

УДК 619:665.3:577.36

DOI 10.30914/2411-9687-2023-9-2-168-177

**СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ ФОСФОЛИПИДОВ (ОБЗОР)****Э. М. Плотникова, Р. Н. Низамов, Ф. Р. Вафин, М. М. Шакуров,  
Н. М. Василевский, З. Л. Тухфатулло***Федеральный центр токсикологической, радиационной и биологической безопасности,  
г. Казань, Российская Федерация*

**Аннотация. Введение.** В обзорной статье проанализированы разные способы выделения фосфолипидов, реализованные промышленными предприятиями. ФЛ – эссенциальные биологические вещества, у которых клинически подтверждена гепатопротекторная, антиатерогенная, антиоксидантная, иммуномодулирующая активность. ФЛ обладают важнейшими биологическими и физико-химическими свойствами, чем обусловлена необходимость разработки способов их использования в фармацевтической промышленности (в качестве вспомогательных веществ), и в особенности при конструировании лекарственных форм целенаправленного транспорта. Показаны основные подходы к выделению фосфолипидов и перспективы использования сырья. Освещена динамика патентования способов извлечения фосфолипидов, свидетельствующая об увеличении интереса к получению фосфолипидов.

**Целью** данной работы явилось изучение научных работ как отечественных, так и зарубежных авторов, посвященных современным проблемам технологии получения фосфолипидов. **Материалы и методы.** Методологической базой исследований стали научные труды отечественных и иностранных ветеринарных специалистов, которые специализируются в области технологии получения фосфолипидов.

**Результаты и обсуждение.** По мнению многих авторов, проведенные исследования позволяют сопоставить изученные методы выделения фосфолипидов с качественным и количественным составом. Полученные результаты открывают широкие возможности для дальнейшего теоретического и экспериментального изучения ФЛ биологически активных веществ в плане усовершенствования их получения и использования в радиобиологических целях. **Заключение.** Все способы выделения фосфолипидов были направлены в сторону сохранения нативных свойств фосфолипидных продуктов. Каждая технология получения фосфолипидов (ФЛ) видоизменяет состав и свойства их фракций, поэтому существует необходимость применения разных способов их получения.

**Ключевые слова:** обзор, лецитин, фосфолипиды, технологическое сырье, растительного и животного происхождения

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Для цитирования:** Современные проблемы технологии получения фосфолипидов (обзор) / Э. М. Плотникова, Р. Н. Низамов, Ф. Р. Вафин, М. М. Шакуров, Н. М. Василевский, З. Л. Тухфатулло // Вестник Марийского государственного университета. Серия «Сельскохозяйственные науки. Экономические науки». 2023. Т. 9. № 2. С. 168–177. DOI: <https://doi.org/10.30914/2411-9687-2023-9-2-168-177>

**MODERN PROBLEMS OF PHOSPHOLIPID OBTAINING TECHNOLOGY (REVIEW)****E. M. Plotnikova, R. N. Nizamov, F. R. Vafin, M. M. Shakurov,  
N. M. Vasilevsky, Z. L. Tukhfatullo***Federal Center for Toxicological, Radiation and Biological Safety, Kazan, Russian Federation*

**Abstract. Introduction.** This review article analyzes various methods of phospholipid isolation implemented by industrial enterprises. PLs are essential biological substances with clinically proven hepatoprotective, antiatherogenic, antioxidant, and immunomodulatory activities. PLs have the most important biological and physicochemical properties, which necessitates the development of methods for their use in the pharmaceutical industry (as excipients), and especially in the design of dosage forms for targeted transport. The main approaches to the isolation of phospholipids and the prospects for the use of raw materials are shown. The dynamics of patenting methods for extracting phospholipids is highlighted, indicating an increase in interest in obtaining phospholipids. **The purpose** of this work was to study the scientific works of both domestic and foreign authors devoted to modern problems of phospholipid obtaining technology. **Materials and methods.** The methodological

basis of the study was the scientific work of domestic and foreign veterinary specialists who specialize in phospholipid obtaining technology. **Research results, discussion.** According to many authors, the studies carried out make it possible to compare the studied methods for phospholipid isolation with the qualitative and quantitative composition. The results obtained open wide opportunities for further theoretical and experimental study of the PL of biologically active substances in terms of improving their production and use for radiobiological purposes. **Conclusion.** All methods for isolating phospholipids are aimed at preserving the native properties of phospholipid products. Each production technology modifies the composition and properties of phospholipid fractions. Therefore, there is a need to use different methods for obtaining phospholipids.

**Keywords:** review, lecithin, phospholipids, technological raw materials, plant and animal origin

The authors declare no conflict of interest.

**For citation:** Plotnikova E. M., Nizamov R. N., Vafin F. R., Shakurov M. M., Vasilevsky N. M., Tukhfatulloev Z. L. Modern problems of phospholipid obtaining technology (review). *Vestnik of the Mari State University. Chapter "Agriculture. Economics"*, 2023, vol. 9, no. 2, pp. 168–177. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30914/2411-9687-2023-9-2-168-177>

## Введение

Открытие ФЛ состоялось благодаря обнаружению возможности выделения их из состава яичного желтка. Французский ученый Теодор Николя Гобли еще в 1845 году заметил сходство химического состава яичного желтка и тканей головного мозга. Выдвинув теорию, 20 лет он вел работу для ее подтверждения, и в результате определил вещество, объединяющее их. Данное вещество было названо лецитином, от латинского слова *Lecithin*, которое переводится как «свойственный желтку». Ученому удалось установить, что жироподобное вещество лецитин на 75 % состоит из ФЛ, триглицеридов и незначительного количества сопутствующих веществ. Молекулы ФЛ содержатся в тканях всех живых организмов [1].

