

<https://doi.org/10.47370/2072-0920-2022-18-4-35-50>

УДК 615.1:547.472.2

© 2022

Поступила 17.11.2022

Received 17.11.2022



Принята в печать 26.12.2022

Accepted 26.12.2022

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов / The authors declare no conflict of interests

ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ / ORIGINAL ARTICLE

ГЛИКОЛИПИДЫ – ПЕРСПЕКТИВНЫЙ ИНГРЕДИЕНТ В ПИЩЕВЫХ И ФАРМАЦЕВТИЧЕСКИХ ТЕХНОЛОГИЯХ

**Евгений О. Герасименко, Маргарита В. Слободяник*,
Сергей А. Сонин, Полина О. Попкова**

*ФГБОУ ВО «Кубанский государственный технологический университет»;
ул. Московская, д. 2, корпус Г, г. Краснодар, 350072, Российская Федерация*

Б л а г о д а р н о с т ь

Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского научного фонда,
проект № 21-16-0053.

Аннотация. Актуальность анализа научных публикаций, посвященных исследованиям состава, свойств, способов получения, областей применения, а также качественной и количественной идентификации гликолипидов, определяется перспективностью их использования в качестве альтернативных природных поверхностно-активных веществ. Обладая сопоставимыми поверхностно-активными свойствами с широко используемыми поверхностно-активными веществами нефтехимической природы, гликолипиды, отличаясь отсутствием токсичности и экологичностью, проявляют ярко выраженные физиологические функциональные свойства.

В настоящее время систематизированные данные, охватывающие различные аспекты состава, физико-химических свойств гликолипидов, отсутствуют.

Целью настоящего исследования является уточнение классификации гликолипидов, обобщение данных о преимуществах и недостатках различных промышленных способов получения гликолипидов; систематизация данных о свойствах гликолипидов по областям применения; выявление наиболее эффективных методов качественной и количественной идентификации гликолипидов.

Особое внимание было уделено анализу сведений о возможности выделения гликолипидов из растительного сырья, в том числе из вторичных ресурсов масложировой промышленности.

Приведенные в обзоре данные свидетельствуют о том, что гликолипиды, в том числе выделенные из растительного сырья, характеризуются высоким биотехнологическим потенциалом для использования их при создании фармацевтических препаратов, косметической продукции и функциональных пищевых продуктов.

Из известных способов промышленного производства гликолипидов в настоящее время наиболее распространенными и экономически эффективными являются способы на основе микробиологического и ферментативного синтезов.

Перспективным сырьем для производства гликолипидов являются вторичные продукты переработки масличного сырья – фосфатидные эмульсии и фосфатидные концентраты, содержащие в своем составе до 5% гликолипидов. Способы получения гликолипидов из данного вида сырья в настоящее время отсутствуют.

Из известных методов качественной и количественной идентификации гликолипидов (ТСХ, ВЭТСХ, ВЭЖХ, ЯМР) наиболее перспективным является метод ЯМР-спектроскопии высокого разрешения как наиболее информативный, экспрессный и точный.

Ключевые слова: гликолипиды, классификация гликолипидов, химическое строение, технологически функциональные свойства, физиологически функциональные свойства, способы производства, области применения, методы идентификации

Для цитирования: Гликолипиды – перспективный ингредиент в пищевых и фармацевтических технологиях / Герасименко Е.О. [и др.] // Новые технологии. 2022. Т. 18, № 4. С. 35-50. <https://doi.org/10.47370/2072-0920-2022-18-4-35-50>

GLYCOLIPIDS AS A PROMISING INGREDIENT IN FOOD AND PHARMACEUTICAL TECHNOLOGIES

**Evgeny O. Gerasimenko, Margarita V. Slobodyanik*,
Sergey A. Sonin, Polina O. Popkova**

*FSBEI HE «Kuban State Technological University»;
2 Moskovskaya str., building G, Krasnodar, 350072, the Russian Federation*

A c k n o w l e d g m e n t s

The study was financially supported by the Russian Science Foundation,
project No. 21-16-0053.

Abstract. The relevance of the analysis of scientific publications devoted to the study of the composition, properties, methods of preparation, areas of application, as well as the qualitative and quantitative identification of glycolipids is determined by the prospects for their use as alternative natural surfactants. Glycolipids possessing comparable surfactant properties with widely used surfactants of a petrochemical nature, and distinguished by the absence of toxicity and environmental friendliness, exhibit pronounced physiological and functional properties.

Currently, there are no systematic data covering various aspects of the composition, physico-chemical properties of glycolipids.

The purpose of this research is to clarify the classification of glycolipids, to summarize data on the advantages and disadvantages of various industrial methods for obtaining glycolipids; systematization of data on the properties of glycolipids by application; identification of the most effective methods for the qualitative and quantitative identification of glycolipids.

Particular attention is paid to the analysis of data on the possibility of isolating glycolipids from plant materials, including secondary resources of the oil and fat industry.

The data presented in the review indicate that glycolipids, including those isolated from plant materials, are characterized by a high biotechnological potential for their use in the creation of pharmaceuticals, cosmetics, and functional foods.

Of the known methods for the industrial production of glycolipids, currently the most common and cost-effective methods are those based on microbiological and enzymatic synthesis.

Promising raw materials for the production of glycolipids are secondary products of processing of oilseeds – phosphatide emulsions and phosphatide concentrates containing up to 5%

glycolipids in their composition. There are currently no methods for obtaining glycolipids from this type of raw material.

Of the known methods for the qualitative and quantitative identification of glycolipids (TLC, HPTLC, HPLC, NMR), the most promising method is high-resolution NMR spectroscopy, as it is the most informative, rapid and accurate.

Keywords: glycolipids, classification of glycolipids, chemical structure, technological and functional properties, physiological and functional properties, production methods, applications, identification methods

For citation: *Glycolipids as a promising ingredient in food and pharmaceutical technologies* / Gerasimenko E.O. [et al.] // *New technologies*. 2022. V. 18, No. 4. P. 35-50. <https://doi.org/10.47370/2072-0920-2022-18-4-35-50>

Введение. Гликолипиды считаются перспективными «зелеными» поверхностно-активными веществами с достаточно обширным спектром применения в различных отраслях благодаря их физиологически и технологически функциональным свойствам [1]. Так, например, в медицине и фармацевтике гликолипиды используются в качестве агентов с противовирусной, противогрибковой, антибиотикопленочной, антиадгезивной активностью, а также для таргетной доставки лекарственных средств и приготовления микроэмульсий; в косметологии и пищевых технологиях – в качестве поверхностно-активных веществ (ПАВ) вследствие дифильного строения их молекул; в сельском хозяйстве – для биоремедиации почв и т.д. [2; 3]. Цель данного обзора – обобщить данные, представленные в научной литературе, что позволит выявить перспективные направления в области исследования новых свойств гликолипидов, разработке новых технологий их получения, а также новых методов их качественной и количественной идентификации.

Структура, строение и классификация. Понятие «гликолипиды» объединяет широкую гамму веществ различного состава и строения, общим для которых является наличие двух фрагментов молекулы – липидного и углеводного, связанных между собой гликозидной связью [4].

