.81017.

#### REFERENCES

1. Kazeev I.V., Bocharova O.A., Shevchenko V.E., Karpova R.V., Bocharov E.V., Baryshnikova M.A., Uyutova E.V., Sheychenko O.P., Kucheryan V.G. Tandem mass spectrometry in the technology of determining aralosides of phytoadaptogene compositions. *Theor. Found. Chem. Eng.* 2020. V. 54. N 6. P. 1242–1246. DOI: 10.1134/S0040579520050334.
2. Demchenko Yu. T., Smirnova A.A., Bolotova V. Ts., Kauhova I.E., Vishnevskaya E.K. Anti-inflammatory activity of extracts obtained by two-phase extraction from three sorts of medicinal raw material. *Rastit. Resursy.* 2006. V. 42. N 4 P. 61–70 (in Russian).
3. Boshkaeva A.K., Igisenoa A.I., Ibadullaeva R.A., Iskakova M.K., Bisenbaev E.M. Clinical and laboratory studies of herbal medicines from domestic raw materials. *Internat. Sci. and Pract. Conf. World Sci.* 2016. V. 2. N 9 (13). P. 34–38 (in Russian).
4. Smolentsev S.Yu., Gugkaeva M.S., Cugkieva Z.R. The efficiency of herbal medicines' use in the treatment of acute postpartum endometritis of cows. *Izv. Gorsk. Gos. Agrar. Univ.* 2022. V. 59–2. P. 123–131 (in Russian). DOI: 10.54258/20701047\_2022\_59\_2\_123.
5. Degtyareva E.A., Vishnevskaya L.I., Yarnykh T.G., Tkachuk O.Yu. Prospects of using plant materials pumpkin for creating a medicine based on it. *Ukrain. Zhurn. Kinich. Laborator. Med.* 2013. V. 8. N 2. P. 31–35 (in Russian).
6. Fabritskaya A.A., Semenikhin S.O., Gorodeckiy V.O., Kotlyarevskaya N.I., Viktorova E.P. Modern research on the extraction of biologically active substances from plant raw materials using enzymes. *Nov. Tekhnol.* 2021. V. 17. N 2. P. 56–66 (in Russian). DOI: 10.47370/2072-0920-2021-17-2-56-66.
7. Muravieva D.A., Samylina I.A., Yakovlev G.P. Pharmacognosy: textbook for students of pharmaceutical universities. M.: Meditsina. 2007. 652 p. (in Russian).
8. Alsayari A., Muhsinah A.B., Almughaslah D., Annadurai S., Wahab S. Pharmacological Efficacy of Ginseng against Respiratory Tract Infections. *Molecules.* 2021. V. 26. N 13. P. 4095. DOI: 10.3390/molecules26134095.
9. Yang H., Zhai B., Fan Y., Wang J., Sun J., Shi Y., Guo D. Intestinal absorption mechanisms of araloside A in situ single-pass intestinal perfusion and in vitro Caco-2 cell model. *Biomed. Pharmacoth.* 2018. V. 106. P. 1563–1569. DOI: 10.1016/j.biopha.2018.07.117.
10. Yu L. The antitumor effects of Araloside A extracted from the root bark of *Aralia elata* on human kidney cancer cell lines. *Afr. J. Pharm. Pharmacol.* 2011. V. 5. N 4. P. 462–467. DOI: 10.5897/AJPP10.317.
11. Lee J.-H., Kim J.-S., Shin S.-D. Anti-oxidant, anti-inflammatory, and anti-carcinogenic activities of araloside A from *Aralia elata*. *J. App. Pharm. Sci.* 2018. V. 8. N 10. P. 129–135. DOI: 10.7324/JAPS.2018.81017.

12. Luo Y., Lu S., Gao Y., Yang K., Wu D., Xu X., Sun G., Sun X. Araloside C attenuates atherosclerosis by modulating macrophage polarization via Sirt1-mediated autophagy. *Aging (Albany NY)*. 2020. V. 12. N 2. P. 1704–1724. DOI: 10.18632/aging.102708.