ФЛ – эссенциальные биологические вещества, у которых клинически подтверждена гепатопротекторная, антиатерогенная, антиоксидантная, иммуномодулирующая активность. ФЛ обладают важнейшими биологическими и физико-химическими свойствами, чем обусловлена необходимость разработки способов их использования в фармацевтической промышленности (в качестве вспомогательных веществ), и в особенности при конструировании лекарственных форм целенаправленного транспорта [2].

ФЛ необходимы животным, поскольку: восстанавливают поврежденные стенки клеток, служат профилактикой сердечно-сосудистых заболеваний, поддерживают здоровье нервной системы, благотворно влияют на работу желудочно-кишечного тракта, очищают печень от токсинов,

полезны для функционирования печени, образуют кластеры, которые транспортируют витамины, питательные вещества и жиросодержащие молекулы по телу [3].

ФЛ являются важнейшими представителями сложных липидов, из которых состоят клеточные мембраны всех живых организмов [4].

В современной мировой научной литературе [5; 6; 7; 8] большое внимание уделяется разработке фосфолипидных систем адресной доставки лекарственных веществ. Фосфолипидные наночастицы (мицеллы/липосомы) имеют ряд преимуществ перед другими, например, полимерными, наночастицами. Так, они нетоксичны, биodeградируемы, гипоаллергенны, а по своему составу и строению сходны с мембранами клеток. Это позволяет доставлять лекарство непосредственно внутрь клетки. По последним данным, сейчас в мире существует 15 сертифицированных наносистем размером 100 нм, которые используются в качестве переносчиков лекарств, в основном противоопухолевых препаратов.

**Целью** данной работы является анализ научных исследований как отечественных, так и зарубежных авторов, посвященных современным проблемам технологии получения фосфолипидов.

## Материалы и методы

Методологической базой исследования стали научные труды отечественных и иностранных ветеринарных ученых, которые специализируются в области технологии получения фосфолипидов.

В работе использованы общепринятые методы, в частности анализ, сравнение, обобщение. Среди специальных научных методов применены абстрактно-логический и экономико-статистический.

### Результаты и обсуждение

Общая характеристика и физико-химические свойства фосфолипидов. ФЛ, белки и углеводы составляют основную массу органического вещества живой клетки [9]. Они имеются в растительных, животных, а также в бактериальных организмах. Особенно высока концентрация ФЛ в органах животных: спинном мозге, крови, печени, сердце, почках и так далее [3]. ФЛ участвуют в таких биохимических процессах, как передача нервного импульса, активный транспорт через мембраны, перемещение жиров в плазме крови, синтез белка и другие ферментативные процессы, особенно связанные с переносом электронов и окислительным фосфорилированием [6]. По химической структуре ФЛ определяют как сложные эфиры многоатомных спиртов с высшими жирными кислотами, содержащими в качестве добавочных групп остатки фосфорной кислоты и азотистых оснований [10; 11].

Самой простой формой ФЛ является фосфатидная кислота (ФК), в которой молекула спирта отсутствует. ФК является важнейшим предшественником в биосинтезе ФЛ и жиров.

Молекулы ФЛ являются амфифильными, т. к. они состоят из двух частей, различных по своей растворимости в воде: полярной части, обладающей высоким сродством к воде, то есть гидрофильной составляющей, и радикалов, образуемых неполярными углеводородными цепями жирных кислот. Эта часть молекулы обладает низким сродством к воде, то есть гидрофобна.

Фосфатидилхолин (ФХ) – это биологически активное соединение, которое играет колоссальную роль в функционировании человеческого организма, так как оно необходимо для поддержания активного состояния печени. Также это твердое, воскообразное вещество, которое тривиально именуется лецитином, является универсальным строительным блоком для клеточных мембран. ФХ растворим в хлороформе и его смесях с метанолом, плохо в ацетоне, нерастворим в петролейном эфире; холиновой группы около 13; обладает высокой способностью к мицеллообразованию в водных и неполярных средах [12].

Фосфатидилэтаноламин (ФЭА) присутствует во всех тканях и клетках организма человека и составляет примерно 30 % от общих липидов мембраны. Метаболически он связан с ФХ и выступает в некоторых тканях в качестве предшественника его синтеза. В полярной части ФЭА содержится спирт этаноламин [13].

Фосфатидилсерин (ФС) – это ФЛ, в состав молекулы которого входят два кислотных остатка и один основной, способен к ферментативному декарбоксилированию, в ходе которого образуется молекула 16 ФЭА. Полярная часть ФС содержит остаток гидроксил аминокислоты серина [12].

Среди фосфатидилинозитолов (ФИ) имеются моно-, ди- и трифосфатсодержащие вещества, включающие оптически неактивный изомер инозита – миоинозит, связанный с ацилглицерином через остаток фосфорной кислоты. Большое количество веществ этого класса содержится в нервных волокнах спинного мозга. Благодаря наличию диссоциированных фосфатных групп ФИ обеспечивает перенос ионов через биологические мембраны за счет переориентации ФЛ молекул. Кардиолипид (КЛ) является уникальным ФЛ, состоящим из двух диэфирных фосфатных групп, соединенных молекулой глицерина [14]. Во внутриклеточных структурах большое содержание КЛ характерно только для митохондрий, поэтому его иногда рассматривают как химический маркер митохондрий. Физико-химические свойства ФЛ зависят от природы заместителя, длины углеводородной цепи входящих в его молекулу жирных кислот, от положения и числа двойных связей в них. ФЛ хорошо растворимы в органических растворителях, т. к. метанол, ацетон, хлороформ и бензол, нерастворимы или мало растворимы в воде. Слабая растворимость связана с недостаточным содержанием в молекулах липидов атомов с поляризующейся электронной оболочкой, т. к. O, N, S или P [15]. Кроме того, отдельные группы ФЛ различаются растворимостью в полярных растворителях. Например, в метиловом и этиловом спирте ФХ и ФК хорошо растворимы, ФЭА мало растворимы, ФС почти не растворяются; ФХ плохо растворяются в ацетоне, а ФК отличаются хорошей растворимостью в ацетоне. Наличие в составе ФЛ групп, способных к диссоциации, приводит к тому, что в зависимости от pH среды эти вещества будут находиться в различных ионных формах, как правило, в форме цвиттериона

в широком интервале рН (включая также и физиологические значения рН) [16; 17].

