Сорбционные и хроматографические процессы. 2026. Т. 26, № 2. С. 253-261.
Sorbtsionnye i khromatograficheskie protsessy. 2026. Vol. 26, No 2. pp. 253-261.

ISSN 1680-0613

ОРИГИНАЛЬНЫЕ СТАТЬИ

Научная статья
УДК 544
doi: 10.17308/sorpchrom.2026.26/13906

Выбор условий разделения фосфолипидов лецитина в тонком слое сорбента

Виктория Владимировна Гринева, Дарья Сергеевна Качанова, Александра Александровна Назарова, Сергей Иванович Карпов✉
Воронежский государственный университет, Воронеж, Россия, karsiv@mail.ru✉

Аннотация. В настоящей работе изучены особенности разделения и определения фосфолипидов (ФЛ), входящих в состав фосфолипидных комплексов (ФЛК) лецитинов, с использованием метода тонкослойной хроматографии (ТСХ). Фосфолипиды представляют собой амфифильные молекулы, содержащие гидрофильную головку и гидрофобные хвосты, что обусловливает их способность формировать бислойные структуры и определяет их хроматографическое поведение. Исследована хроматографическая подвижность ФЛ в зависимости от состава подвижной фазы. Основное внимание уделено разрешению хроматографических зон и эффективности слоя сорбента при выборе условий хроматографического разделения липидов. Оптимизация состава элюента, включающая исследование хроматографической подвижности фосфолипидов в составе лецитинов, проводилась путём детального изучения влияния различных компонентов подвижной фазы. В процессе исследования варьировались: дисперсионные взаимодействия с использованием галогеналканов, протонодонорные свойства посредством алканолов, кислотные добавки с различными константами кислотности, а также полярность и донорно-акцепторные свойства растворителей. Установлено, что хроматографическое поведение фосфолипидов в значительной степени определяется полярностью подвижной фазы и способностью компонентов элюента к образованию водородных связей с полярными группами аналитов. Показано, что введение муравьиной кислоты в состав элюента способствует подавлению диссоциации силанольных групп на поверхности силикагеля, что приводит к уменьшению нежелательного электростатического взаимодействия и предотвращает размытие хроматографических зон. При замене уксусной кислоты на муравьиную наблюдается улучшение разделения фосфатидилхолина и фосфатидилэтаноламина, что объясняется более низким значением pKa муравьиной кислоты и, следовательно, более эффективным подавлением диссоциации ионогенных групп. Исследование хроматографической подвижности фосфолипидов в зависимости от соотношения компонентов подвижной фазы позволило установить, что эффективное разделение достигается при использовании смеси хлороформ–этанол–муравьиная кислота в соотношении 20:10:2. В этих условиях достигается чёткое разделение фосфатидилхолина, фосфатидилэтаноламина, фосфатидилсерина и других компонентов фосфолипидного комплекса. Полученные результаты позволяют рекомендовать разработанные условия для количественного анализа фосфолипидов в продуктах переработки растительных масел и других объектах, содержащих фосфолипидные комплексы. Методика отличается доступностью, воспроизводимостью и может быть использована в лабораторной практике для контроля качества лецитинов.
Ключевые слова: соевый лецитин, фосфолипиды, тонкослойная хроматография.
Для цитирования: Гринева В.В., Качанова Д.С., Назарова А.А., Карпов С.И. Выбор условий разделения фосфолипидов лецитина в тонком слое сорбента // *Сорбционные и хроматографические процессы*. 2026. Т. 26, № 2. С. 253-261. https://doi.org/10.17308/sorpchrom.2026.26/13906

Original article

Selection of conditions for the separation of lecithin phospholipids in a thin layer of sorbent

Victoria V. Grineva, Daria S. Kachanova, Alexandra A. Nazarova, Sergey I. Karpov
Voronezh State University, Voronezh, Russian Federation, karsiv@mail.ru ✉

© Гринева В. В., Качанова Д. С., Назарова А. А., Карпов С. И., 2026

Сорбционные и хроматографические процессы. 2026. Т. 26, № 2. С. 253-261.
Sorbtsionnye i khromatograficheskie protsessy. 2026. Vol. 26, No 2. pp. 253-261.