13. Wang M., Tian Y., Du Y., Sun G., Xu X., Jiang H., Xu H., Meng X., Zhang J., Ding S., Zhang M., Yang M., Sun X. Protective effects of Araloside C against myocardial ischaemia/reperfusion injury: potential involvement of heat shock protein 90. *J. Cellular Molec. Med.* 2017. V. 21. N 9. P. 1870–1880. DOI: 10.1111/jcmm.13107.
14. Филонова О.В., Лекарь А.В., Борисенко С.Н., Ветрова Е.В., Максименко Е.В., Борисенко Н.И., Минкин В.И. Получение олеаноловой кислоты и ее производных гидролизом аралозидов аралии маньчжурской в субкритической воде. *Сверхкрит. флюиды: теор. и практ.* 2015. Т. 10. № 2. С. 31–39.
15. Павлович В.А. Биологически активные соединения женьшеня (*Panax L.*). Биологически активные соединения в жизни человека – 2017: сб. матер. унив. студ. науч.-практ. конф. 14 декабря 2017 г. Брест. С. 74–77.
16. Кочкин Д.В., Глаголева Е.С., Галишев Б.А., Спиридович Е.В., Носов А.М., Решетников В.Н. Анализ гинзенозидов в корнях женьшеня настоящего (*Panax ginseng*), интродуцированного в Центральном ботаническом саду НАН Беларуси. *Докл. национал. Акад. Наук Беларуси*. 2018. Т. 62. № 4. С. 447–454. DOI: 10.29235/1561-8323-2018-62-4-447-454.
17. Wan Y., Wang J., Xu J., Tang F., Chen L., Tan Y., Rao C., Ao H., Peng C. *Panax ginseng* and its ginsenosides: potential candidates for the prevention and treatment of chemotherapy-induced side effects. *J. Ginseng Res.* 2021. V. 45. N 6. P. 617–630. DOI: 10.1016/j.jgr.2021.03.001.
18. Беспалов В.Г., Александров В.А., Семёнов А.Л., Кованько Е.Г., Иванов С.Д. Ингибирующий эффект биоженшеня на радиационный канцерогенез у крыс. *Вопр. онкологии*. 2012. Т. 58. № 2. С. 248–252.
19. Разгонова М.П., Захаренко А.М., Каленик Т.К., Голохваст К.С. «Зеленые технологии» получения соединений гинзенозидов из дальневосточного женьшеня (*Panax Ginseng*) с помощью сверхкритической CO<sub>2</sub>-экстракции для использования в пищевой, лекарственной и косметической промышленности. *Совр. наука и инновации*. 2018. № 2 (22). С. 128–136.
20. Меньшутина Н.В., Казеев И.В., Худеев И.И., Артемьев А.И., Флегонтов П.А., Дашкин Р.Р. Извлечение аралозидов сверхкритической экстракцией из аралии маньчжурской. *Изв. вузов. Химия и хим. технология*. 2022. Т. 65. Вып. 4. С. 22–29. DOI: 10.6060/ivkkt.20226504.6523.
21. Dimić I., Pezo L., Rakić D., Teslić N., Zeković Z., Pavlić B. Supercritical Fluid Extraction Kinetics of Cherry Seed Oil: Kinetics Modeling and ANN Optimization. *Foods*. 2021. V. 10. N 7. P. 1513. DOI: 10.3390/foods10071513.
22. Покровский О. Пробоподготовка в химическом анализе методом сверхкритической флюидной экстракции. *Аналитика*. 2013. № 6 (13). С. 22–27.
23. Гурин В., Титенко А., Старокадомский Д., Куц В., Демченко Л., Малоштан С., Бархоленко В., Решетник М., Николайчук А., Кашуба О., Камарали А. Комбинированная мобильная установка сверхкритической CO<sub>2</sub>-экстракции. *Chronos: естеств. и техн. науки*. 2021. Т. 6. № 4 (37). С. 16–23.