Для неионогенных поверхностно-активных веществ (ПАВ), к которым можно отнести ФЛ растительных масел в неполярных и малополярных растворителях характерны следующие типы межмолекулярных взаимодействий [10]:

– слабое химическое взаимодействие, обусловленное образованием водородных связей и комплексов (комплексоподобное взаимодействие);

– ориентационное взаимодействие между молекулами с постоянным жестким диполем;

– дисперсионное взаимодействие – мгновенные диполи, образованные благодаря определенному положению электронов в молекуле.

Реакционная способность молекул ФЛ, связанная с их химическим строением и составом, обуславливает взаимодействие ФЛ с белками, углеводами, неомыляемыми липидами, ионами металлов, кислородом, щелочами, кислотами и другими веществами, а также возможность протекания побочных реакций. ФЛ связываются с белками электростатическими силами: фосфатидилхолина и фосфатидилэтаноламинами взаимодействуют с пептидами своими фосфатными группами и четвертичными атомами азота, проявляя сродство к аминокислотам, содержащим группы  $-OH$ ;  $=NH$ ,  $-NH_2$ ,  $=S$  [9]. В образовании комплексов «ФЛ-белки» существенное значение имеют силы Ван-дер-Ваальса; несмотря на то, что они обладают малой энергией, с помощью этих сил возможно активное соприкосновение благодаря большому количеству 19 одновременных взаимодействий (кооперативности). В результате взаимодействия ФЛ с углеводами образуются меланоидиновые соединения – продукты сахароаминного взаимодействия аминокислот ФЛ с углеводами, так называемые меланофосфатиды [18].

Основным компонентом гидратируемых ФЛ является фосфатидилхолин, тогда как негидратируемые в основном представлены кальциевыми и магниевыми солями фосфатных кислот и фосфатидилэтаноламинами.

Лецитины представляют собой смесь не растворимых в ацетоне ФЛ, содержащих в основном фосфатидилхолин, фосфатидилэтаноламин, фосфатидилинозитол, фосфорную кислоту. Они в нативном или модифицированном состоянии находят широкое применение в промышленно-

сти: диетической, фармацевтической, пищевой и другое [19].

Опытным путем было установлено, что в случаях применения препаратов из природных, высококонцентрированных ФЛ, полученных из генетически немодифицированных бобов сои (содержали более 75 % ненасыщенных жирных кислот) активность ферментов крови снижалась, как и показатели пигментного обмена.

Соевый лецитин, как правило, содержит соевое масло (35 %), свободные жирные кислоты, сложные эфиры, токоферолы, биологические пигменты, стерины, стеролы (от 2 % до 5 %) и углеводы (5 %). Также в его составе есть сложные эфиры глицерина, две молекулы жирных и одна молекула фосфорной этерифицированной кислоты. Общая концентрация Р – 3,0 %; общий N – 1,5 %; холин – 3,3 %; инозит – 3,7 %. Молекулярная масса лецитина колеблется от 750 до 870 в зависимости от входящих в их состав жирных кислот [20].

В настоящее время в мире отмечена тенденция расширения производства рапсового масла. В нашей стране на федеральном уровне принят ряд программ, направленных на увеличение производства рапса для обеспечения потребности населения в растительном масле и животноводства в кормовом белке. В связи с этим увеличивается объем производства рапсового масла и рапсовых лецитинов, являющихся продуктами его переработки.

Также все больше внимания привлекают модифицированные лецитины, которые обладают заданными физиологическими и технологическими функциональными свойствами. Однако на российском рынке основную часть таких лецитинов составляют продукты импортных производителей, которые получены из соевых масел. К модифицированным лецитинам отечественного производства можно отнести БАД «Витол», а также БАД «Наш лецитин», получаемые из подсолнечных ФЛ [12].

Принимая во внимание увеличение объемов выпуска рапсовых лецитинов, а также высокую потребность пищевой промышленности в лецитинах, обладающих заданными физиологическими и технологическими функциональными свойствами, разработка технологии получения модифицированных рапсовых лецитинов является актуальной.

В настоящее время немаловажное значение придается разработке и производству биологически активных веществ, оказывающих лечебное и профилактическое действие на организм. Пищевые водно-жировые эмульсии являются перспективными системами, на основе которых возможно создание биологически активных веществ со сбалансированным составом физиологически ценных ингредиентов [19].

Основой разработки указанных эмульсионных продуктов является снижение содержания жировой фазы, исключение холестеринасодержащего сырья, повышение физиологической ценности, предотвращение окислительной и микробиологической порчи продукта за счет подбора в качестве рецептурных компонентов биологически активных добавок, обладающих высокой физиологической активностью и содержащих природные антиоксиданты.