ISSN 1680-0613

Abstract. In this work, we study the features of the separation and determination of phospholipids (PL) included in the phospholipid complexes (PLC) of lecithins using thin-layer chromatography (TLC). Phospholipids are amphiphilic molecules containing a hydrophilic head and hydrophobic tails, which determines their ability to form bilayer structures and determines their chromatographic behavior. The chromatographic mobility of PL was studied depending on the composition of the mobile phase. Primary attention is paid to the resolution of chromatographic zones and the efficiency of the sorbent layer when choosing the conditions for the chromatographic separation of lipids. Optimization of the eluent composition, including a study of the chromatographic mobility of phospholipids in the composition of lecithins, was carried out through a detailed study of the influence of various components of the mobile phase. During the study, the following were varied: dispersion interactions using haloalkanes, proton-donor properties through alkanols, acidic additives with different acidity constants, as well as the polarity and donor-acceptor properties of solvents. It has been established that the chromatographic behavior of phospholipids is largely determined by the polarity of the mobile phase and the ability of eluent components to form hydrogen bonds with the polar groups of the analytes. The introduction of formic acid into the eluent suppresses the dissociation of silanol groups on the silica gel surface, which reduces undesirable electrostatic interactions and prevents the blurring of chromatographic zones. Replacing acetic acid with formic acid improves the separation of phosphatidylcholine and phosphatidylethanolamine, which is explained by the lower pKa value of formic acid and, consequently, more effective suppression of the dissociation of ionogenic groups. A study of the chromatographic mobility of phospholipids depending on the ratio of mobile phase components revealed that effective separation is achieved using a chloroform-ethanol-formic acid mixture in a ratio of 20:10:2. Under these conditions, clear separation of phosphatidylcholine, phosphatidylethanolamine, phosphatidylserine, and other components of the phospholipid complex is achieved. The results obtained allow us to recommend the developed conditions for the quantitative analysis of phospholipids in vegetable oil derivatives and other samples containing phospholipid complexes. The method is accessible, reproducible, and can be used in laboratory practice for quality control of lecithins.

Keywords: soybean lecithin, phospholipids, thin-layer chromatography.
For citation: Grineva V.V., Kachanova D.S., Nazarova A.A., Karpov S.I. Selection of conditions for the separation of lecithin phospholipids in a thin layer of sorbent. *Sorbtsionnye i khromatograficheskie protsessy*. 2026. 26(2): 253-261. (In Russ.). https://doi.org/10.17308/sorpchrom.2026.26/13906

Введение

Одним из направлений развития современной химии является разработка эффективных способов выделения и определения веществ, обладающих многообразием свойств, применяемых в биологии [1], медицине [2], пищевой промышленности [3] Фосфолипиды (ФЛ) характеризуются рядом полезных свойств и их высокой биологической активностью. Фосфолипиды обладают эмульгирующими свойствами, что позволяет отнести их к природным пищевым добавкам (Е322) [4] к подклассу эмульгаторов. Фосфатидилхолин является наиболее важным питательным веществом для поддержания активного состояния печени [5], а также универсальным строительным блоком для клеточных мембран и обладает, нейропротекторным [6] действием. Согласно литературным данным [7], ФЛ обладают антиоксидантным действием, способны в несколько раз задерживать развитие раковых опухолей. Коммерчески доступными являются лецитины (Л), как смесь фосфолипидов и свободных жирных кислот, состав которых определяется источником получения продукта. В то же время в зависимости от производителя и источника лецитина (подсолнечник, соя, рапс [8] и др.) может в широких пределах варьироваться содержание фосфатидилхолина (ФХ), фосфатидилэтаноламина (ФЭА) и других ФЛ. Для разделения сложных смесей фосфолипидов широко применяется метод тонкослойной хроматографии [9]. Этот метод популярен благодаря своей быстроте, простоте, а также возможности препаративного разделения даже при малом количестве анализируемого вещества, что делает его особенно ценным при изучении и выделении фосфолипидов. В литературе [10] встречается применение ФЛ в качестве темплатов при синтезе упорядоченных кремнеземов. Однако для

Сорбционные и хроматографические процессы. 2026. Т. 26, № 2. С. 253-261.
Sorbtsionnye i khromatograficheskie protsessy. 2026. Vol. 26, No 2. pp. 253-261.