Вопросы химической структуры, номенклатуры, биологической роли

гликолипидов регулярно освещаются в публикациях на веб-сайтах American Oil Chemistry Society (AOCS) Lipid Library (www.lipidlibrary.aocs.org); Consortium for Functional Glycomics (www.functionalglycomics.org); Essentials of Glycobiology (www.ncbi.nlm.nih); GlycoForum (www.glycoforum.gr.jp); SPHINGOMAP www.sphingomap.org).

Гликолипиды подразделяются на простые и сложные. Разнообразие гликолипидов обусловлено варьированием их липидного и углеводного фрагмента [4].

Наиболее распространенными углеводными компонентами молекул гликолипидов являются глюкоза, галактоза, их сульфатированные производные, аминокислота и сialовые кислоты.

В зависимости от природы липидной части гликолипиды подразделяют на гликоглицеролипиды, гликофосфоглицеролипиды, гликофинголипиды, стерилгликозиды и другие. Строение основных групп гликолипидов, присутствующих в растительном сырье, приведено на рисунках 1–4 [5; 6].

В структуре гликоглицеролипидов содержатся остатки галактозы или глюкозы, из которых вытекает их основная классификация, а именно:

– галактоглицеролипиды – содержат остаток галактозы в своей углеводной части. Гидрофобная часть молекулы состоит из молекулы диацилглицерина или алкилацилглицерина;

– глицериновые гликозиды – имеют остатки глюкозы в своей полярной части,

в гидрофобной части содержат остаток алкилацилглицерина;

– сульфоглицеролипиды – углеводный остаток содержат сульфатную группу.

Гликофинголипиды – липиды, содержащие по меньшей мере один моносахаридный остаток и церамид [4].

Стерилгликозиды – липидная часть представлена стеролами или этерифицированными стеролами.

Способы получения. Существующие способы получения гликолипидов сводятся к микробиологическим, химическим и ферментатическим процессам [7–8; 9–17].

Химический синтез гликолипидов осуществляется при участии катализаторов и растворителей, как правило, проявляющих токсичные свойства. Подобный метод является экономически неэффективным из-за низкого выхода готового продукта [18].

В основе микробиологического синтеза лежат процессы культивирования бактерий, дрожжей или грибов на различных, обычно синтетических, питательных средах. Выход и качество готового продукта зависят от используемых углеводов и добавленных в питательные

среды липидов. Так, природа гидрофильной части гликолипидов зависит от вида углеводов, на котором росли бактерии, а гидрофобной – от состава субстратов жирных кислот или растительных масел, добавляемых в среду [15; 16].

Энзиматический синтез предполагает модификацию уже существующих соединений в процессах ферментативных реакций с использованием липазы на субстрате, содержащем углеводы и жирные кислоты [17].

Наиболее изученные продуцируемые микроорганизмами гликолипидные поверхностно-активные вещества (ПАВ), широко используемые в промышленных масштабах, это рамнолипиды (RL), производимые *Pseudomonas aeruginosa* из рамнозы и софоролипиды (SL), продуцируемые *Candida bombicola* из софорозы [11; 12]. С технологической точки зрения такие процессы достаточно эффективны. Так, при проведении микробиологического синтеза софоролипидов с использованием микроорганизмов *Candida bombicola*, выход гликолипидов составляет 400 г/л [14].

Высокоэффективным продуцентом гликолипидов является гриб *Ustilago scitaminea* NBRC 32730. В составе синтезируемым

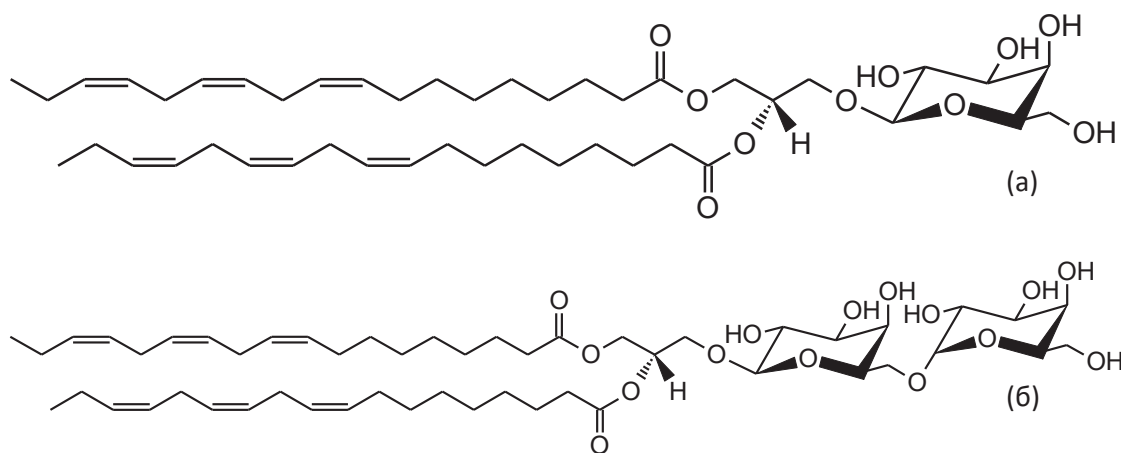


Рис. 1. Гликоглицеролипиды: (а) – Моногалактозилдиацилглицериды (MGDG), (б) – Дигалактозилдиацилглицериды (DGDG)

Fig. 1. Glycoglycerolipids: (a) – Monogalactosyldiacylglycerides (MGDG), (b) – Digalactosyldiacylglycerides (DGDG)

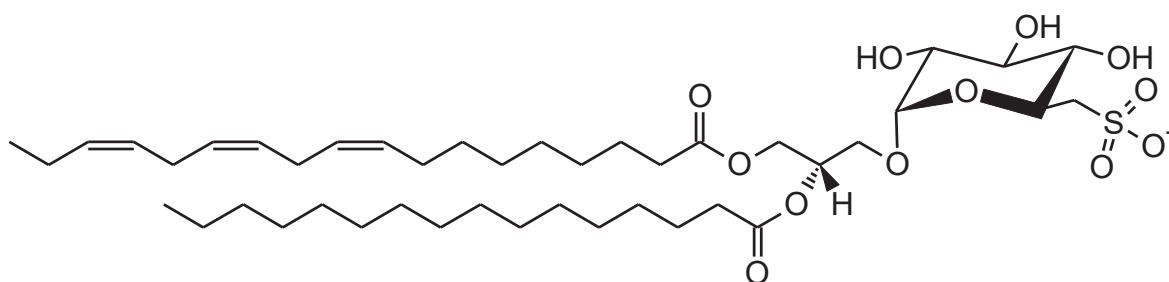


Рис. 2. Сульфоглицеролипиды: сульфоквиновозилдиацилглицеролы (SQDG)

Fig.2. Sulfoglycerolipids: Sulfoquinovosyldiacylglycerols (SQDG)