В результате изучения источников литературы по рассматриваемой проблеме установлено, что в качестве потенциальных источников ФЛ могут быть использованы сырье животного (головной и спинной мозг крупного, мелкого рогатого скота, свиней, куриные яйца, морские моллюски) и растительного (кукуруза, рапс, соя, подсолнух) происхождения. В качестве экстрагентов для получения ФЛ используют ацетон, хлороформ, метанол, этанол, диэтиловый эфир, гексан. Технологическая схема получения ФЛ включает гомогенизацию, экстрагирование ацетоном, обезвоживание, растворение хлороформом и метанолом, очистку ФЛ от липидных соединений и примесей, осаждение абсолютным ацетоном (при температуре минус 20 °С), фильтрацию осадка, сушку в вакуумном испарителе в токе азота над гидроокисью калия. В зависимости от природы и вида источника ФЛ, указанная принципиальная схема получения ФЛ может иметь индивидуальные особенности, и поэтому с целью выбора оптимального технологического сырья считаем необходимым кратко дать характеристику способов получения ФЛ из различных источников сырья.

#### **Методы и способы получения лецитинов и фосфолипидов**

Выделение ФЛ из отобранных объектов осуществляют путем экстрагирования в хлороформе, метаноле, этаноле, ацетоне, очистки и сушки полученного продукта [15].

Эти растворители являются легколетучими и способны растворять как липиды, так и большинство гидрофобных лекарственных субстанций. Ацетон обладает особым преимуществом, поскольку он деградирует животную ткань. Наличие животной ткани в деградированной форме значительно облегчает процесс экстракции вторым растворителем, спиртом или сложным эфиром уксусной кислоты, таким как этилацетат [19].

ФЛ в виде лецитина в чистом виде содержится в большом количестве продуктов (головном и спинном мозге крупного и мелкого рогатого скота, свиньи, куриных яйцах, моллюсках, сое, кукурузе, рапсе, подсолнечнике и так далее). Лидером по содержанию этого вещества является желток куриного яйца, количество лецитина в котором составляет 14,2 % [18].

Способ получения ФЛ из растительного сырья включает смешивание свежесжатого нерафинированного растительного масла с водой или водными растворами электролитов, экспозицию полученной смеси, разделение смеси на гидратированное масло и ФЛ-эмульсию, и сушку ФЛ-эмульсии [13].

Основным технологическим приемом получения ФЛ-концентратов является гидратация масел водой при температуре от 50 °С до 60 °С. Однако водная гидратация не позволяет полностью выделить ФЛ из масел, что затрудняет проведение последующих стадий рафинации.

Эффективность водной гидратации повышается при интенсификации механического фактора. Кроме воды, в качестве гидратирующего агента используются водные растворы электролитов, водные растворы кислот или солей, что позволяет увеличить выход ФЛ и добиться улучшения их качественных показателей [16].

При использовании данной технологии максимальная эффективность выведения ФЛ составляет 93 %.

Для получения ФЛ из рапса использовали методику, описанную в изобретении [15].

Предполагаемый положительный эффект заключается в повышении содержания фосфатидилхолина в лецитине, снижении цветности, повышении йодного числа [11].

Именно поэтому предварительное эмульгирование фосфатидного концентрата в малых объемах ацетона позволяет исключить процесс комкообразования, добиться равномерного распределения

твердой фазы в растворителе, что увеличивает поверхность контакта фаз и более полное извлечение масла [17].

Таким образом, усовершенствованный способ получения рапсового лецитина путем обработки фосфатидного концентрата ацетоном, фильтрования экстракта этанолом отличается повышением качества и выходом лецитина.

Особый интерес для конструирования биологически активных веществ в качестве рецептурных компонентов представляют продукты переработки зародышей кукурузы: рафинированное дезодорированное кукурузное масло, кукурузный лецитин и БАД, полученная из обезжиренных зародышей кукурузы. Особенно популярна кукуруза в странах Южной и Северной Америки [15].

Кукурузу в различных видах рекомендуется включать в рацион молодняка и в состав различных кормов, так как она снабжает организм необходимыми микроэлементами и витаминами.

Укрепляющее и питательное действие кукурузы особенно полезно для животных, в частности, этот натуральный продукт питания может помочь предотвратить мышечную дистрофию. Кроме того, витамины группы В, содержащиеся в кукурузе, оказывают положительный эффект на функцию центральной нервной системы [7].

Сравнительная оценка физиологически ценных ингредиентов в лецитинах показала, что кукурузные лецитины в своем составе содержат в большом количестве фосфатидилхолины, являющиеся одной из наиболее физиологически важных групп ФЛ,  $\beta$ -токоферолы, обладающие высокой антиоксидантной способностью и  $\beta$ -ситостерол (провитамина Д).

Следует отметить, что в составе кукурузных лецитинов, в отличие от подсолнечных, содержится сквален, обладающий антиканцерогенными и антисептическими свойствами, а также витамин К, обладающий способностью нормализовать и ускорять свертывание крови.

Для производства фракционированных лецитинов особо важное значение имеет состав и содержание отдельных групп ФЛ [12].

Установлено, что кукурузный лецитин обладает более высокими антиокислительными свойствами по сравнению с подсолнечным лецитином, что объясняется высоким содержанием в кукурузном лецитине  $\beta$ + $\gamma$ -токоферолов, обладающих высокой антиоксидантной активностью.

Известно, что кукурузный лецитин на границе раздела фаз «масло – вода», по сравнению с подсолнечным лецитином, проявляет в большей степени поверхностно-активные свойства, характеризующиеся поверхностной активностью и адсорбцией Гиббса, что обусловлено высоким содержанием в его составе фосфатидилхолинов, а также оптимальным соотношением групп: фосфатидилхолины – фосфатилэтанолламины [13].

Полученный данным способом лецитин, содержащий незначительное количество токсических свободных жирных кислот, характеризуется низким показателем цветности, что в значительной мере определяет качество эмульгатора. Данный способ характеризуется отсутствием трудоемкой операции переосаждения фосфатидов из эфирного раствора ацетоном, что значительно упрощает схему получения соевого лецитина [15; 17].