ISSN 1680-0613

достижения высокой степени упорядоченности требуется выделение индивидуальных ФЛ.

Целью данного исследования является изучение особенностей разделения и определения методом ТСХ фосфолипидов, входящих в состав фосфолипидных комплексов (ФЛК) лецитинов. В задачи работы входило изучение различных элюирующих систем с учетом элюирующей силы ПФ, природы (полярности) аналита, его способностью к протолизу и варьированию механизма удерживания. В работе предполагается рассмотрение условий хроматографического анализа, позволяющих провести разделение ФЛ в тонком слое сорбента с наибольшей эффективностью при удовлетворительной для последующего определения индивидуальных ФЛ.

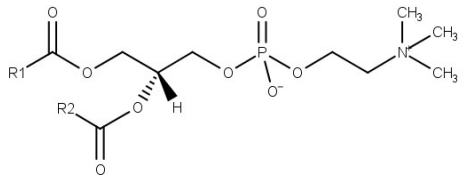
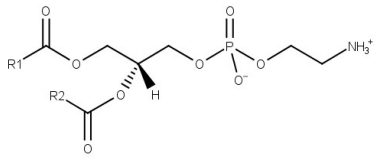
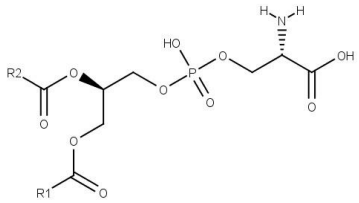
Экспериментальная часть

Реактивы: лецитин соевый (Lecigran M ООО «Плеза»), пластинки «Sorbfil-ПТСХ-П-А» (Россия) с нормально-фазовым силикагелем СТХ-1ВЭ, кристаллический йод (Бакинский йодный завод, ГОСТ 4159-64, Ч), хлороформ (Россия, АО «ВЕКТОН», ХЧ), метанол (Россия, АО «ВЕКТОН», ХЧ), муравьиная кислота (имп) 85% (Россия, АО «ВЕКТОН», ХЧ), уксусная кислота (Россия, АО «ВЕКТОН», ХЧ лед.).

Физико-химические свойства фосфолипидов и распределение их инноых форм от pH отражены в табл. 1. и рис. 1?

В ходе хроматографического анализа растворов соевого лецитина (Lecigran M ООО «Плеза») использовали серию рабо-

Таблица 1. Структура и свойства фосфолипидов (фосфатидилхолина (ФХ), фосфатидилэтаноламина (ФЭА), фосфатидилсерина (ФС)
Table 1. Structure and properties of phospholipids (phosphatidylcholine (PC), phosphatidylethanolamine (PEA), phosphatidylserine (PS))

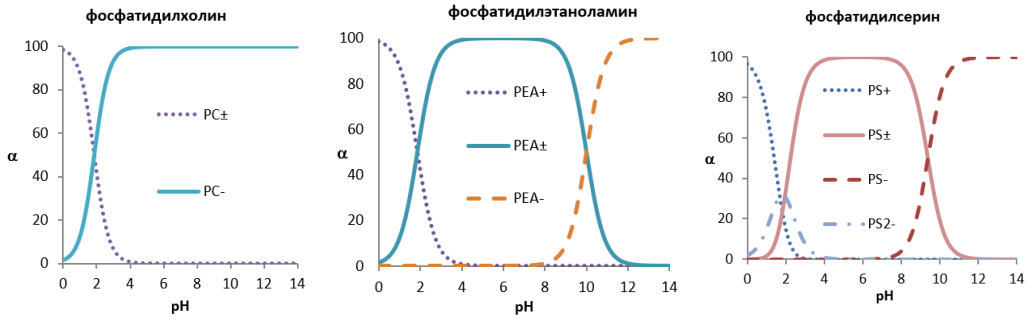
Фосфолипид	Формула *	pK_i **	logP **	PSA, Å² ***
Фосфатидилхолин (ФХ)		1.86	9.00	108.4
Фосфатидил-этаноламин (ФЭА)		1.86 10.00	12.35	134.4
Фосфатидил-серин (ФС)		1.47 2.18 9.38	12.93	171.7

