

УДК 661.123

3.4.2 Фармацевтическая химия, фармакогнозия

DOI: 10.37903/vsgma.2025.2.27 EDN: PIZKDO

ИННОВАЦИОННЫЙ ПОДХОД К ВЫДЕЛЕНИЮ ГЛИЦИРРИЗИНОВОЙ КИСЛОТЫ ИЗ КОРНЕЙ СОЛОДКИ: ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МАЛОТОКСИЧНЫХ РАСТВОРИТЕЛЕЙ И УПРОЩЁННОГО АППАРАТУРНОГО ДИЗАЙНА© Степанов К.С.¹, Путенкова Л.Ю.², Сорокин В.В.¹¹Санкт-Петербургский государственный химико-фармацевтический университет, Россия, 197022, Санкт-Петербург, ул. Профессора Попова, 14А²Смоленский государственный медицинский университет, Россия, 214019, Смоленск, ул. Крупской, 28*Резюме*

Цель. Разработать технологию выделения глицирризиновой кислоты из корней солодки, не требующую сложного аппаратного дизайна на основе растворителей с низкой токсичностью.

Методика. Для получения неочищенного экстракта из корней солодки применён метод многократной мацерации. Возможность очистки глицирризиновой кислоты изучалась посредством разработки технологических процессов, отличающихся простотой аппаратного оформления и применением малотоксичных растворителей. С целью подтверждения пригодности разработанной технологии выделения глицирризиновой кислоты, сопоставлены результаты спектрофотометрии и высокоэффективной жидкостной хроматографии образца тринатрия глицирризината, полученного в соответствии с разработанной технологией, и стандартного образца.

Результаты. Разработана технология выделения глицирризиновой кислоты из корней солодки, включающая следующие стадии: водную экстракцию корней, осаждение целевого вещества подкислением в высаливающем растворе, его растворение и осаждение в этиловом спирте, осаждение гидроксидом кальция, растворение и осаждение в изопропиловом спирте, растворение в водном растворе хлорида натрия, жидкостную экстракцию в двухфазной системе изопропиловый спирт – водный раствор хлорида натрия, растворение и осаждение в этиловом спирте, осаждение подкислением без высаливания. Спектральные и хроматографические характеристики тринатрия глицирризината, полученного по разработанной методике, включая длину волны максимума поглощения, спектр поглощения и время удерживания основного пика на хроматограмме, идентичны таковым для стандартного образца.

Заключение. Разработанная технология характеризуется упрощённым аппаратным дизайном и применением растворителей с низкой токсичностью. На стадиях очистки не используется ацетон, который применяют в существующих технологиях выделения, что повышает безопасность процесса. Отсутствует необходимость перекристаллизации целевого вещества из ледяной уксусной кислоты. Это позволяет избежать его высоких потерь. Внедрение высаливания в процесс кислотного осаждения уменьшает время выдержки и увеличивает выход продукта.

Ключевые слова: глицирризиновая кислота, тринатрия глицирризинат, экстрагирование, очистка, гидроксид кальция, жидкостная экстракция, высаливание

AN INNOVATIVE APPROACH TO THE ISOLATION OF GLYCYRRHIZIC ACID FROM LICORICE ROOTS: THE USE OF LOW-TOXICITY SOLVENTS AND SIMPLIFIED EQUIPMENTStepanov K.S.¹, Putenkova L.Yu.², Sorokin V.V.¹¹Saint-Petersburg State Chemical-Pharmaceutical University, Professora Popova St., 14A, 197022, St. Petersburg, Russia²Smolensk State Medical University, 28, Krupskoj St., 214019, Smolensk, Russia*Abstract*

Objective. To develop a technology for the isolation of glycyrrhizic acid from licorice roots that does not require complicated equipment and based on low-toxicity solvents.

Methods. To obtain a crude extract from licorice roots, a repeated maceration method was used. The possibility of purifying glycyrrhizic acid was investigated by developing technological processes characterized by simple equipment and the use of low-toxicity solvents. To confirm the suitability of the

developed technology for the isolation of glycyrrhizic acid, the results of spectrophotometry and high-performance liquid chromatography of the trisodium glycyrrhizinate sample, obtained in accordance with the developed technology, and a standard sample were compared.

Results. The technology for the isolation of glycyrrhizic acid from licorice roots has been developed. It includes the following stages: aqueous extraction of roots, precipitation of the target compound by acidification in a salting-out solution, its dissolution and precipitation in ethyl alcohol, precipitation with calcium hydroxide, dissolution and precipitation in isopropyl alcohol, dissolution in an aqueous solution of sodium chloride, solvent extraction in a two-phase system of isopropyl alcohol – aqueous solution of sodium chloride, dissolution and precipitation in ethyl alcohol, precipitation by acidification without salting-out. The spectral and chromatographic characteristics of trisodium glycyrrhizinate obtained using the developed technique, including the wavelength of the absorption maximum, the absorption spectrum and the retention time of the main peak on the chromatogram, are identical to those for the standard sample.