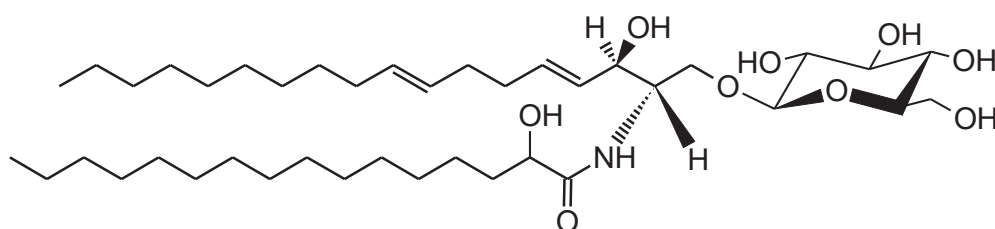


Рис. 3. Гликоspfинголипиды (цереброзиды)

Fig. 3. Glycosphingolipids (cerebrosides)

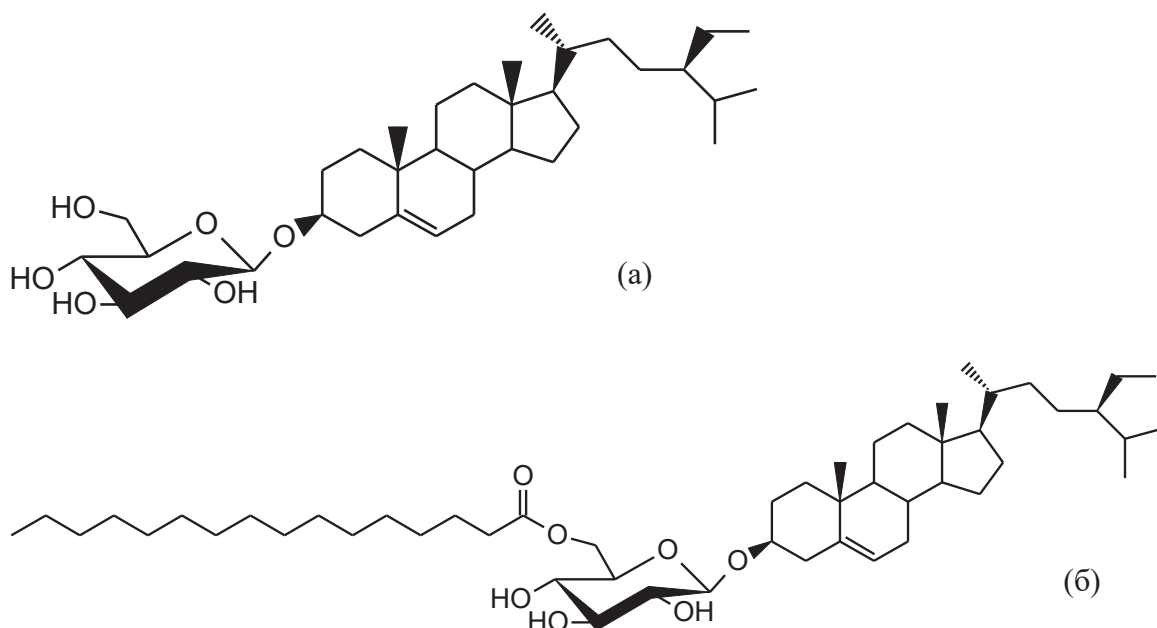


Рис. 4. (а) – стерилгликозиды; (б) – этерифицированные стерилгликозиды

Fig. 4. (a) – steryl glycosides; (b) – esterified sterile glycosides

этим грибом гликолипидов преобладают «Mannosylerythritol lipids» (MEL-B), имеющие состав: 4-O-β-(2',3'-di-O-alka(e)noyl-6'-O-acetyl-D-mannopyranosyl)-erythritol

[13]. Этот вид гликолипидов может быть синтезирован с использованием указанного микроорганизма из различных углеводов, таких как сахароза, глюкоза, фруктоза

и манноза. Достаточно эффективными субстратами являются оливковое масло и метилолеат. Однако при использовании последнего возникают существенные проблемы с выделением и очисткой конечного продукта. Увеличить эффективность процесса с получением выхода гликолипидов MEL-B до 12,8 г/л можно путем дополнительного внесения в субстрат сахарозы.

Описанные выше промышленно получаемые биологические поверхностно-активные вещества безопасны для окружающей среды и являются хорошей альтернативой поверхностно-активным веществам нефтехимического происхождения, используемым в различных секторах промышленности.

В настоящее время все большее внимание уделяется использованию микроводорослей в качестве источника гликолипидов с различным коммерческим применением. Эти гликолипиды (в основном гликоглицеролипиды) расположены в мембранах хлоропластов и тилакоидов. Гликолипиды из микроводорослей являются источником омега-3 жирных кислот, влияющих на физиологические функции организма, обеспечивая баланс между жирными кислотами омега-3 и омега-6 [19; 20].

После синтеза гликолипидных фракций тем или иным методом следует этап, задачей которого является максимальное извлечение гликолипидов из общей биомассы с минимальными потерями [21–23].

Существует достаточно много способов извлечения гликолипидов, что позволяет выбрать наиболее предпочтительный в тех или иных условиях. Такими способами являются: осаждение, экстракция различными растворителями, коагуляция, флотация и др. [24–26].

В последнее время в связи с получением новых данных о физиологических и технологически функциональных свойствах гликоглицеролипидов и их производных, за рубежом возрос интерес к разработке методов их извлечения из

различных видов растительного сырья и продуктов его переработки, в том числе и из фосфолипидных комплексов.

Следует отметить, что до настоящего времени работы по выделению гликолипидов из масличного сырья, и в том числе из различных видов фосфолипидных эмульсий и фосфатидных концентратов, содержащих в своем составе до 5% гликолипидов, практически не проводились. Во многом это обусловлено сложностью разделения гликолипидов и фосфолипидов, являющихся основными полярными липидами масличных семян, а также отсутствием простых надежных методов идентификации и определения содержания и состава гликолипидов.

Свойства. Гликолипиды играют важную роль в организации и функционировании клеточных мембран. В составе липидов мембран гепатоцитов и ацинарных клеток гликолипиды составляют равные с фосфатидилхолинами и сфингомиелинами доли (около 17%), при этом в составе миелина их содержание в среднем в 3 раза превышает содержание фосфатидилхолинов и сфингомиелинов [27].

Благодаря участию гликолипидов в метаболических превращениях и значимой роли в функционировании различных клеток организма человека и млекопитающих, большое внимание уделяется изучению их физиологически функциональных свойств [28–31].

Достоверно установлено, что гликолипиды обладают противомикробными [32], противовирусными [33], иммуномодулирующими [34], противоопухолевыми [35] и противогрибковыми [36] свойствами. Все это делает их интересными для использования в фармацевтическом производстве.

К одним из наиболее изученных видов гликолипидов относятся гликосфинголипиды, являющиеся компонентами мембран клеток организма человека и животных, проявляющие гипохолестеринемические, гиполипидемические и антиканцерогенные свойства [37; 38].