*R1, R2 – пальмитиновая C16:0, пальмитолеиновая C16:1, стеариновая C18:0, олеиновая C18:1, линолевая C18:2, линоленовая C18:3, арахидоновая C20:4, докосагексаеновая C22:6 кислоты
**расчет в программном комплексе MarvinSketsh version 18.15
***PSA - площадь поверхности полярной части молекулы (Polar Surface Area) или топологическая площадь полярной поверхности (TPSA) молекулы определяется как сумма поверхности всех полярных атомов или молекул, в первую очередь кислорода и азота, включая присоединенные к ним атомы водорода

чих растворов экстракта фосфолипидного комплекса с различными концентрациями в диапазоне 2.0-20 мг/см^3. Хлороформ использовался как подходящий для фосфолипидов растворитель [11], благодаря своей способности эффективно растворять липиды различных классов органических соединений. С целью достижения более полного растворения ФЛ колбу с раствором проводили ультразвуковую обработку (ультразвуковая ванна ЗАО ПКФ «САПФИР») в течение 10 минут при температуре 25^{0}С.

свойств растворителей, так как их выбор обусловлен как различающейся элюирующей силой, так и по селективности, очень велик.

Наиболее часто в вариантах ТСХ фосфолипидов в качестве элюентов рассматриваются смеси хлороформа и метанола в различных соотношениях, с добавками воды, уксусной кислоты [12]. Однако в ее состав входит токсичный и труднодоступный растворитель – метанол. Этанол (P'=4.3) и метанол (P'=5.1) демонстрируют сопоставимую элюирующую спо-



а б в

Рис. 1. Кривые распределения фосфолипидов по ионнным формам при варьировании pH. а) фосфатидилхолин: PC$^+$ – катион, PC$^-$ – анион; б) фосфатидилэтаноламин: PEA$^+$ – катион, PEA± – цвиттерион; PEA$^-$ – анион; в) фосфатидилсерин: PS$^+$ – катион, PS± – цвиттерион, PS$^-$, PS^{2-} – одно- и двухзарядный анионы.

Fig. 1. Distribution curves of phospholipids by ionic forms as a function of pH: (a) phosphatidylcholine: PC$^+$ – cation, PC$^-$ – anion; (b) phosphatidylethanolamine: PEA$^+$ – cation, PEA± – zwitterion, PEA$^-$ – anion; (c) phosphatidylserine: PS$^+$ – cation, PS± – zwitterion, PS$^-$, PS^{2-} – singly and doubly charged anions.

Таблица 2. Состав подвижных фаз для разделения фосфолипидов
Table 2. Composition of mobile phases for phospholipid separation

№	Системы	Соотношение растворителей	Ссылка на источник
1	хлороформ-метанол	2:1	[14]
2	хлороформ-метанол-вода	4:2:1	[15]
3	хлороформ – метанол-уксусная кислота	50:25:8	[16]
4	хлороформ-метанол-муравьиная кислота	20:10:1	-
5	хлороформ-этанол-муравьиная кислота	20:10:1	-

В ТСХ на процесс хроматографирования влияют существенным образом состав растворителя (элюента), природа сорбента и условия анализа. Причем наиболее сильным оказывается влияние

собность [13]. Поэтому проведено сравнение параметров удерживания фосфолипидов при использовании подвижных фаз на основе этанола и метанола. Для обес-

печения воспроизводимости результатов элюенты для ТСХ готовили непосредственно перед анализом путём смешивания компонентов в соотношениях, указанных в табл.2.

Положение каждой хроматографической зоны в тонкослойной хроматографии характеризуется величиной R_f (относительной скоростью перемещения компонента):

$$R_f = \frac{l_i}{L}$$

где l_i – расстояние от стартовой линии до центра пятна, L – расстояние, пройденное растворителем от стартовой линии до границы фронта растворителя.