Conclusion. The developed technology is characterized by a simplified equipment and the use of low-toxicity solvents. Acetone is not used in the purification stages, which increases the safety of the process compared to isolation technologies where it is used. There is no need to recrystallize the target component from glacial acetic acid. This allows avoiding its high losses. The introduction of salting-out into the acid precipitation process reduces the holding time and increases the product yield.

Keywords: glycyrrhizic acid, trisodium glycyrrhizinate, extraction, purification, calcium hydroxide, solvent extraction, salting-out

Введение

Глицирризиновая кислота (ГК) – это тритерпеновый гликозид, выделяемый из корней солодки. Значимость глицирризиновой кислоты и получаемых из неё солей обусловлена рядом факторов: субстанция обладает доказанной широкой терапевтической активностью, в том числе притивовирусной, противовоспалительной, гепатопротекторной, иммуномодулирующей; являясь лекарственным веществом природного происхождения, проявляет низкую токсичность и не имеет выраженных побочных эффектов; используется в качестве системы доставки других лекарственных веществ, образуя с ними супрамолекулярные комплексы и повышая их биодоступность; обладает сладким вкусом и применяется как подсластитель, усилитель вкуса, сахарозаменитель [2, 7, 9]. Потребителями глицирризиновой кислоты являются пищевая, косметическая и фармацевтическая промышленность, а также ветеринария.

На текущий момент отсутствуют технологии, позволяющие получать очищенную глицирризиновую кислоту из корней солодки с высоким выходом, имеющие простой аппаратный дизайн, использующие доступные и относительно дешёвые материалы и растворители, характеризующиеся низкой токсичностью, и не имеющие выраженного раздражающего действия. В результате указанные недостатки ограничивают возможность переработки корней солодки и производство очищенной глицирризиновой кислоты, её солей и продуктов на их основе. Необходим поиск новых способов выделения глицирризиновой кислоты и изучение условий их проведения.

Цель исследования – разработать технологию выделения глицирризиновой кислоты из корней солодки, не требующую сложного аппаратного дизайна на основе растворителей с низкой токсичностью.

Методика

Для получения неочищенного экстракта из корней солодки применён метод многократной мацерации. В качестве экстрагента использовали водный раствор гидрокарбоната натрия. Возможность очистки глицирризиновой кислоты изучалась посредством разработки технологических процессов, отличающихся простотой аппаратного оформления и применением малотоксичных растворителей. Исследовались процессы растворения, осаждения при изменении pH, высаливания, жидкостной экстракции. С целью подтверждения пригодности разработанной технологии выделения глицирризиновой кислоты, сопоставлены результаты спектрофотометрии и высокоэффективной жидкостной хроматографии (ВЭЖХ) образца тринатрия глицирризината ($\text{Na}_3\text{ГК}$), полученного в соответствии с разработанной технологией, и стандартного образца.

Результаты исследования и их обсуждение

В известных технологиях выделения глицирризиновой кислоты из корней солодки используют хорошо изученные стадии осаждения в воде при подкислении, растворения и кристаллизации из ацетона и стадии перекристаллизации из ледяной уксусной кислоты [1, 4-6, 8, 10, 11]. Согласно ним глицирризиновую кислоту осаждают при подкислении из экстракта корней солодки или из водного раствора её соли. Полученную кислоту растворяют в ацетоне и осаждают в виде трёхзамещенной соли при добавлении спиртового раствора щелочи. Затем проводят перекристаллизацию из ледяной уксусной кислоты с получением монозамещённой соли глицирризиновой кислоты. Использование данных процессов в сочетании с дополнительными операциями очистки позволяет получать глицирризиновую кислоту и её соли с высокой степенью удаления примесей.