Другой вид гликолипидов – церамиды, входя в состав клеточных мембран в качестве молекул-предшественников участвуют в синтезе сфингомиелина, а в качестве сигнальных молекул обеспечивают протекание процессов клеточной дифференциации, пролиферации и апоптоза. Их физиологическая активность проявляется в подавлении роста раковых клеток, повышении эффективности лечения атопических дерматитов и др.

Физиологическая активность ганглиозидов связана с их участием в процессах повышения иммунитета кишечника и проявляется в подавлении роста патогенной микрофлоры, связывании бактериальных токсинов и др. [39; 40; 41].

Большой интерес в последние годы уделяется использованию в качестве физиологически функционального ингредиента комплекса полярных липидов молока, среди которых более 25% составляют гликосфингомиелины. Установлено, что гликосфингомиелины молока включают церамиды в составе лактозилцерамидов и глюкозилцерамидов и ганглиозиды [42; 43].

Выявлен достоверный эффект положительного влияния церамидов и ганглиозидов молока на процессы развития мозга в неонатальном периоде (Clandinin, 2009); процессы обучения и памяти (Wang, 2003); профилактику инфекционных заболеваний в раннем младенчестве (Rueda, 2007); защиту кишечника от некротического энтероколита (Schnabl, 2009; Clandinin, 2012). Доказано, что обогащение смесей для искусственного вскармливания младенцев полярными липидами буйволиного молока улучшает когнитивные функции и уменьшает количество инфекций, а также сужает разрыв в показателях здоровья грудных и искусственно вскармливаемых детей [44; 45].

Гликоглицеролипиды являются одними из основных представителей гликолипидов растительных клеток, клеток водорослей и микроорганизмов, [46–48].

Этот вид гликолипидов менее изучен по сравнению с гликосфинголипидами.

Между тем, гликоглицеролипиды привлекают интерес ученых в связи с имеющимися данными об их потенциальной активности при использовании в качестве противовирусных, противоопухолевых и противовоспалительных агентов [4]. Обнаружено, что в липидах овса содержится около 15% полярных липидов, из которых около 50% составляют гликоглицеролипиды, в основном состоящие из дигалактозилдиацилглицеролов, которые обладают выраженными эмульгирующими свойствами, обеспечивают стабилизацию липосомальных структур, могут успешно использоваться как компонент диетического питания, обеспечивающего своевременное возникновение чувства насыщения, а также как компонент косметической продукции [49].

Благодаря амфифильной природе молекулы гликолипидов обладают поверхностно-активными свойствами на границе раздела фаз разной полярности, что обеспечивает проявление эмульгирующей, солюбилизирующей, антиадгезионной способностей. Природное происхождение, отсутствие цитотоксичности, а также высокая стабильность в широком диапазоне изменения pH, содержания солей и температуры делает гликолипиды перспективной альтернативой для использования в технологиях продуктов специализированного и функционального питания в качестве микроингредиентов, сочетающих физиологически и технологически функциональные свойства [8; 29; 44; 50]. Гликолипиды гипоаллергенны, не обладают выраженными запахом и вкусом и могут быть использованы в качестве эмульгаторов в пищевых или косметических рецептурах [10; 35; 51]. Так, например, гликолипиды, входящие в состав лецитинов, могут использоваться в качестве функционально технологической добавки при выпечке [20].

В целом, применение гликолипидов охватывает почти все важнейшие сферы деятельности человека [52; 53].

В сельском хозяйстве гликолипиды преимущественно выступают в качестве элиситоров (стимулируют проявление защитных функций растения), фунгицидов, гермицидов (борьба с сорными растениями) и адъювантов в их составе, инсектицидов (средства против вредителей) и биоцидных средств (контроль фитопатогенов).

Возможно применение гликолипидов в процессах дезактивация почв, загрязненных полиароматическими углеводородами, например 3,4-бенз(а)пиреном. Перспективными являются технологии ремедиации загрязненных почв с применением гуминовых и гумино-минеральных препаратов в сочетании с добавками деструкторов органических веществ, в том числе в сочетании с гликолипидами, снижающими поверхностно-активное натяжение между взаимодействующими веществами [54].

Введение гликолипидов с потоком воды в нефтяные скважины способствует повышению нефтеотдачи, при этом гликолипиды более экологически безопасны, чем химически синтезированные ПАВ, так как разрушаются природными микроорганизмами. ПАВ на основе гликолипидов также способствуют улучшению дренажных свойств скважин и снижению вязкости нефти за счет снижения поверхностного натяжения [55].

Методы идентификации гликолипидов. Классическая методика качественной идентификации гликолипидов, известная еще с середины 20 века, включает экстракцию липидной фракции исследуемого продукта по методу Фолча [56] в системе хлороформ: метанол (2:1), с ее последующей препаративной экстракцией в присутствии кремниевой кислоты для предварительного разделения полярных и неполярных липидов в хроматографической колонке. Качественный

состав полярной фракции устанавливают методом тонкослойной хроматографии (ТСХ) [57]. Существует множество вариантов соотношения растворителей при экстракции липидов по методу Фолча, которые необходимо экспериментально подбирать для достижения максимального выхода липидной фракции из различных продуктов. Модификации вышеописанной схемы отличаются способами экстракции, разделения и детектирования гликолипидов.

Существует способ экстракции липидов из навески измельченного объекта исследования в присутствии кремниевой кислоты, кизельгура и воды. Осадок с фильтра пошагово обрабатывают системой растворителей по классическому методу Фолча. После этого выделенные липиды фракционируют на три класса путем разделения их на двух хроматографических колонках [58]. Для идентификации гликолипидов пластины для ТСХ элюируют в системе растворителей хлороформ : ацетон : метанол : уксусная кислота : вода (65:20:10:10:3), в качестве проявителя используют дифениламинный раствор. Относительная простота метода делает его привлекательным с точки зрения воспроизводимости, однако этот метод длителен и трудоемок.

В современных методах ТСХ-анализа основное различие заключается в способах экстрагирования липидной матрицы из исследуемого образца, в способах разделения липидов по степени полярности, в системах растворителей для элюирования и системах для проявления и идентификации компонентов. Особый интерес представляет метод определения содержания гликолипидов на автоматизированной установке высокоэффективной тонкослойной хроматографии (ВЭТСХ). При этом особое значение имеет объем пробы при проведении количественного анализа. Наилучшие результаты разделения можно получить с использованием

системы растворителей ацетон / хлороформ / вода 6: 3: 0,4 (об. / об. / об.) в качестве подвижной фазы. Реагент дериватизации содержит метанол, пентагидрат сульфата меди (II), серную кислоту 98% и фосфорную кислоту 85%. Проведение процесса при указанных параметрах позволяет детектировать гликолипиды при длине волны 370 нм [59]. Однако использование метода ВЭТСХ не исключает предварительной многостадийной процедуры выделения анализируемых компонентов, их очистку [60; 61].

Более точным методом идентификации гликолипидов является высокоэффективная жидкостная хроматография (ВЭЖХ) [62]. Преимуществом этого метода является возможность варьирования условий детектирования в зависимости от используемого детектора, использование различных колонок и режимов элюирования. Качественную и количественную идентификацию анализируемых веществ устанавливают по предварительно построенной градуировке с использованием стандартных образцов. Пробоподготовка также предусматривает экстракцию гликолипидов из исследуемого продукта и разделение липидов по полярности методом твердофазной экстракции. Известные методики различаются по системе растворителей, составу подвижной фазы и видам детекторов [63–65].