24. Гумеров Ф.М. Сверхкритические флюидные технологии. экономическая целесообразность. Казань: ООО "Иннов.-изд. дом «Бутлеровское наследие». 2019. 440 с.
12. Luo Y., Lu S., Gao Y., Yang K., Wu D., Xu X., Sun G., Sun X. Araloside C attenuates atherosclerosis by modulating macrophage polarization via Sirt1-mediated autophagy. *Aging (Albany NY)*. 2020. V. 12. N 2. P. 1704–1724. DOI: 10.18632/aging.102708.
13. Wang M., Tian Y., Du Y., Sun G., Xu X., Jiang H., Xu H., Meng X., Zhang J., Ding S., Zhang M., Yang M., Sun X. Protective effects of Araloside C against myocardial ischaemia/reperfusion injury: potential involvement of heat shock protein 90. *J. Cellular Molec. Med.* 2017. V. 21. N 9. P. 1870–1880. DOI: 10.1111/jcmm.13107.
14. Filonova O.V., Lekar' A.V., Borisenko S.N., Vetrova E.V., Maksimenko E.V., Borisenko N.I., Minkin V.I. Hydrolysis of aralosides from aralia manchurian in subcritical water to oleanolic acid and its derivatives. *Russ. J. Phys. Chem. B*. 2016. V. 10. N 7. P. 1085–1091. DOI: 10.1134/S1990793116070071
15. Pavlovich V.A. Biologically active compounds of ginseng (*Panax L.*). Biologicheski aktivnye soedineniya v zhizni cheloveka – 2017: sb. mater. univ. stud. nauch.-prakt. konf. Brest. 2017. P. 74–77 (in Russian).
16. Kochkin D.V., Glagoleva E.S., Galishev B.A., Spiridovich E.V., Nosov A.M., Reshetnikov V.N. Analysis of ginsenosides in the roots of panax ginseng introduced in the central botanical garden of nas of Belarus. *Dokl. Nats. Akad. Nauk Belarusi*. 2018. V. 62. N 4. P. 447–454 (in Russian). DOI: 10.29235/1561-8323-2018-62-4-447-454.
17. Wan Y., Wang J., Xu J., Tang F., Chen L., Tan Y., Rao C., Ao H., Peng C. *Panax ginseng* and its ginsenosides: potential candidates for the prevention and treatment of chemotherapy-induced side effects. *J. Ginseng Res.* 2021. V. 45. N 6. P. 617–630. DOI: 10.1016/j.jgr.2021.03.001.
18. Bepalov V.G., Aleksandrov V.A., Semyonov A.L., Kovanko E.G., Ivanov S.D. Bioginseng inhibitory effect on radiationinduced carcinogenesis in rats. *Vopr. Onkologii*. 2012. V. 58. N 2. P. 248–252 (in Russian).
19. Razgonova M.P., Zaharenko A.M., Kalenik T.K., Golohvast K.S. "Green technologies" for obtaining ginsenosides from the far eastern ginseng (*Panax ginseng*) with supercritical CO<sub>2</sub>-extraction for use in food, medicine and cosmetic industry. *Sovr. nauka i innovatsii*. 2018. N 2 (22). P. 128–136 (in Russian).
20. Menshutina N.V., Kazeev I.V., Hudeev I.I., Artemiev A.I., Flegontov P.A., Dashkin R.R. Obtaining aralosides by supercritical extraction from Aralia Mandshurica. *Chem-ChemTech [Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.]*. 2022. V. 65. N 4. P. 22–29 (in Russian). DOI: 10.6060/ivkkt.20226504.6523.