Однако указанные способы очистки имеют недостатки, которые ограничивают их применение в промышленном производстве и приводят к необходимости поиска альтернативных технологий. Основной недостаток – выход целевого вещества в использующих данный способ технологиях относительно низкий и не превышает 65% [1, 8]. Существенные потери наблюдаются на стадии перекристаллизации из ледяной уксусной кислоты и на стадии осаждения глицирризиновой кислоты из воды при подкислении. На стадии перекристаллизации проходят побочные реакции осмоления или О-ацилирования целевого вещества при контакте с уксусной кислотой при нагревании [8]. На этапе водного осаждения для обеспечения адекватной скорости и полноты осаждения глицирризиновой кислоты требуется повышение температуры подкисленного раствора. Однако, следует отметить, что в данных условиях возможно протекание нежелательной побочной реакции кислотного гидролиза глицирризиновой кислоты с образованием глицирретиновой кислоты [3]. Другое ограничение – выраженный раздражающий эффект ацетона и ледяной уксусной кислоты в жидком и газообразном состоянии. При этом на этапах растворения в ацетоне и перекристаллизации в ледяной уксусной кислоте требуется нагрев, что увеличивает интенсивность парообразования. В результате выполнение технологических операций приводит к повышенным рискам на производстве и требует особых мер обеспечения безопасности. К числу ограничений следует отнести необходимость соблюдения специальных процедур контроля и оборота при приобретении и использовании ацетона и ледяной уксусной кислоты, что обусловлено их статусом прекурсоров в соответствии с законодательством Российской Федерации.

С целью преодоления обозначенных ограничений в рамках разработки технологии выделения и очистки глицирризиновой кислоты изучен потенциал использования растворителей с низким уровнем токсичности в качестве альтернативы ацетону и ледяной уксусной кислоте. В качестве технологических процессов рассматривались процессы растворения, осаждения при изменении pH, осаждения в виде кальциевой соли, жидкостной экстракции. Для модификации стадии кислотного осаждения из водного раствора рассматривалось применение высаливания. Разработанный процесс получения очищенной глицирризиновой кислоты из корней солодки представлен в виде технологической схемы на рис. 1.



Рис. 1. Технологическая схема разработанного процесса выделения глицирризиновой кислоты

На первом этапе экстрагируют корни солодки 2%-ным водным раствором гидрокарбоната натрия методом многократной мацерации при перемешивании и нагревании до температуры кипения. Далее, pH отфильтрованного водного экстракта доводят до 2,5-3,5, что приводит к образованию

осадка глицирризиновой кислоты. Для уменьшения потерь целевого вещества в экстракт добавляют хлорид натрия. Обнаружено, что высаливающий эффект от добавления хлорида натрия уменьшает растворимость глицирризиновой кислоты в воде и увеличивает скорость образования осадка. В случаях, когда для подкисления применяют слабую кислоту, например, уксусную, высаливание дополнительно уменьшает склонность целевого вещества к гелеобразованию, делает осадок более плотным, способствует его оседанию на дно и облегчает фильтрацию. Отфильтрованный осадок глицирризиновой кислоты промывают насыщенным водным раствором хлорида натрия и высушивают. Использование высаливающего раствора в качестве промывной жидкости позволяет избежать потерь целевого вещества при промывке. На рис. 2 представлены фотографии, отражающие проведение процесса на этапе 1.

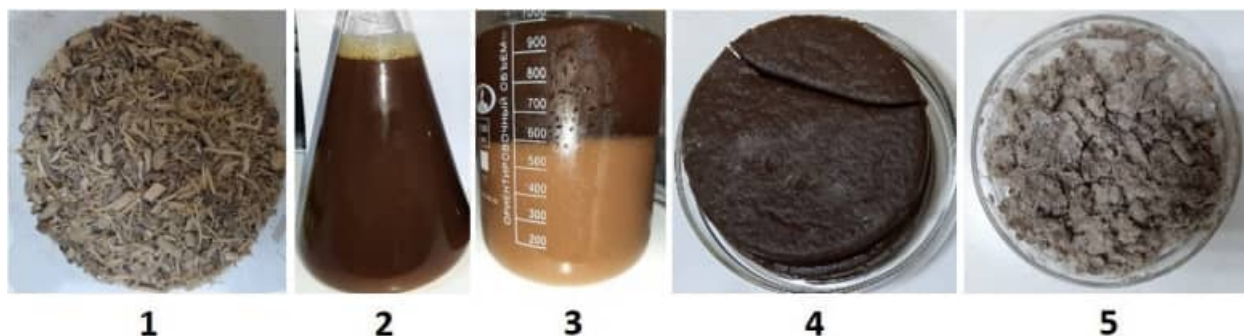


Рис. 2. Этап №1 (1 – измельчённые корни солодки; 2 – экстракт корней солодки; 3 – подкисленный экстракт; 4 – осадок глицирризиновой кислоты; 5 – осадок после высушивания)

На втором этапе глицирризиновую кислоту, содержащуюся в высушенном от влаги осадке, растворяют в этаноле. Для ускорения процесса и достижения полноты выхода целевого вещества, процесс проводят при перемешивании и нагревании. Вещества, нерастворимые в этаноле, удаляют фильтрацией. Для получения осадка тринатрия глицирризината фильтрат подщелачивают спиртовым раствором гидроксида натрия до величины pH 8-9, что сопровождается его оранжевым окрашиванием. Суспензию тринатрия глицирризината фильтруют, осадок промывают этиловым спиртом. На этом этапе важна высокая степень дегидратации осадка глицирризиновой кислоты, предназначенного для растворения в этаноле. Избыточное содержание воды в этанольном растворе приведёт к неполному осаждению тринатриевой соли глицирризиновой кислоты, поскольку растворимость последней в водно-этанольных смесях возрастает с увеличением доли воды, что, в свою очередь, потребует избыточного расхода этанола для обеспечения полноты выхода целевого продукта. На рис. 3 представлены фотографии, отражающие ход проведения процесса на этапе 2.