Основными видами детекторов являются ультрафиолетовый (UV), детектор электронного светорассеяния (ELSD), электроспрей (ESI), химическая ионизация при атмосферном давлении (APCI), а также различное их сочетание с одно- и трехквadrupольными масс-детекторами: ESI-MS, ESI-MS/MS, APCI -MC [66–68].

Все большее распространение находит метод ЯМР спектроскопии высокого разрешения [69]. Методы ЯМР широко

используются для качественной и количественной идентификации липидов в пищевых матрицах. ЯМР-анализ позволяет осуществлять неразрушающий контроль многокомпонентных систем без предварительного выделения идентифицируемого вещества.

Закключение. Приведенные в данном обзоре данные свидетельствуют, что гликолипиды обладают высоким биотехнологическим потенциалом для использования их при создании фармацевтических препаратов, косметической продукции и функциональных пищевых продуктов.

Из существующих способов промышленного производства гликолипидов наиболее распространенными являются способы на основе микробиологического и ферментативного синтезов. Биотехнологические процессы производства биомассы, содержащей гликолипиды, процесс их извлечения и очистки характеризуются большой трудоемкостью и материало-емкостью, что создает предпосылки для разработки инновационных способов получения гликолипидов. Перспективным сырьем для производства гликолипидов являются вторичные продукты переработки масличного сырья – фосфатидные эмульсии и фосфатидные концентраты, содержащие в своем составе до 5% гликолипидов.

Известные методы качественного и количественного определения гликолипидов (ТСХ, ВЭТСХ, ВЭЖХ) достаточно трудоемки, требуют предварительной пробоподготовки и предполагают наличие стандартных образцов. Наиболее перспективным представляется метод неразрушающего анализа, основанный на использовании ЯМР-спектроскопии высокого разрешения, не требующий предварительной пробоподготовки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Bireswar B., Tarun K.Gh., Nilimanka D. Application of bio-surfactants in cosmetics and pharmaceutical industry. *Scholars Academic Journal Pharmacy*. 2017; 6(7): 320–329.

2. Рудакова М.А., Галицкая П.Ю., Селивановская С.Ю. Биосурфактанты: современные тренды // Ученые записки Казанского университета. Серия: Естественные науки. 2021. Т. 163, № 2. С. 177–208.
3. Ohadi M., Shahravan A., Dehghannoudeh N. [et al.] Potential use of microbial surfactant in microemulsion drug delivery system: a systematic review. *Drug design, development and therapy*. 2020; 14: 541–550.
4. Merrill A.H., Vu M.N. Glycolipids. *Encyclopedia of Cell Biology*. Elsevier Inc. 2016; 1: 180–193.
5. Nakamura Y., Li-Beisson Y. Lipids in Plant and Algae Development. *Subcellular Biochemistry*. 2016; 86: 58.
6. Heinz Ernst. Plant glycolipids: Structure, isolation and analysis. *Advances in Lipid Methodology*. 2012: 211–332.
7. Inès Mnifa I., Ghribia D. Glycolipid biosurfactants: main properties and potential applications in agriculture and food industry. *J Sci Food Agric*. 2016; 96(13): 4310–4320.
8. Siebenhaller S., Grüniger J., Syldatk C. Enzymatic Synthesis of Glycolipid Surfactants. *Lipid Modification by Enzymes and Engineered Microbes*. 2018: 293–313.
9. Varvaresou A., Iakovou K. Biosurfactants in cosmetics and biopharmaceuticals. *Lett. Appl. Microbiol*. 2015; 61(3): 214–223.
10. Lang S., Trowitzsch-Kienast W. Grundlagen zur mikrobiellen Biotensid-Gewinnung und deren praktische Umsetzung. *Biotenside*. 2002: 23–24.
11. Sivapathasekaran C., Sen R. Origin, properties, production and purification of microbial surfactants as molecules with immense commercial potential. 2017; 54(2): 92–104.
12. Morita T., Ishibashi Y., Fukuoka T. [et al.] Production of Glycolipid Biosurfactants, Manno-sylerythritol Lipids, by a Smut Fungus, *Ustilago scitaminea* NBRC 32730. *Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry*. 2009; 73(3): 788–792.
13. Inge N.A., Van Bogaert J. Zhang, W. Soetaert. Microbial synthesis of sophorolipids. *Review. Process Biochemistry*. 2011; 46(4): 821–833.
14. ПАВ микробного синтеза гликолипидной основы для бетонных и растворных смесей [Электронный ресурс] / Соломатов В.И. [и др.] // Вестник МГУ. 2000. 1–2. С. 125–127. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/rol-udobreniy-v-stabilizatsii-urozhaynosti-polevyh-kultur-v-usloviyah-neustoychivogo-uvlazhneniya>
15. Штамм бактерий *rhodococcus erythropolis* – продуцент гликолипидов и белковой биомассы: патент RU 2 104 304 C1 / Винаров А.Ю. Сидоренко Т.Е. Цыганкова Н.И.; заявитель и патентообладатель Государственный научно-исследовательский институт биосинтеза белковых веществ; № 96101318/13, заявл. 1996.01.19; опублик. 1998.02.10.
16. Nunez A., Foglia T.A., Ashby R. Enzymatic synthesis of a galactopyranose sophorolipid fatty acid-ester. *Biotechnol Lett*. 2003; 25: 1291–1296.
17. Maekawa Y.T., Mizuki T. Chemical synthesis and cytotoxicity of neo-glycolipids; rare sugar-glycerol-lipid compounds. 2018; 4(10).
18. Costa E. Silva J., Mendonça S.H. [et al.] Lipidomic Approaches towards Deciphering Glycolipids from Microalgae as a Reservoir of Bioactive Lipids. *Mar. Drugs*. 2016; 14(5): 101.
19. Patrick L. Selmaier and Peter Koehler. Molecular Structure and Baking Performance of Individual Glycolipid Classes from Lecithins. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2009; 57(12): 5597–5609.
20. María J. Jiménez Callejón, Alfonso Robles Medina, Pedro A. [et al.] Simultaneous extraction and fractionation of lipids from the microalga *Nannochloropsis* sp. for the production of EPA-rich polar lipid concentrates. *Journal of Applied Phycology*. 2020; 32: 1117–1128.
21. Ranjith Kumar R., Hanumantha Rao P., Arumugam M. Lipid extraction methods from microalgae: a comprehensive review. *Front. Energy Res*. 2015; 2(61).
22. Lee Jae-Yon [et al.] Comparison of several methods for effective lipid extraction from microalgae. *Bioresource Technology*. 2010; 101: 575–577.