В ТСХ число теоретических тарелок можно рассчитать по формуле:

$$N = 16\frac{{l_i}^2}{\omega^2}$$

где N – число теоретических тарелок; l_i – расстояние от стартовой линии до центра пятна; ω – ширина зоны в направлении движения элюента (ширина пятна). R_S – безразмерный параметр, количественно характеризующий степень разделения двух хроматографических зон на пластине:

$$R_S = \frac{2\,(l_2 - l_1)}{\omega_1 + \omega_2}$$

где l_1, l_2 – расстояния от стартовой линии до центров пятен компонентов 1 и 2 (в мм); ω_1, ω_2 – ширина пятен у основания в направлении движения элюента (в мм).

Для визуализации полного состава фосфолипидов использовали в качестве проявителя пары кристаллического йода. Альтернативой может быть визуализация зон в УФ-свете (λ=254 нм). В этом случае видны только вещества, способные поглощать свет при соответствующей длине волны.

Разделение фосфолипидов лецитинов проводили на пластинках марки «Sorbfil-ПТСХ-П-А» с нормально фазовых силикагелем СТХ-1ВЭ (зернение 8-12 мкм), предварительно высушенных в сушильном шкафу при температуре 120^0С в течение 10 часов. Проявочные камеры покрывали со всех сторон 3-мм фильтровальной бумагой марки «ФС-III ГОСТ 12026-76». Сразу же после проявления хроматографических зон пластины были сканированы с помощью планшетного сканера Genius ColorPage-Vivid 1200X в полноцветном режиме с разрешением 200 dpi. Далее пятна количественно определены путем интегрирования различной интенсивности пикселей в программном обеспечении «Sorbfil TLC Videodensitometer», версия 1.8.

Обсуждение результатов

В настоящей работе с учетом свойств элюирующей системы изучена хроматографическая подвижность ФЛ, входящих в состав лецитинов в зависимости от состава подвижной фазы на основе растворителей при варьировании дисперсионных взаимодействий (галогеналканы), протонодонорных растворителей (алканолы), а также с добавками органических кислот с различной константой кислотности.

Для выбора условий хроматографического разделения близких по структуре и физико-химическим свойствам фосфолипидов на первом этапе рассматривали закономерности изменения параметров удерживания фосфолипидов и селективности хроматографической системы при варьировании состава элюирующей системы. Как отмечено в работе [17], при определении фосфатидилхолина (ФХ) и фосфатидилэтаноламина (ФЭА) методом тонкослойной хроматографии (ТСХ) с нормально фазовым силикагелем наиболее часто используются галогеналканы, протонодонорные растворители алканолы в качестве подвижных фаз. Для увеличения селективности можно рассматривать добавки веществ, влияющие на протолитические свойства аналитов (карбоновые кислоты). Наиболее часто в качестве элюирующих систем рассматриваются смеси хлороформа и метанола в различных соотношениях компонентов [18],

Таблица 3. Хроматограммы соевого лецитина в различных системах
Table 3. Chromatograms of soybean lecithin in various systems

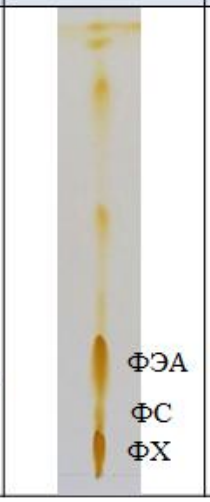
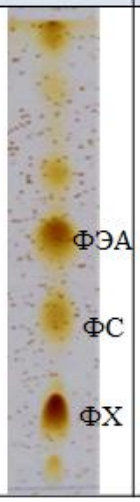
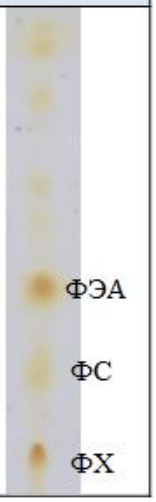
№	1	2	3	4	5
Состав	Хлороформ-метанол (2:1)	Хлороформ-метанол-вода (4:2:1)	Хлороформ-метанол-уксусная кислота (50:25:8)	Хлороформ-метанол-муравьиная кислота (20:10:1)	Хлороформ-этанол-муравьиная кислота (20:10:1)
Хроматограмма					