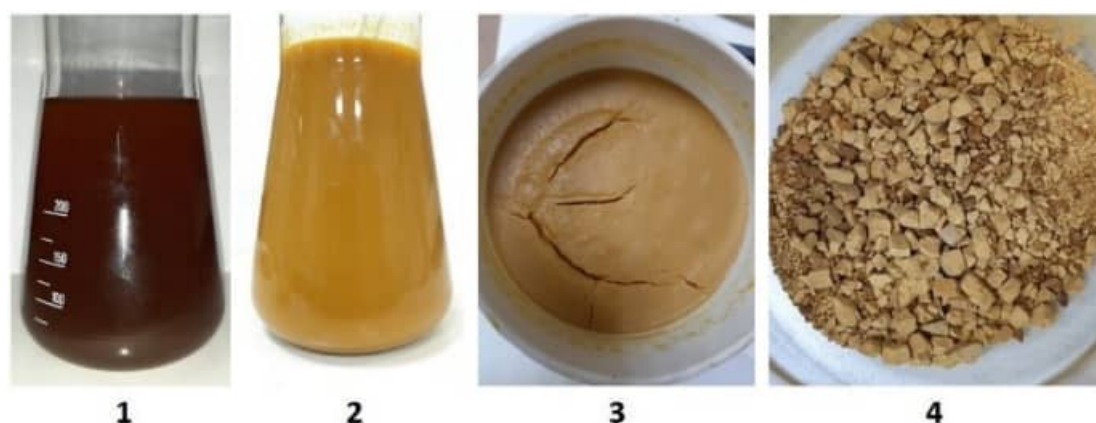


Рис. 3. Этап №2 (1 – спиртовой раствор глицирризиновой кислоты; 2 – осажденный тринатрия глицирризинат; 3 – осадок тринатрия глицирризината; 4 – высушенный осадок)

На третьем этапе тринатрия глицирризинат растворяют в воде, в раствор добавляют уксусную кислоту до достижения слабокислой среды, а затем при перемешивании добавляют водную суспензию гидроксида кальция до величины pH около 12, что сопровождается появлением оранжевого окрашивания раствора. В результате в осадок выпадает нерастворимая в воде

кальцевая соль глицирризиновой кислоты – глицирризинат кальция ($\text{Ca}_3\text{ГК}_2$). Осадок отделяют фильтрацией и промывают водой. Добавление уксусной кислоты (вместо неё могут использоваться другие кислоты, образующие с кальцием водорастворимые соли) позволяет избежать потерь целевого вещества. Обнаружено, что глицирризинат кальция неустойчив к кислотам и щелочам и они переводят его в форму свободной кислоты или в форму солей глицирризиновой кислоты соответственно. Предварительное подкисление связывает ионы натрия из молекул тринатрия глицирризинат и предотвращает образование гидроксида натрия.

Осадок глицирризината кальция суспендируют в воде, после чего медленно подкисляют при постоянном перемешивании. С целью интенсификации процесса кислотного осаждения дополнительно вводят хлорид натрия. В результате целевое вещество первоначально переходит в раствор, а затем происходит его повторное осаждение в виде глицирризиновой кислоты. Полученный осадок отделяют фильтрацией, промывают водным раствором хлорида натрия и подвергают сушке. На рис. 4 представлены фотографии, отражающие ход проведения процесса на этапе 3.