Усовершенствование технологических процессов производства требует учитывать не только количественный, но и качественный состав вводимых лецитинов, их происхождение, способы производства, вариативность фракционного и химического состава, сохранность, а для этих целей необходимо обеспечивать надлежащий аналитический контроль как исходного сырья, так и готовой продукции.

Совершенствование современных технологий производства позволяет получать и стандартизировать лецитин. По биологическому происхождению различают лецитины, полученные из соевого, подсолнечного и рапсового масла [13].

Соевый лецитин отличается большим количеством линоленовой кислоты. В состав соевого лецитина входят масла, ФЛ, витамины А и Е, а также изофлавоны. Около 95 % выращиваемой в мире сои является генетически модифицированной.

Наиболее популярный из всех лецитинов – соевый лецитин. Известен способ получения лецитина из желтков куриных яиц путем осаждения ацетоном, экстракции этанолом, осаждения хлоридом кадмия, переосаждения этанолом [15].

Известен способ получения соевого лецитина [2], включающий обезжиривание фосфатидного концентрата ацетоном, экстракцию этанолом, очистку на окиси алюминия с последующим выделением целевого продукта.

Данный метод также обладает рядом существенных недостатков продуктов переработки сои – ФЛ-концентрата, значительное количество

выращиваемой в настоящее время сои является генетически модифицированной, а безопасность длительного использования в качестве биологически активных добавок компонентов генно-инженерных штаммов растений до сих пор окончательно не подтверждены, использование на одной из стадий процесса колоночной хроматографии является весьма трудоемкой и дорогостоящей стадией, применение которой в промышленных условиях сопряжено со значительными трудностями, в частности с регенерацией и утилизацией адсорбента – оксида алюминия, что делает данный способ, трудноосуществимым в промышленных масштабах [5]. Однако при данном способе, рекомендуемом получение только одного целевого биологически активного продукта – цереброзида нейрона, используется целый ряд высокотоксичных растворителей – метанол, хлороформ, серный эфир, пиридин, что является существенным недостатком, так как повышает себестоимость целевого продукта, делает невозможным использование отходов технологии, трудноосуществим в промышленных условиях.

### Заключение

Анализ известных технологий и объектов получения ФЛ показывает, что все способы выделения фосфолипидов направлены в сторону со-

хранения нативных свойств фосфолипидных продуктов. Каждая технология получения фосфолипидов (ФЛ) видоизменяет состав и свойства их фракций, поэтому существует необходимость применения разных способов их получения. Установлены оптимальные способы, которые предполагают экстрагирование конечного продукта ФЛ этанолом, разрешенным МЗ РФ экстрагентом для производства лечебно-профилактических пищевых продуктов и лекарственных препаратов. Указанный способ исключает использование высокотоксичных реагентов (метанол, хлороформ, кадмия хлорид и другое).

Из трех видов сырья наиболее технологичной является кукуруза, которая предусматривает использование минимального сочетания экстрагентов, для очистки которой оптимальным соотношением ФЛ : экстрагент является 1:1.

Полученные результаты открывают широкие возможности для дальнейшего теоретического и экспериментального изучения ФЛ биологически активных веществ в плане усовершенствования их получения и использования в радиобиологических целях.

ФЛ и лецитины используются для получения липосом, транспортеров лечебных, растительных и профилактических средств в медицине и ветеринарии, о которых будет изложено в следующем сообщении.

1. Вольнова Е. Р., Козырева А. С., Ляшенко А. Е. Различные способы получения лецитина из продуктов растительного и животного сырья // Молодой ученый. 2021. № 17 (359). С. 28–32. URL: <https://moluch.ru/archive/359/80197/> (дата обращения: 16.05.2023).
2. Алтайулы С. Извлечение фосфолипидов из сырого растительного масла с последующим получением фосфатидного концентрата // Масла и жиры. 2010. № 11–12. С. 20–22.
3. Схаляхов А. А., Корнен Н. Н., Бутипа Э. А., Лисовская Е. В. Сравнительная оценка качества лецитинов, полученных по различным технологиям // Новые технологии. 2013. № 1. С. 39–42. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sravnitel'naya-otsenka-kachestva-letsitinov-poluchennyh-po-razlichnym-tehnologiyam> (дата обращения: 16.05.2023).
4. Демина Н. Б. Биофармация – путь к созданию инновационных лекарственных средств // Разработка и регистрация лекарственных средств. 2013. № 1 (2). С. 8–13. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=20184109> (дата обращения: 25.05.2023).
5. Basu M. K. Liposomal delivery of anileishminal agents // Journal of Applied Research. 2015. № 5 (1). С. 231–236. URL: [clk.ru/34uA9f](http://clk.ru/34uA9f) (дата обращения: 27.05.2023).
6. Cabezas D. M., Madoery R., Diehl W., Tomas M. C. Emulsifying properties of different modified sunflower lecithins // Journal of the American oil chemists society. 2012. No. 89 (2). Pp. 361–364. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11746-011-1915-8>
7. Веснина А. Д., Козлова О. В., Просеков А. Ю. Биоактивные вещества растительного происхождения – перспективные кардиопротекторы // Пищевые инновации и биотехнологии : сб. тезисов X Международной научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых (г. Кемерово, 17 мая 2022 года) / под общей ред. А. Ю. Просекова. Кемерово : Кемеровский государственный университет. 2022. Т. 1. С. 460–462. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=49306199> (дата обращения: 10.05.2023).
8. Поздеев А. В., Щербаков Н. П., Вагин К. Н., Низамов Р. Н. Методика получения липосомальных систем доставки лекарственных веществ в организм животных // Ветеринарный врач. 2021. № 3. С. 33–39. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/metodika-polucheniya-liposomalnyh-sistem-dostavki-lekarstvennyh-veschestv-v-organizm-zhivotnyh> (дата обращения: 10.05.2023).