Таблица 4. Значения хроматографической подвижности R_f фосфолипидов лецитина при использовании различных подвижных фаз.
Table 4. Values of chromatographic mobility R_f of lecithin phospholipids using various mobile phases

Фосфолипиды	R_f		
	Литературные данные Хлороформ-метанол (2:1) [14]	Хлороформ-метанол-муравьиная кислота (20:10:1.0)	Хлороформ-этанол-муравьиная кислота (20:10:1.0)
Фосфатидилхолин	0.12-0.14	0.10±0.12	0.08±0.10
Фосфатидилсерин	0.30-0.33	0.33±0.35	0.23±0.25
Фосфатидилэтаноламин	0.38-0.42	0.40±0.42	0.40±0.42

варьирующих дисперсионные и протонодонорные взаимодействия, как это интерпретируется Снайдером [19].

Для качественного анализ лецитинов на содержание фосфолипидов, входящих в ФЛК были получены хроматограммы в тонком слое силикагеля. В табл.4 приведены величины относительной скорости R_f перемещения различных фосфолипидов в выбранной нами системе растворителей, которые затем сравнивались с данными, приведенными в литературе [14].

Как видно из хроматограмм (табл.3), системы № 1,2 не позволяют достигать полного разделения ФЛ. Многие фосфолипиды остаются в нижней части хроматограммы (с R_f=0.05-0.08 для ФХ, R_f=0.23-0.30 для ФЭА), что не позволяет идентифицировать некоторые компоненты смеси липидов.

Как было показано ранее (табл.1) фосфолипиды способны к реакциям протолиза, а следовательно, для изменения коэффициентов удерживания аналитов

можно их рассматривать как слабые органические кислоты. При выборе условий хроматографического разделения ФЛ ключевое внимание обращали на разрешение хроматографических зон и на эффективность слоя сорбента. Отмечено, что состав элюента позволяет значительно влиять на разрешение (табл.5), возможность полного разделения веществ. При добавлении протонодонорных растворителей удалось добиться более полного разделения отдельных зон аналитов.

В то же время, работа с метанолом, несмотря на его эффективность, сопряжена с рядом сложностей, связанных с ограничениями его применения для биомедицинских приложений. Замена на другие алканолы, например, этанол, обладающего сходной с метанолом элюирующей силой, позволило в настоящей работе продемонстрировать аналогичную эффективность слоя силикагеля (в варианте тонкослойной хроматографии) для разде-

Таблица 5. Значения хроматографических параметров фосфолипидов лецитина при использовании различных подвижных фаз
Table 5. Values of chromatographic parameters of lecithin phospholipids using various mobile phases

№	Состав подвижной фазы	R_f	R_S	N
1	хлороформ-метанол (2:1)	ФХ = 0.05 ФС = 0.11 ФЭА = 0.23	 1.3 2.0	10 54 188
2	хлороформ-метанол-вода (4:2:1)	ФХ = 0.10 ФС = 0.20 ФЭА = 0.32	 1.0 1.1	8 64 85
3	хлороформ-метанол-уксусная кислота (50:25:8)	ФХ = 0.16 ФС = 0.39 ФЭА = 0.52	 2.7 2.0	70 441 688
4	хлороформ-метанол-муравьиная кислота (20:10:1)	ФХ = 0.12 ФС = 0.22 ФЭА = 0.38	 1.4 2.4	28 173 420
5	хлороформ-этанол-муравьиная кислота (20:10:1)	ФХ = 0.08 ФС = 0.23 ФЭА = 0.41	 2.5 2.2	22 134 506

В ходе хроматографического анализа соевого лецитина (Lecigran M ООО «Плеза») было установлено, что для разделения и последующей количественной оценки ФЛ наибольшую эффективность демонстрируют системы №3-5 (табл.5.). Число теоретических тарелок (ЧТТ), характеризующее степень размывания зон фосфолипидов возрастает для фосфатидилхлолина с N=10 в системе хлороформ-метанол (2:1) до N=70 при использовании в качестве элюента системы №3: хлороформ-метанол-уксусная кислота (50:25:8). Аналогичное увеличение ЧТТ достигается и для фосфатидиэтаноламина с N=188 в системе № 1 до N=688 и N=506 в системах № 3 и 5 соответственно (табл. 5).