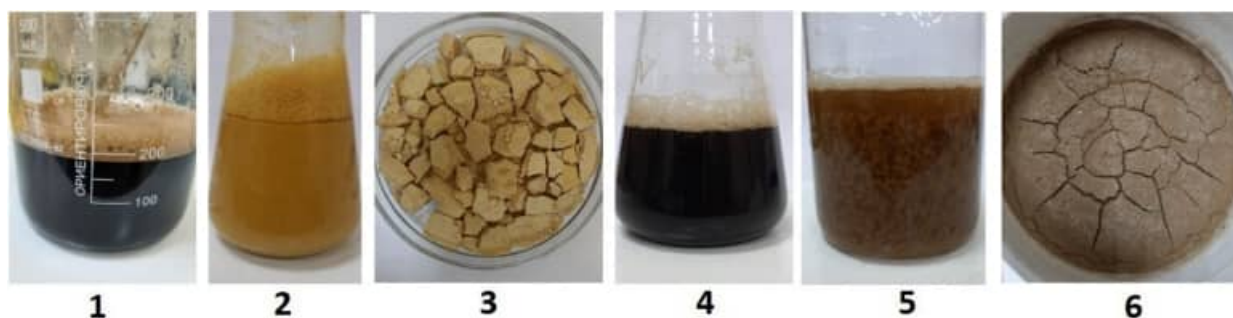


Рис. 4. Этап №3 (1 – водный раствор тринатрия глицирризината; 2 – суспензия глицирризината кальция; 3 – осадок глицирризината кальция; 4 – глицирризинат кальция после подкисления; 5 – суспензия глицирризиновой кислоты; 6 – осадок глицирризиновой кислоты)

Четвертый этап технологического процесса является аналогом второго этапа, за исключением замены этанола на изопропанол в качестве растворителя. Последовательность операций и принципы контроля параметров процесса на данных этапах остаются идентичными. Введение данного этапа обусловлено существенным различием в растворяющей способности изопропанола по сравнению с этанолом, что обеспечивает дополнительную стадию очистки целевой субстанции от примесей, ограниченно растворимых в изопропанол. На рис. 5 представлены фотографии, отражающие проведение процесса на этапе 4.

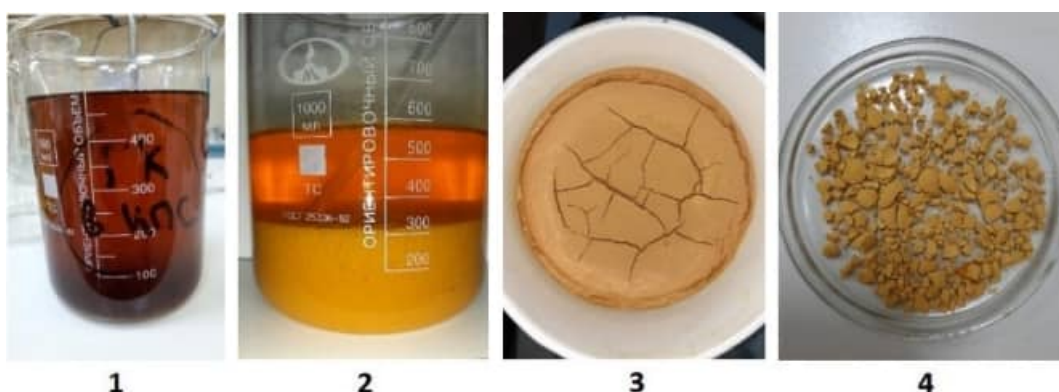


Рис. 5. Этап №4 (1 – раствор глицирризиновой кислоты в изопропиловом спирте; 2 – суспензия тринатрия глицирризината; 3 – осадок тринатрия глицирризината; 4 – осадок после высушивания)

На пятом этапе тринатрия глицирризинат растворяют в водном растворе хлорида натрия. Часть примесей за счёт высаливания остаются в виде осадка и удаляются фильтрацией. К полученному фильтрату добавляют изопропанол до формирования двухфазной системы, состоящей из изопропанола и водного раствора хлорида натрия. Полученную двухфазную систему используют

для жидкостной экстракции. Целевое вещество переводят из водной фазы в органическую фазу при подкислении раствором азотной кислоты до величины pH около 4. Органическую фазу отделяют, добавляют к ней насыщенный водный раствор хлорида натрия. Перевод целевого вещества в водную фазу достигается путём подщелачивания до $\text{pH} \approx 8$ раствором гидроксида натрия. Водный слой отделяют, добавляют уксусную кислоту до достижения слабокислой среды, а затем водную суспензию гидроксида кальция до образования осадка глицирризината кальция при величине pH около 12. Осадок отфильтровывают, промывают водой, суспендируют в воде, подкисляют уксусной кислотой и добавляют хлорид натрия. Образующийся осадок глицирризиновой кислоты фильтруют, промывают насыщенным водным раствором хлорида натрия и высушивают. На рис. 6 представлены фотографии, отражающие ход проведения процесса на этапе 5.