9. Швецов И. С., Поройский С. В., Струсовская О. Г. Совершенствование технологии и перспективы применения липосом (тематический обзор) // Волгоградский научно-медицинский журнал. 2020. № 4. С. 3–8. URL: <https://scup.org/142225973> (дата обращения: 23.05.2023).
10. Haley B., Frenkel E. Nanoparticles for drug delivery in cancer treatment // Urologic oncology: Seminars and original investigations. 2008. No. 26. Pp. 57–64. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.urolonc.2007.03.015>
11. Vasir J., Reddy M., Labhasetwar V. Nanosystems in drug targeting: opportunities and challenges // Current Nanoscience. 2005. No. 1 (1). Pp. 47–64. URL: <https://www.sci-hub.ru/10.2174/1573413052953110> (дата обращения: 23.05.2023).
12. Гурьева А. В. Лецитин: свойства и способы получения // Молодой ученый. 2021. № 26 (368). С. 32–40. URL: <https://moluch.ru/archive/368/82714/> (дата обращения: 02.06.2023).
13. Шанская А. И., Пучкова С. М. Липосомальные наносистемы на основе соевых фосфолипидов как контейнер для лекарственных средств // Трансфузиология. 2013. № 2 (14). С. 66–75. URL: <https://inlnk.ru/84MAM4> (дата обращения: 30.05.2023).
14. Технологии и перспективы использования липосомальных лекарственных препаратов в клинической практике / Краснопольский Ю. М., Григорьева А. С., Кацай А. Г., Конахович Н. Ф., Прохоров В. В., Стадниченко А. В., Балабаньян В. Ю., Лютик А. И., Швецов В. И. // Российские нанобиотехнологии. 2017. № 7–8. С. 132–141. DOI: <https://doi.org/10.1134/S1992722317040161>
15. Алтайулы С., Якияева М. А. Технология производства фосфолипидных концентратов растительных масел // Вестник Алмагитинского технологического университета. 2016. № 4. С. 58–65. URL: <https://scup.org/140204894> (дата обращения: 02.06.2023).
16. Barenholz Y. Liposome application: problems and prospects. Current opinion in colloid & interface Science. 2001. No. 6 (1). Pp. 66–77. DOI: [https://doi.org/10.1016/S1359-0294\(00\)00090-X](https://doi.org/10.1016/S1359-0294(00)00090-X)
17. Agricultural products decontamination from natural flora by gamma-irradiation / Ya. M. Kurbangaleev, K. N. Vagin, T. R. Gainutdinov, N. M. Vasilevsky, E. I. Semenov, G. I. Rakhmatullina, F. R. Vafin, F. Kh. Kalimullin, L. Y. Gabdrakhmanova, E. N. Maiorova, S. Yu. Smolentsev, K. T. Ishmukhametov, I. R. Yunusov // Linguistica Antverpiensia. 2021. No. 2. Pp. 981–992. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=46435854> (дата обращения: 05.06.2023).
18. Новикова А. А., Кезимана П., Станишевский Я. М. Методы получения липосом, используемых в качестве носителей лекарственных средств (обзор) // Разработка и регистрация лекарственных средств. 2017. No. 2. Pp. 134–138. URL: <https://www.pharmjournal.ru/jour/article/view/419/414> (дата обращения: 02.06.2023).
19. Демидов И. Н., Крамаренко А. А. Способы получения фосфолипидных продуктов // Вопросы химии и химической технологии. 2008. № 2. С. 58–63.

*Статья поступила в редакцию 06.06.2023 г.; одобрена после рецензирования 29.06.2023 г.; принята к публикации 05.06.2023 г.*

## Об авторах

### **Плотникова Эдие Миначетдиновна**

доктор ветеринарных наук, доцент, главный научный сотрудник сектора радиационной микробиологии отделения радиобиологии, Федеральный центр токсикологической, радиационной и биологической безопасности (420075, Российская Федерация, г. Казань, ул. Научный городок, д. 2), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8445-2922>, [adiya2397031@mail.ru](mailto:adiya2397031@mail.ru)

### **Низамов Рамзи Низамович**

доктор ветеринарных наук, профессор, главный научный сотрудник отделения радиобиологии, Федеральный центр токсикологической, радиационной и биологической безопасности (420075, Российская Федерация, г. Казань, ул. Научный городок, д. 2), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8595-0800>, [adiya2397031@mail.ru](mailto:adiya2397031@mail.ru)

### **Вафин Фаниль Рафаэлевич**

кандидат биологических наук, научный сотрудник, заведующий сектором радиационной иммунологии отделения радиобиологии, Федеральный центр токсикологической, радиационной и биологической безопасности (420075, Российская Федерация, г. Казань, ул. Научный городок, д. 2), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2274-8074>, [vafin.fr@mail.ru](mailto:vafin.fr@mail.ru)

### **Шакуров Муланур Махсутович**

кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник сектора радиационной микробиологии, отделения радиобиологии, Федеральный центр токсикологической, радиационной и биологической безопасности (420075, Российская Федерация, г. Казань, ул. Научный городок, д. 2), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2563-5948>, [MulanurShakurov@gmail.com](mailto:MulanurShakurov@gmail.com)

**Василевский Николай Михайлович**

доктор ветеринарных наук, профессор, главный научный сотрудник отделения радиобиологии, зам. директора по научной работе и инновационному развитию, Федеральный центр токсикологической, радиационной и биологической безопасности (420075, Российская Федерация, г. Казань, ул. Научный городок, д. 2), ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1019-821X>, [vnickm@mail.ru](mailto:vnickm@mail.ru)