23. Papazi A., Makridis P., Divanach P. Harvesting *Chlorella minutissima* using cell coagulants. *J Appl Phycol.* 2010; 22: 349–355.
24. Uduman N., Danquah M.K., Hoadley. Marine microalgae flocculation and focused beam reflectance measurement. *Chemical Engineering Journal.* 2010; 162: 935–940.
25. Сас Е.И. Эссенциальные фосфолипиды в структуре концепции функционального питания // Фосфолипиды: новые возможности в технологии, аналитической химии, применении: Материалы XIV Международной конференции (Краснодар, 11–15 окт. 2016 г.). Краснодар, 2016.
26. Kitamoto D., Isoda H. and Nakahara T. Functions and potential applications of glycolipid biosurfactants. *J Biosci Bioeng.* 2002; 94: 187–201.
27. Gein S.V., Kuyukina M.S., Ivshina I.B. [et al.] In vitro cytokine stimulation assay for glycolipid biosurfactant from *Rhodococcus ruber*: role of monocyte adhesion. *Cytotechnol.* 2011; 63(6): 559–566.
28. Agostoni C. [et al.] Breast-feeding: A commentary by the ESPGHAN Committee on Nutrition. *J Pediatr Gastroenterol Nutr.* 2009; 49(1): 112–125.
29. Timothy M. Cox. Future perspectives for glycolipid research in medicine. *Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci.* 2003; 358(1433): 967–973.
30. Altenbach H.J., Ihizane R., Jakob B. [et al.] Synthesis and Characterization of Novel Surfactants: Combination Products of Fatty Acids, Hydroxycarboxylic Acids and Alcohols. *J Surfact Deterg.* 2010; 13: 399–407.
31. Harada S. [et al.] A broad antiviral neutral glycolipid, fattiviracin FV-8, is a membrane fluidity modulator. *Cell. Microbiol.* 2007; 9(1): 196–203.
32. Иммуногенные липопептиды / Белявцев А.Н. [и др.] // Биомедицина. 2018. № 4. С. 88–95.
33. Recke V.K. [et al.] Lipase-catalyzed acylation of microbial mannosylerythritol lipids (biosurfactants) and their characterization. *Carbohydr.* 2013; 373: 82–88.
34. Teichmann B. [et al.] A biosynthetic gene cluster for a secreted cellobiose lipid with antifungal activity from *Ustilago maydis*. *Mol. Microbiol.* 2007; 66(2): 525–533.
35. Nyberg L. [et al.] A mutual inhibitory effect on absorption of sphingomyelin and cholesterol. *J. Nutr. Biochem.* 2000; 11(5): 244–249. [et al.] Dietary sphingolipids in colorectal cancer prevention *Eur. J. Cancer Prev.* 2002; 11(2): 193–197.
36. Minagawa M., Iiai T., Sato Y. [et al.] Repeated administration of alpha-galactosyl ceramide attenuates of natural killer T cells. *Gan To Kagaku Ryoho.* 2005; 32(11): 1553–1555.
37. Xue-Feng Wu, Xing-Xin Wu, Wen-Jie Guo [et al.] A glycosphingolipid compound, improves experimental colitis in mice with multiple targets against activated T lymphocytes. *Toxicol. Appl. Pharmacol.* 2012; 263(3): 296–302.
38. Oku H., Wongtangtharn S., Iwasaki H. [et al.] Tumor specific cytotoxicity of glucosylceramide. *Cancer Chemother Pharmacol.* 2007; 60: 767–775.
39. Monakhova Y.B., Betzgen M., Diehl B.W.K. 1H NMR as a release methodology for analysis of phospholipids and other constituents in infant nutrition, *Anal. Methods.* 2016; 8: 7493–7499.
40. Timby N., Domellöf M., Lönnerdal B. [et al.] Supplementation of Infant Formula with Bovine Milk Fat Globule Membranes. *Adv Nutr.* 2017; 8(2): 351–355.
41. Timby N., Hernell O., Vaarala O. [et al.] Infections in Infants Fed Formula Supplemented With Bovine Milk Fat Globule Membranes. A Randomized Controlled Trial. *Journal of pediatric gastroenterology and nutrition.* 2015; 60: 384–389.
42. Hölzl G., Dörmann P. Structure and function of glycoglycerolipids in plants and bacteria. *Prog Lipid Res.* 2007; 46(5): 225–243.
43. Zhang J., Li C., Yu G. [et al.] Total synthesis and structure-activity relationship of glycoglycerolipids from marine organisms. *Mar Drugs.* 2014; 12(6): 3634–3659.

44. Подсолнечный шрот – экономически перспективное сырье для производства пищевых белково-углеводных продуктов / Широкоярова О.В. [и др.] // Известия вузов. Пищевая технология. 2009. № 5/6. С. 45–48.
45. Kuyukina M.S., Ivshina I.B., Gein S.V. [et al.] In vitro immunomodulating activity of bio-surfactant glycolipid complex from *Rhodococcus ruber*. *Bull Exp Biol Med*. 2007; 144(3): 326–330.
46. Tarahomjoo S., Alemzadeh I. Surfactant production by an enzymatic method. *Enzyme and Microbial Technology – ENZYME MICROB TECHNOL*. 2023; 33: 33–37.
47. Global Biosurfactants Market by Type (Glycolipids, Lipopeptides), Application (Detergent, Personal Care, Food Processing, Agricultural Chemicals) and Region (North America, Europe, Asia-Pacific, Rest of the World). Forecast to 2027. Research and markets [Электронный ресурс] [процитировано октябрь 2022]. Режим доступа: <https://www.researchandmarkets.com/reports/4437552/biosurfactants-market-by-type-glycolipids>.
48. Anwendungsgebiete für Rhamnolipid-Liquid und Rhamnolipid-Pulver. Biotensidon [Электронный ресурс] [процитировано 11 ноября 2022]. Режим доступа: <https://biotensidon.com/anwendungsgebiete>.
49. Деструкция полиароматических углеводородов в окружающей среде. Зооинженерный факультет МСХА [Электронный ресурс] [Процитировано: 1.09.2022]. Режим доступа: <https://www.activestudy.info/destrukciya-poliaromaticeskix-uglevodorodov-v-okruzhayushhej-srede/>
50. Родионов А.И., Клушин В.Н., Систер В.Г. Охрана окружающей среды: процессы и аппараты защиты гидросферы: учебник. 5-е изд., испр. и доп. М.: Юрайт, 2018.
51. Folch J., Lees M., Sloane-Stanley G.H. A simple method for the isolation and purification of total lipides from animal tissues. *J Biol Chem*. 1957; 226(1): 497–509.
52. Kates M. *Techniques of Lipidology*. North Holland, American Elsevier, Amsterdam, New York, 1972: 398–401.
53. Peng A.C. Composition of the lipids in cabbage. *Lipids*. 1974; 9(5): 299–301.
54. Wenzel O., Fernández J., Sohling U. [et al.] Quantitative Determination of Natural Glycolipids from Oil Seed by Automated High-Performance Thin-Layer Chromatography (HPTLC). *J Am Oil Chem Soc*. 2015; 92: 633–644.
55. Osagie A.U., Kates M. Lipid composition of millet (*Pennisetum americanum*) seeds. *Lipids*. 1984; 19(12): 958–965.
56. Wenzel O., Fernández J., Sohling U. [et al.] Quantitative Determination of Natural Glycolipids from Oil Seed by Automated High-Performance Thin-Layer Chromatography (HPTLC). *J Am Oil Chem Soc*, 2015; 92(5): 633–644.
57. Liengprayoon S., Sriroth K., Dubreucq E. [et al.] Glycolipid composition of *Hevea brasiliensis* latex. *Phytochemistry*. 2011; 72(14–15): 1902–1913.
58. Newburg D.S., Chaturvedi P. Neutral glycolipids of human and bovine milk. *Lipids*. 1992; 27(11): 923–927.
59. Sugawara T., Miyazawa T. Separation and determination of glycolipids from edible plant sources by high-performance liquid chromatography and evaporative light-scattering detection. *Lipids*. 1999; 34(11): 1231–1237.
60. Nguyen Tuyet M., De Vrieze M., Van de Walle D. [et al.] Analysis of glycolipids in vegetable lecithin with HPLC-ELSD. In: 13th International symposium on Hyphenated Techniques in Chromatography and Separation Technology (HTC-13) and 3rd International symposium on Hyphenated Techniques for Sample Preparation (HTSP-3), Book of abstracts, 2014.
61. Walker G.C. Determination of flour glycolipids as their benzoyl derivatives by high-performance liquid chromatography with ultraviolet detection. *Cereal chemistry*, 1988; 65(5): 433–435.
62. Moreau R.A., Doehlert D.C., Welti R. [et al.] The identification of mono-, di-, tri-, and tetra-galactosyl-diacylglycerols and their natural estolides in oat kernels. *Lipids*. 2008; 43(6): 533–548.