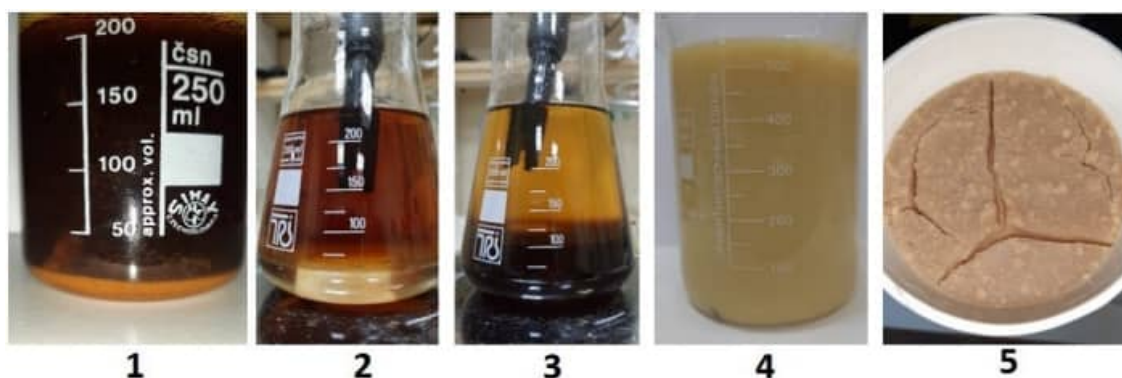


Рис. 6. Этап №5 (1 – растворение тринатрия глицирризината в водном растворе хлорида натрия; 2 – перевод целевого вещества в органическую фазу; 3 – перевод целевого вещества в водную фазу; 4 – суспензия глицирризината кальция; 5 – осадок глицирризиновой кислоты)

На шестом этапе осуществляется трансформация глицирризиновой кислоты в форму тринатриевой соли по аналогии с технологией, реализованной на втором этапе. При этом обеспечивается удаление остаточного хлорида натрия, а также проводится дополнительная стадия очистки целевой субстанции от нежелательных примесей.

На седьмом этапе тринатрия глицирризинат растворяют в воде и осаждают подкислением до величины pH раствора 2,5-3,5. Осадок глицирризиновой кислоты отделяют фильтрацией и промывают охлаждённой водой. На данной стадии кислотного осаждения хлорид натрия не добавляют, чтобы избежать его попадания в субстанцию. Ввиду отсутствия эффекта высаливания, для обеспечения формирования осадка глицирризиновой кислоты в виде аморфных частиц, а не гелеобразной формы, подкисление необходимо осуществлять с использованием сильной кислоты, например, такой как азотная. Поскольку при подкислении без высаливания целевое вещество может выпадать в осадок не полностью, то для снижения потерь подкисленный раствор нагревают и в течение короткого промежутка времени выдерживают при температуре кипения, а затем охлаждают и фильтруют. На рис. 7 представлены фотографии, отражающие проведение процесса на этапах 6 и 7.

Поскольку глицирризиновую кислоту довольно часто используют в фармацевтической, пищевой и косметической промышленности в форме солей, то целевое вещество переводят в форму тринатриевой соли (повторяют операции второго этапа). Для подтверждения идентичности выделенного соединения глицирризиновой кислоте, получены и сопоставлены спектры поглощения в УФ области (рис. 8) и хроматограммы, полученные методом ВЭЖХ (рис. 9), для исследуемого образца, выделенного согласно разработанной технологии, и стандартного образца тринатриевой соли глицирризиновой кислоты.

Сравнительный анализ спектрофотометрических и хроматографических данных показал идентичность характеристик полученного по разработанной технологии образца и стандартного образца тринатриевой соли глицирризиновой кислоты. В частности, установлено, что длина волны максимального поглощения ($\lambda_{\text{max}}=258$ нм), спектр поглощения и время удерживания основного пика ($R_t=8,56$ мин) в условиях ВЭЖХ для исследуемого образца полностью соответствуют аналогичным параметрам стандартного образца. Представленные результаты однозначно подтверждают, что полученная субстанция представляет собой глицирризиновую кислоту, и разработанная технология обеспечивает ее эффективное выделение из растительного сырья.

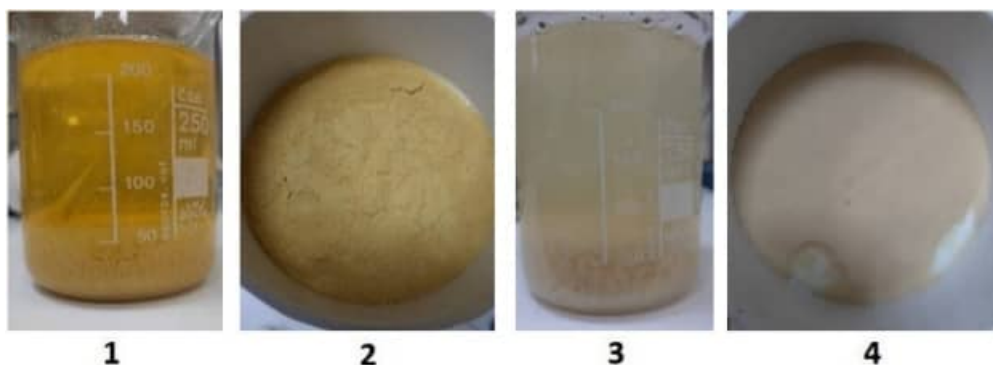


Рис. 7. Этапы №6 и №7 (1 – суспензия тринатрия глицирризината в этаноле; 2 – осадок тринатрия глицирризината; 3 – суспензия глицирризиновой кислоты; 4 – осадок глицирризиновой кислоты)