21. Dimić I., Pezo L., Rakić D., Teslić N., Zeković Z., Pavlić B. Supercritical Fluid Extraction Kinetics of Cherry Seed Oil: Kinetics Modeling and ANN Optimization. *Foods*. 2021. V. 10. N 7. P. 1513. DOI: 10.3390/foods10071513.
22. Pokrovskij O. Sample preparation by supercritical fluid extraction in chemical analysis. *Analitika*. 2013. N 6 (13). P. 22–27 (in Russian).
23. Gurin V., Titenko A., Starokadomskiy D., Kuts V., Demchenko L., Maloshtan S., Barkholenko V., Reshetnik M., Nikolajyhuk A., Kashuba O., Kamarali A. Combined mobile super critical CO<sub>2</sub> extraction plant. *Chronos: Estestv. Tekhnich. Nauki*. 2021. V. 6. N 4 (37). P. 16–23 (in Russian).
24. Gumerov F.M. Supercritical fluid technologies. Economic feasibility. M.: ООО «Butlerovskoye naslediyе». 2019. 440 p. (in Russian).

25. **Uwineza P.A., Wańkiewicz A.** Recent Advances in Supercritical Fluid Extraction of Natural Bioactive Compounds from Natural Plant Materials. *Molecules*. 2020. V. 25. N 17. P. 3847. DOI: 10.3390/molecules25173847.
26. **Pereira C.G., Meireles M.A.A.** Supercritical Fluid Extraction of Bioactive Compounds: Fundamentals, Applications and Economic Perspectives. *Food Bioprocess Technol.* 2010. V. 3. N 3. P. 340–372. DOI: 10.1007/s11947-009-0263-2.
27. **Меньшутина Н.В., Казеев И.В., Артемьев А.И., Боcharова О.А., Худеев И.И.** Применение сверхкритической экстракции для выделения химических соединений. *Изв. вузов. Химия и хим. технология*. 2021. Т. 64. Вып. 6. С. 4–19. DOI: 10.6060/ivkkt.20216406.6405.
28. **Chaves J.O., de Souza M.C., da Silva L.C., Lachos-Perez D., Torres-Mayanga P.C., Machado A.P. da F., Forster-Carneiro T., Vázquez-Espinosa M., González-de-Peredo A.V., Barbero G.F., Rostagno M.A.** Extraction of Flavonoids From Natural Sources Using Modern Techniques. *Front Chem*. 2020. V. 8. P. 507887. DOI: 10.3389/fchem.2020.507887.
25. **Uwineza P.A., Wańkiewicz A.** Recent Advances in Supercritical Fluid Extraction of Natural Bioactive Compounds from Natural Plant Materials. *Molecules*. 2020. V. 25. N 17. P. 3847. DOI: 10.3390/molecules25173847.
26. **Pereira C.G., Meireles M.A.A.** Supercritical Fluid Extraction of Bioactive Compounds: Fundamentals, Applications and Economic Perspectives. *Food Bioprocess Technol.* 2010. V. 3. N 3. P. 340–372. DOI: 10.1007/s11947-009-0263-2.
27. **Menshutina N.V., Kazeev I.V., Artemiev A.I., Bocharova O.A., Khudeev I.I.** Application of supercritical extraction for isolation of chemical compounds *ChemChemTech [Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.]*. 2021. V. 64. N 6. P. 4–19 (in Russian). DOI: 10.6060/ivkkt.20216406.6405.
28. **Chaves J.O., de Souza M.C., da Silva L.C., Lachos-Perez D., Torres-Mayanga P.C., Machado A.P. da F., Forster-Carneiro T., Vázquez-Espinosa M., González-de-Peredo A.V., Barbero G.F., Rostagno M.A.** Extraction of Flavonoids From Natural Sources Using Modern Techniques. *Front Chem*. 2020. V. 8. P. 507887. DOI: 10.3389/fchem.2020.507887.

Поступила в редакцию 29.09.2022  
Принята к опубликованию 25.10.2022

Received 29.09.2022  
Accepted 25.10.2022