63. Popendorf K.J., Fredricks H.F., Van Mooy B.A. Molecular ion-independent quantification of polar glycerolipid classes in marine plankton using triple quadrupole MS. *Lipids*. 2013; 48(2): 185–95.
64. Bernd W.K. Diehl. NMR of Polar Lipid. *Polar Lipids*. 2015: 391–438.

REFERENCES:

1. Bireswar B., Tarun K. Gh., Nilimanka D. Application of bio-surfactants in cosmetics and pharmaceutical industry. *Scholars Academic Journal Pharmacy*. 2017; 6(7): 320–329.
2. Rudakova M.A., Galitskaya P.Yu., Selivanovskaya S.Yu. Biosurfactants: current trends. *Transactions of Kazan university. Series: Natural Sciences*. 2021; 163(2): 177–208. (In Russ.)
3. Ohadi M., Shahravan A., Dehghannoudeh N. [et al.] Potential use of microbial surfactant in microemulsion drug delivery system: a systematic review. *Drug design, development and therapy*. 2020; 14: 541–550.
4. Merrill A.H., Vu M.N. Glycolipids. *Encyclopedia of Cell Biology*. Elsevier Inc. 2016; 1: 180–193.
5. Nakamura Y., Li-Beisson Y. Lipids in Plant and Algae Development. *Subcellular Biochemistry*. 2016; 86: 58.
6. Heinz Ernst. Plant glycolipids: Structure, isolation and analysis. *Advances in Lipid Methodology*. 2012: 211–332.
7. Inès Mnifa I., Ghribia D. Glycolipid biosurfactants: main properties and potential applications in agriculture and food industry. *J Sci Food Agric*. 2016; 96(13): 4310–4320.
8. Siebenhaller S., Grüninger J., Syldatk C. Enzymatic Synthesis of Glycolipid Surfactants. *Lipid Modification by Enzymes and Engineered Microbes*. 2018: 293–313.
9. Varvaresou A., Iakovou K. Biosurfactants in cosmetics and biopharmaceuticals. *Lett. Appl. Microbiol*. 2015; 61(3): 214–223.
10. Lang S., Trowitzsch-Kienast W. Grundlagen zur mikrobiellen Biotensid-Gewinnung und deren praktische Umsetzung. *Biotenside*. 2002: 23–24.
11. Sivapathasekaran C., Sen R. Origin, properties, production and purification of microbial surfactants as molecules with immense commercial potential. 2017; 54(2): 92–104.
12. Morita T., Ishibashi Y., Fukuoka T. [et al.] Production of Glycolipid Biosurfactants, Mannosylerythritol Lipids, by a Smut Fungus, *Ustilago scitaminea* NBRC 32730. *Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry*. 2009; 73(3): 788–792.
13. Inge N.A., Van Bogaert J. Zhang, W. Soetaert. Microbial synthesis of sophorolipids. Review. *Process Biochemistry*. 2011; 46(4): 821–833.
14. Surfactant of microbial synthesis of glycolipid base for concrete and mortar mixtures [Electronic resource] / Solomatov V.I. [et al.] // *Bulletin of Moscow State University*. 2000. 1–2. pp. 125–127. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/rol-udobreniy-v-stabilizatsii-urozhaynosti-polevyh-kulturn-v-usloviyah-neustoychivogo-uvlazhneniya>.
15. *Rhodococcus erythropolis* Bacterial strain as a producer of glycolipids and protein biomass: patent RU 2 104 304 C1 / Vinarov A.Yu. Sidorenko T.E. Tsygankova N.I.; applicant and patent holder State Research Institute of Biosynthesis of Protein Substances; No. 96101318/13, Appl. 1996.01.19; publ. 1998.02.10.
16. Nunez A., Foglia T.A., Ashby R. Enzymatic synthesis of a galactopyranose sophorolipid fatty acid–ester. *Biotechnol Lett*. 2003; 25: 1291–1296.
17. Maekawa Y.T., Mizuki T. Chemical synthesis and cytotoxicity of neo-glycolipids; rare sugar-glycerol-lipid compounds. 2018; 4(10).
18. Costa E. Silva J., Mendonça S.H. [et al.] Lipidomic Approaches towards Deciphering Glycolipids from Microalgae as a Reservoir of Bioactive Lipids. *Mar. Drugs*. 2016; 14(5): 101.