**Тухфатуллов Завдат Латипович**

младший научный сотрудник лаборатории радиационной безопасности и ветеринарно-санитарной экспертизы отделения радиобиологии, Федеральный центр токсикологической, радиационной и биологической безопасности (420075, Российская Федерация, г. Казань, ул. Научный городок, д. 2), [adiya2397031@mail.ru](mailto:adiya2397031@mail.ru)

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

1. Volnova E. R., Kozyreva A. S., Lyashenko A. E. Razlichnye sposoby polucheniya letsitina iz produktov rastitel'nogo i zhivotnogo syr'ya [Various ways of obtaining lecithin from products of plant and animal raw materials]. *Molodoi uchenyi* = Young scientist, 2021, no. 17 (359), pp. 28–32. Available at: <https://moluch.ru/archive/359/80197/> (accessed 16.05.2023). (In Russ.).
2. Altaiuly S. Izvlechenie fosfolipidov iz syrogo rastitel'nogo masla s posleduyushchim polucheniem fosfatidnogo koncentrata [Extraction of phospholipids from crude vegetable oil with subsequent production of phosphatide concentrate]. *Masla i zhiry* = Oils and fats, 2010, no. 11–12, pp. 20–22. (In Russ.).
3. Skhalyakhov A. A., Kornen N. N., Butina E. A., Lisovaya E. V. Sravnitel'naya otsenka kachestva letsitinov, poluchennykh po razlichnym tekhnologiyam [Comparison of quality of lecithins obtained by different technologies]. *Novye tekhnologii* = New Technologies, 2013, no. 1, pp. 39–42. Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/sravnitel'naya-otsenka-kachestva-letsitinov-poluchennykh-po-razlichnym-tekhnologiyam> (accessed 16.05.2023). (In Russ.).
4. Demina N. B. Biofarmatsiya – put' k sozdaniyu innovatsionnykh lekarstvennykh sredstv [Biopharmacy – a way of innovative drug creation]. *Razrabotka i registratsiya lekarstvennykh sredstv* = Drug Development and Registration, 2013, no. 1 (2), pp. 8–13. Available at: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=20184109> (accessed 25.05.2023). (In Russ.).
5. Basu M. K. Liposomal delivery of anileishminal agents. *Journal of Applied Research*, 2015, no. 5 (1), pp. 231–236. Available at: [clck.ru/34uA9f](http://clck.ru/34uA9f) (accessed 27.05.2023). (In Eng.).
6. Cabezas D. M., Madoery R., Diehl W., Tomas M. C. Emulsifying properties of different modified sunflower lecithins. *Journal of the American Oil Chemists Society*, 2012, no. 89 (2), pp. 361–364. (In Eng.). DOI: <https://doi.org/10.1007/s11746-011-1915-8>
7. Vesnina A. D., Kozlova O. V., Prosekov A. Yu. Bioaktivnye veshchestva rastitel'nogo proiskhozhdeniya – perspektivnye kardioprotektory [Bioactive substances of plant origin – promising cardioprotector]. *Pishchevye innovatsii i biotekhnologii : sb. tezisev X Mezhdunarodnoi nauchnoi konferentsii studentov, aspirantov i molodykh uchenykh* = Food Innovations and Biotechnologies: col. of abstracts of the X International scientific conference of students, postgraduates and young scientists (Kemerovo, May 17, 2022), Kemerovo, Publ. house of Kemerovo State University, 2022, pp. 460–462. Available at: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=49306199> (accessed 10.05.2023). (In Russ.).
8. Pozdeyev A. V., Scherbakov N. P., Vagin K. N., Nizamov R. N. Metodika polucheniya liposomal'nykh sistem dostavki lekarstvennykh veshchestv v organizm zhivotnykh [Method of obtaining liposomal systems of delivery of medicines to animals]. *Veterinarnyi vrach* = The Veterinarian, 2021, no. 3, pp. 33–39. Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/metodika-polucheniya-liposomalnykh-sistem-dostavki-lekarstvennykh-veschestv-v-organizm-zhivotnykh> (accessed 10.05.2023). (In Russ.).
9. Shvetsov I. S., Poroisky S. V., Strusovskaya O. G. Sovershenstvovanie tekhnologii i perspektivy primeneniya liposom (tematicheskii obzor) [Perspectives liposome application and development technology (thematic review)]. *Volgogradskii nauchno-meditsinskii zhurnal* = Volgograd Journal of Medical Research, 2020, no. 4, pp. 3–8. Available at: <https://sciup.org/142225973> (accessed 23.05.2023). (In Russ.).
10. Haley B., Frenkel E. Nanoparticles for drug delivery in cancer treatment. *Urologic Oncology: Seminars and Original Investigations*, 2008, no. 26, pp. 57–64. (In Eng.). DOI: <https://doi.org/10.1016/j.urolonc.2007.03.015>
11. Vasir J., Reddy M., Labhasetwar V. Nanosystems in drug targeting: opportunities and challenges. *Current Nanoscience*, 2005, no. 1 (1), pp. 47–64. Available at: <https://www.sci-hub.ru/10.2174/1573413052953110> (accessed 30.05.2023). (In Eng.).
12. Guryeva A. V. Letsitin: svoystva i sposoby polucheniya [Lecithin: properties and methods of obtaining]. *Molodoi uchenyi* = Young Scientist, 2021, no. 26 (368), pp. 32–40. Available at: <https://moluch.ru/archive/368/82714/> (accessed 02.06.2023). (In Russ.).
13. Shanskaya A. I., Puchkova S. M. Liposomal'nye nanosistemy na osnove soevykh fosfolipidov kak konteiner dlya lekarstvennykh sredstv [Liposomal nanosystems from soy-bean phospholipids as container for drugs]. *Transfuziologiya* = Transfusiology, 2013, no. 2 (14), pp. 66–75. Available at: <https://inlnk.ru/84MAM4> (accessed 30.05.2023). (In Russ.).
14. Krasnopolskii Yu. M., Grigoryeva A. S., Katsai A. G., Konakhovich N. F., Prokhorov V. V., Stadnichenko A. V., Balabanyan V. Yu., Lyutik A. I., Shvets V. I. Tekhnologii i perspektivy ispol'zovaniya liposomal'nykh lekarstvennykh preparatov v klinicheskoi praktike [Technologies and perspectives of liposomal drug application in clinical practice]. *Rossiiskie nanobiotekhnologii* = Nanobiotechnology Reports, 2017, no. 7–8, pp. 132–141. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.1134/S1992722317040161>