ления и определения фосфолипидов в лецитинах (табл.5).

Стоит отметить, что уксусная кислота затрудняет и ухудшает процесс визуализации фосфолипидов в парах йода для дальнейшего денситометрического определения. Фиксируется повышение уровня шумов фонового сигнала (табл. 3, трек 3). Данный эффект может быть обусловлен частичной сорбцией уксусной кислоты на поверхности силикагеля и её неравномерным распределением в пористой структуре сорбента. Взаимодействие молекул уксусной кислоты с силанольными груп-

пами SiO_2 приводит к локальному изменению поверхностных свойств слоя, в том числе его сорбционной способности по отношению к парам йода, вследствие чего возникает точечное (крапчатое) фоновое окрашивание пластины. Поэтому, после разделения пластину необходимо тщательно высушить от растворителей для удаления следов уксусной кислоты, которые мешают проявлению йодом [20]. При использовании системы с муравьиной кислотой этот этап упрощается.

Хорошо известно, что муравьиная кислота, также, как и уксусная кислота, обладает способностью влиять на протолитические свойства разделяемых веществ. При применении в качестве подвижной фазы системы с добавками HCOOH смеси хлороформ – этанол – муравьиная кислота (табл. 3 и 5, треки 4 и 5) наблюдается полное разделение фосфолипидов (фосфатидилхолина, фосфатидилсерина и фосфатидилэтаноламина). Это позволяет не только улучшить качество анализа, но и использовать ТСХ с привлечением денситометрического детектирования с обоснованными в настоящей работе составами подвижных фаз при проведении количественного анализа лецитинов.

Заключение

Представленные результаты разделения и определения фосфолипидов при разделении в тонком слое силикагеля позволили установить существенное влияние состава подвижной фазы на эффективность хроматографического разделения фосфолипидов лецитинов. Элюирующие системы без добавок органических кислот (системы №1-2, табл.3.) не обеспечивают полного разделения фосфолипидных компонентов. Введение слабых органических кислот позволило существенно повысить полярность элюента и достичь более четкого разделения компонентов смеси. Наилучшие результаты были получены при использовании системы хлороформ-этанол-муравьиная кислота (система №5), которая обеспечила узкие (неразмытые) зоны фосфолипидов. Разделение ФЛ с наибольшим разрешением хроматографических зон реализуется в системах хлороформ-метанол-уксусная кислота (50:25:8) и хлороформ-этанол-муравьиная кислота (20:10:1) с наибольшей эффективностью среди рассмотренных систем (табл.5). Учёт протолитических свойств фосфолипидов позволяет значительно улучшить качество хроматографического разделения фосфолипидных комплексов лецитина и предполагать возможность количественного анализа лецитинов на содержание фосфолипидов методом ТСХ с денситометрическим детектированием.

Конфликт интересов

Авторы заявляют, что у них нет известных финансовых конфликтов интересов или личных отношений, которые могли бы повлиять на работу, представленную в этой статье.

Список литературы/References

1.Garcia-Mendoza M. del P., Espinosa-Pardo F.A., Savoire R., Harscoat-Schiavo C., Cansell M., Subra-Paternault P. *Food Chemistry*. 2021; 341. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.128234

2. Mills C. T., Goldhaber M. B. *Soil Biology and Biochemistry*. 2010; 42(7): 1179-1182. https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2010.03.023

3. Kornena E.N. *Izvestiya vy`sshix uchebny`x zavedenij. Pishhevaya texnologiya.* 1996; 5-6: 42-43. (In Russ.)

4. Ereshko S.A. *Izvestiya vy`sshix uchebny`x zavedenij. Pishhevaya texnologiya.* 2000; 2-3: 34-36. (In Russ.)

5.Gundermann K.-J., Gundermann S. *Clinical and Experimental Gastroenterology*. 2016; 9:105-117. https://doi.org/10.2147/CEG.S96362