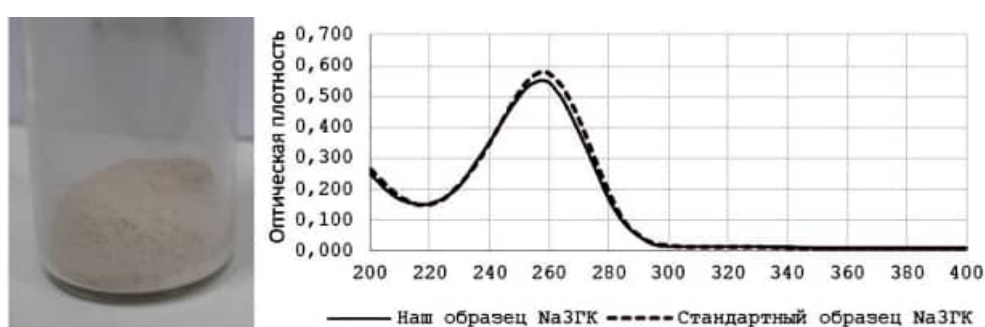


Рис. 8. Полученный по технологии тринатрия глицирризинат, его спектр поглощения и спектр поглощения стандартного образца тринатрия глицирризината

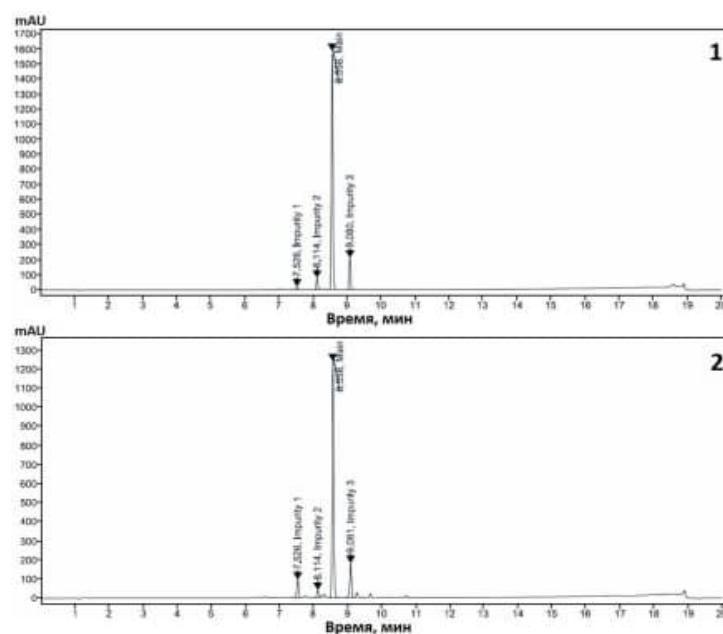


Рис. 9. Хроматограммы при длине волны 254,4 нм (1 – стандартный образец тринатрия глицирризината, 2 – полученный по технологии образец тринатрия глицирризината)

Заключение

Разработанная и предлагаемая к внедрению в промышленность технология выделения глицирризиновой кислоты из корней солодки характеризуется упрощённым аппаратным

дизайном и применением растворителей с низкой токсичностью. В рамках разработанной технологии внедрены инновационные подходы к выделению глицирризиновой кислоты, включающие использование высаливающего агента при кислотном осаждении, селективное растворение глицирризиновой кислоты в изопропанол, растворение тринатрия глицирризината в высаливающем водном растворе хлорида натрия, а также жидкостную экстракцию в двухфазной системе изопропанол – водный раствор хлорида натрия с контролируемым значением pH. Существенным преимуществом разработанной методики является исключение ацетона на этапах очистки, что способствует повышению безопасности технологического процесса. Исключение стадии перекристаллизации из ледяной уксусной кислоты позволяет минимизировать потери целевого продукта.