15. Altaiuly S., Yakiyaeva M. A. Tekhnologiya proizvodstva fosfolipidnykh kontsentratorov rastitel'nykh masel [Production technology phospholipid concentrate vegetable oils]. *Vestnik Almatinskogo tekhnologicheskogo universiteta* = The Journal of Almaty Technological University, 2016, no. 2, pp. 58–65. Available at: <https://sciup.org/140204894> (accessed 02.06.2023). (In Russ.).
16. Barenholz Y. Liposome application: problems and prospects. *Current Opinion in Colloid & Interface Science*, 2001, no. 6 (1), pp. 66–77. (In Eng.). DOI: [https://doi.org/10.1016/S1359-0294\(00\)00090-X](https://doi.org/10.1016/S1359-0294(00)00090-X)
17. Kurbangaleev Ya. M., Vagin K. N., Gainutdinov T. R., Vasilevsky N. M., Semenov E. I., Rakhmatullina G. I., Vafin F. R., Kalimullin F. Kh., Gabdrakhmanova L. Y., Maiorova E. N., Smolentsev S. Yu., Ishmukhametov K. T., Yunusov I. R. Agricultural products decontamination from natural flora by gamma-irradiation. *Linguistica Antverpiensia*, 2021, no. 2, pp. 981–992. Available at: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=46435854> (accessed 05.06.2023). (In Eng.).
18. Novikova A. A., Kezimana P., Stanishevskiy Ya. M. Metody polucheniya liposom, ispol'zuemykh v kachestve nositelei lekarstvennykh sredstv (obzor) [Methods of obtaining liposomes, used as drug delivery systems (review)]. *Razrabotka i registratsiya lekarstvennykh sredstv* = Drug Development & Registration, 2017, no. 2, pp. 134–138. Available at: <https://www.pharmjournal.ru/jour/article/view/419/414> (accessed 02.06.2023). (In Russ.).
19. Demidov I. N., Kramarenko A. A. Sposoby polucheniya fosfolipidnykh produktov [Methods for obtaining phospholipid products]. *Voprosy khimii i khimicheskoi tekhnologii* = Questions of Chemistry and Chemical Technology, 2008, no. 2, pp. 58–63. (In Russ.).

*The article was submitted 06.06.2023; approved after reviewing 29.06.2023; accepted for publication 05.06.2023.*

#### About the authors

##### **Eddie M. Plotnikova**

Ph. D. (Veterinary), Associate Professor, Chief Researcher of the Sector of Radiation Microbiology, Department of Radiobiology, Federal Center for Toxicological, Radiation, and Biological Safety (2 Nauchny Gorodok, Kazan 420075, Russian Federation), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8445-2922>, [adiya2397031@mail.ru](mailto:adiya2397031@mail.ru)

##### **Ramzi N. Nizamov**

Ph. D. (Veterinary), Professor, Chief Researcher of the Department of Radiobiology, Federal Center for Toxicological, Radiation, and Biological Safety (2 Nauchny Gorodok, Kazan 420075, Russian Federation), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8595-0800>, [adiya2397031@mail.ru](mailto:adiya2397031@mail.ru)

##### **Fanil R. Vafin**

Ph. D. (Biology), Researcher, Head of the Sector of Radiation Immunology, Department of Radiobiology, Federal Center for Toxicological, Radiation, and Biological Safety (2 Nauchny Gorodok, Kazan 420075, Russian Federation), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2274-8074>, [vafin.fr@mail.ru](mailto:vafin.fr@mail.ru)

##### **Mulanur M. Shakurov**

Ph. D. (Biology), Leading Researcher of the Sector of Radiation Microbiology, Department of Radiobiology, Federal Center for Toxicological, Radiation, and Biological Safety (2 Nauchny Gorodok, Kazan 420075, Russian Federation), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2563-5948>, [MulanurShakurov@gmail.com](mailto:MulanurShakurov@gmail.com)

##### **Nikolay M. Vasilevsky**

Ph. D. (Veterinary), Professor, Chief Researcher of the Department of Radiobiology, Deputy Director on Research and Innovation Development, Federal Center for Toxicological, Radiation, and Biological Safety (2 Nauchny Gorodok, Kazan 420075, Russian Federation), ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1019-821X>, [vnickm@mail.ru](mailto:vnickm@mail.ru)

##### **Zavdat L. Tukhfatullo**

Junior Researcher at the Laboratory of Radiation Safety and Veterinary and Sanitary Expertise, Department of Radiobiology, Federal Center for Toxicological, Radiation, and Biological Safety (2 Nauchny Gorodok, Kazan 420075, Russian Federation), [adiya2397031@mail.ru](mailto:adiya2397031@mail.ru)

*All authors have read and approved the final manuscript.*