6. Galkina O.V., Vetrova O.V., Eshhenko N.D. *Bioorganicheskaya ximiya.* 2021; 47(5): 555-565. (In Russ.)

7. Ushkalova E.A. *Farmateka.* 2003; 10 (73): 10-15. (In Russ.)

8. Kornena E. P., Butina E. A., Markova T. R., Gerasimenko E. O., Sonin S. A., Belina N.

N., Trofimova S. A. Sposob polucheniya pishhevy`x rastitel`ny`x fosfolipidov. Patent RF № 2377785. 2010. (In Russ.)

9. Budunova A.Yu., Gol`czberg M.A., Krasivskij G.A. *Izvestiya vy`sshix uchebny`x zavedenij. Pishhevaya texnologiya*. 2003; 5-6: 115-118. (In Russ.)

10. Askurava A.S.1, Siniaeva L.A.1, Belanova N.A.1, Karpov S.I.1, Roessner F *Sorbtsionnye I Khromatograficheskie Protsessy*, 2016; 16(2): 226-233. (In Russ.)

11. Borgstroem B. *Acta Physiologica Scandinavica*. 1952; 25(2): 101-115. https://doi.org/10.1111/j.1748-1716.1952.tb00862.x

12. Litvinova E.D., Arutyunyan N.S., Arisheva E.A. *Maslo zhirovaya promy`shlennost`*. 1973; 8: 15-17. (In Russ.)

13. Snyder L. R. *Principles of adsorption chromatography. The separation of nonionic organic compounds*. New York: Marcel Dekker, 1968. 413 p.

14. Safonova E.F. *Ximiko farmacevticheskij zhurnal*. 2002; 36(4): 41-43. (In Russ.)

15. Liu Y., Zhu S., Liu X. *J. Oleo Sci.* 2023; 72(1): 49-58. https://doi.org/10.5650/jos.ess22219

16. Skipski V.P., Peterson R.F., Rarclay M. *J. Lipid Res* 1962; 3: 467-470. https://doi.org/10.1016/s0022-2275(20)40393-1

17. Kejts M. Texnika lipidologii: vy`delenie, analiz i identifikaciya lipidov / per. s angl. V.A. Vavera. Moskva : Mir, 1975. 323 p. (In Russ.)

18. Arutyunyan N.S., Korneva E.P. Fosfolipidy` rastitel`ny`x masel: sostav, struktura, svojstva, poluchenie i primenenie. Moskva: Agropromizdat, 1986. 255 p. (In Russ.)

19. Snyder L.R. *J. Chromatogr. Sci.* 1978; 16: 223.

20. Gocan S. *Journal of Chromatography Science*. 2002; 40(10): 538-549. https://doi.org/10.1093/chromsci/40.10.538

Информация об авторах / Information about the authors

С.И. Карпов – д.х.н., профессор, химический факультет Воронежского государственного университета, Воронеж, Россия

В.В. Гринева – студент химического факультета, кафедры аналитической химии Воронежского государственного университета, Воронеж, Россия

Д.С. Качанова – студент химического факультета, кафедры аналитической химии Воронежского государственного университета, Воронеж, Россия

А.А. Назарова – ассистент кафедры аналитической химии Воронежского государственного университета, Воронеж, Россия

S.I. Karpov – Doctor of Chemistry, Professor of the Department of Analytical Chemistry of Voronezh State University, Voronezh, Russia, karsiv@mail.ru

V.V. Grineva - Student of the Department of Analytical Chemistry at Voronezh State University, Voronezh, Russia

D.S. Kachanova - Student of the Department of Analytical Chemistry at Voronezh State University, Voronezh, Russia

A.A. Nazarova – Assistant Professor, Department of Analytical Chemistry, Voronezh State University, Voronezh, Russia

Статья поступила в редакцию 22.01.2026; одобрена после рецензирования 25.02.2026; принята к публикации 01.04.2026.
The article was submitted 22.01.2026; approved after reviewing 25.02.2026; accepted for publication 01.04.2026.