Литература (references)

1. Кондратенко Р.М., Балтина Л.А., Михайлова Л.Р. и др. Получение глицирризиновой кислоты и ее практически важных солей из экстракта солодкового корня // Химико-фармацевтический журнал. – 2005. – Т.39, №2. – С. 30-33. [Kondratenko R.M., Baltina L.A., Mihajlova L.R. i dr. *Himiko-farmaceuticheskij zhurnal*. Pharmaceutical Chemistry Journal. – 2005. – V.39, N2. – P. 30-33. (in Russian)]
2. Ларичева К.Н., Гришина У.Г. Глицерин как альтернативный растворитель для экстракции глицирризиновой кислоты из корней Солодки голой *Glycyrrhiza glabra* // Новые технологии. – 2024. – Т.20, №2. – С.90-104. [Laricheva K.N., Grishina U.G. *Novye tehnologii*. New technologies. – V.20, N2. – P. 90-104. (in Russian)]
3. Лекарь А.В., Максименко Е.В., Борисенко С.Н. и др. Использование "One-Pot" метода для получения глицирретиновой кислоты из корней солодки (*Glycyrrhiza glabra* L.) в среде субкритической воды // Сверхкритические флюиды: теория и практика. – 2018. – Т.13, №4. – С. 19-27. doi: 10.34984/SCFTP.2018.13.4.003. [Lekar' A.V., Maksimenko E.V., Borisenko S.N. i dr. *Sverhkriticheskie fljuidy: teorija i praktika*. Supercritical Fluids: Theory and Practice. – 2018. – V.13, N4. – P. 19-27. (in Russian)]
4. Столярова О.В., Фаррахова Г.Ф., Балтина (Мл.) Л.А. и др. Выделение глицирризиновой кислоты и ее моноаммонийной соли из корней и корневищ солодки Коржинского (*Glycyrrhiza Korshinskyi* Grig) // Вестник Башкирского университета. – 2008. – Т.13, №2. – С. 256-258. [Stoljarova O.V., Farrahova G.F., Baltina (Ml.) L.A. i dr. *Vestnik Bashkirskogo universiteta*. Bulletin of the Bashkir University. – 2008. – V.13, N2. – P. 256-258 (in Russian)]
5. Al-Kubaise A.A., Al-Shahwany A.W. Isolation and Purification Glycyrrhizic acid and Determination of the Biological Activate Against Microbial Pathogens // *Advancements in Life Sciences*. – 2024. – V.11, N2. – P. 346-353.
6. Deng S., Li Q., Yang D. et al. A method for preparing high-purity glycyrrhizic acid // Chinese patent CN102286058A. Published 21 December 2011.
7. Jurel P., Bahadur S., Bajpai M. Emerging trends in pharmacological and therapeutic potential of glycyrrhizic acids: Traditional and nanotechnological approach // *Pharmacological Research - Modern Chinese Medicine*. – 2024. – V.12. – P. 100461.
8. Kondratenko R.M., Baltina L.A., Mustafina S.R. et al. Crystalline Glycyrrhizic Acid Synthesized from Commercial Glycyrram. Immunomodulant Properties of High-Purity Glycyrrhizic Acid // *Pharmaceutical Chemistry Journal*. – 2001. – V.35., N3. – P. 101-104.
9. Selyutina O.Yu., Polyakov N.E., Glycyrrhizic acid as a multifunctional drug carrier – From physicochemical properties to biomedical applications: A modern insight on the ancient drug // *International Journal of Pharmaceutics*. – 2019. – V.559. – P. 271-279.
10. Stolyarova O.V., Baltina JR L.A., Mikhailova L.R. et al. Optimizing the Method for Obtaining Monoammonium Salt of Glycyrrhizic Acid from the Ural Licorice (*Glycyrrhiza uralensis* Fisher) Roots of Siberian Populations // *Chemistry for Sustainable Development*. – 2008. – V.16, N5. – P. 563-568.
11. Zhurnov M.Zh., Miftakhova, A.F., Khalykberbiyev, M.K., et al. Isolation and standardization of glycyrrhizic acid from licorice dry extracts // *Farmacîa Kazahstana*. – 2023. – V.248., N3. – P. 265-270.

Информация об авторах

Степанов Константин Сергеевич – аспирант кафедры процессов и аппаратов химической технологии ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный химико-фармацевтический университет» Минздрава России. E-mail: stepanov.konstantin@pharminnotech.com

Путенкова Лариса Юрьевна – кандидат биологических наук, доцент кафедры нормальной физиологии ФГБОУ ВО «Смоленский государственный медицинский университет» Минздрава России. E-mail: lar.putenkova@gmail.com

Сорокин Владислав Валерьевич – кандидат фармацевтических наук, доцент, заведующий кафедрой процессов и аппаратов химической технологии ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный химико-фармацевтический университет» Минздрава России. E-mail: vladislav.sorokin@pharminnotech.com

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Поступила 14.03.2025

Принята к печати 06.06.2025