19. Patrick L. Selmair and Peter Koehler. Molecular Structure and Baking Performance of Individual Glycolipid Classes from Lecithins. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2009; 57(12): 5597–5609.
20. María J. Jiménez Callejón, Alfonso Robles Medina, Pedro A. [et al.] Simultaneous extraction and fractionation of lipids from the microalga *Nannochloropsis* sp. for the production of EPA-rich polar lipid concentrates. *Journal of Applied Phycology*. 2020; 32: 1117–1128.
21. Ranjith Kumar R., Hanumantha Rao P., Arumugam M. Lipid extraction methods from microalgae: a comprehensive review. *Front. Energy Res.* 2015; 2(61).
22. Lee Jae-Yon [et al.] Comparison of several methods for effective lipid extraction from microalgae. *Bioresource Technology*. 2010; 101: 575–577.
23. Papazi A., Makridis P., Divanach P. Harvesting *Chlorella minutissima* using cell coagulants. *J Appl Phycol.* 2010; 22: 349–355.
24. Uduman N., Danquah M.K. Hoadley. Marine microalgae flocculation and focused beam reflectance measurement. *Chemical Engineering Journal*. 2010; 162: 935–940.
25. Sas E.I. Essential phospholipids in the structure of the concept of functional nutrition // Phospholipids: new opportunities in technology, analytical chemistry, application: Proceedings of the XIV International Conference (Krasnodar, October 11–15, 2016). Krasnodar, 2016.
26. Kitamoto D., Isoda H. and Nakahara T. Functions and potential applications of glycolipid biosurfactants. *J Biosci Bioeng.* 2002; 94: 187–201.
27. Gein S.V., Kuyukina M.S., Ivshina I.B. [et al.] In vitro cytokine stimulation assay for glycolipid biosurfactant from *Rhodococcus ruber*: role of monocyte adhesion. *Cytotechnol.* 2011; 63(6): 559–566.
28. Agostoni C. [et al.] Breast-feeding: A commentary by the ESPGHAN Committee on Nutrition. *J Pediatr Gastroenterol Nutr.* 2009; 49(1): 112–125.
29. Timothy M. Cox. Future perspectives for glycolipid research in medicine. *Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci.* 2003; 358(1433): 967–973.
30. Altenbach H.J., Ihizane R., Jakob B. [et al.] Synthesis and Characterization of Novel Surfactants: Combination Products of Fatty Acids, Hydroxycarboxylic Acids and Alcohols. *J Surfact Deterg.* 2010; 13: 399–407.
31. Harada S. [et al.] A broad antiviral neutral glycolipid, fattiviracin FV-8, is a membrane fluidity modulator. *Cell. Microbiol.* 2007; 9(1): 196–203.
32. Belyavtsev A.N. [et al.] Immunogenic lipopeptides. *Biomedicine*. 2018; 4: 88–95. (In Russ.)
33. Recke V.K. [et al.] Lipase-catalyzed acylation of microbial mannosylerythritol lipids (biosurfactants) and their characterization. *Carbohydr.* 2013; 373: 82–88.
34. Teichmann B. [et al.] A biosynthetic gene cluster for a secreted cellobiose lipid with antifungal activity from *Ustilago maydis*. *Mol. Microbiol.* 2007; 66(2): 525–533.
35. Nyberg L. [et al.] A mutual inhibitory effect on absorption of sphingomyelin and cholesterol. *J. Nutr. Biochem.* 2000; 11(5): 244–249. [et al.] Dietary sphingolipids in colorectal cancer prevention *Eur. J. Cancer Prev.* 2002; 11(2): 193–197.
36. Minagawa M., Iiai T., Sato Y. [et al.] Repeated administration of alpha-galactosyl ceramide attenuates of natural killer T cells. *Gan To Kagaku Ryoho.* 2005; 32(11): 1553–1555.
37. Xue-Feng Wu, Xing-Xin Wu, Wen-Jie Guo [et al.] A glycosphingolipid compound, improves experimental colitis in mice with multiple targets against activated T lymphocytes. *Toxicol. Appl. Pharmacol.* 2012; 263(3): 296–302.
38. Oku H., Wongtangtintharn S., Iwasaki H. [et al.] Tumor specific cytotoxicity of glucosylceramide. *Cancer Chemother Pharmacol.* 2007; 60: 767–775.
39. Monakhova Y.B., Betzgen M., Diehl B.W.K. ¹H NMR as a release methodology for analysis of phospholipids and other constituents in infant nutrition, *Anal. Methods*. 2016; 8: 7493–7499.
40. Timby N., Domellöf M., Lönnerdal B. [et al.] Supplementation of Infant Formula with Bovine Milk Fat Globule Membranes. *Adv Nutr.* 2017; 8(2): 351–355.

41. Timby N., Hernell O., Vaarala O. [et al.] Infections in Infants Fed Formula Supplemented With Bovine Milk Fat Globule Membranes. A Randomized Controlled Trial. *Journal of pediatric gastroenterology and nutrition*. 2015; 60: 384–389.
42. Hölzl G., Dörmann P. Structure and function of glycoglycerolipids in plants and bacteria. *Prog Lipid Res*. 2007; 46(5): 225–243.
43. Zhang J., Li C., Yu G. [et al.] Total synthesis and structure–activity relationship of glycoglycerolipids from marine organisms. *Mar Drugs*. 2014; 12(6): 3634–3659.
44. Shirokoryadova O.V. [et al.] Sunflower residues as an economically promising raw material for the production of food protein-carbohydrate products. *Proceedings of universities. Food technology*. 2009; 5/6: 45–48. (In Russ.)
45. Kuyukina M.S., Ivshina I.B., Gein S.V. [et al.] In vitro immunomodulating activity of biosurfactant glycolipid complex from *Rhodococcus ruber*. *Bull Exp Biol Med*. 2007; 144(3): 326–330.
46. Tarahomjoo S., Alemzadeh I. Surfactant production by an enzymatic method. *Enzyme and Microbial Technology – ENZYME MICROB TECHNOL*. 2023; 33: 33–37.
47. Global Biosurfactants Market by Type (Glycolipids, Lipopeptides), Application (Detergent, Personal Care, Food Processing, Agricultural Chemicals) and Region (North America, Europe, Asia–Pacific, Rest of the World). Forecast to 2027. Research and markets [Электронный ресурс] [процитировано октябрь 2022]. Режим доступа: <https://www.researchandmarkets.com/reports/4437552/biosurfactants-market-by-type-glycolipids>.
48. Anwendungsgebiet für Rhamnolipid–Liquid und Rhamnolipid–Pulver. Biotensidon [Electronic resource]. URL: <https://biotensidon.com/anwendungsgebiete>.
49. Destruction of polyaromatic hydrocarbons in the environment. Zooengineering Faculty of the Moscow Agricultural Academy [Electronic resource]. URL: <https://www.activestudy.info/destrukciya-poliaromaticeskix-uglevodorodov-v-okruzhayushhej-srede/>
50. Rodionov A.I., Klushin V.N., Sister V.G. Environmental protection: processes and devices for protecting the hydrosphere: a textbook. 5th ed., rev. and add. M.: Yurayt; 2018.
51. Folch J., Lees M., Sloane-Stanley G.H. A simple method for the isolation and purification of total lipides from animal tissues. *J Biol Chem*. 1957; 226(1): 497–509.
52. Kates M. *Techniques of Lipidology*. North Holland, American Elsevier, Amsterdam, New York, 1972: 398–401.
53. Peng A.C. Composition of the lipids in cabbage. *Lipids*. 1974; 9(5): 299–301.
54. Wenzel O., Fernández J., Sohling U. [et al.] Quantitative Determination of Natural Glycolipids from Oil Seed by Automated High-Performance Thin-Layer Chromatography (HPTLC). *J Am Oil Chem Soc*. 2015; 92: 633–644.
55. Osagie A.U., Kates M. Lipid composition of millet (*Pennisetum americanum*) seeds. *Lipids*. 1984; 19(12): 958–965.
56. Wenzel O., Fernández J., Sohling U. [et al.] Quantitative Determination of Natural Glycolipids from Oil Seed by Automated High-Performance Thin-Layer Chromatography (HPTLC). *J Am Oil Chem Soc*, 2015; 92(5): 633–644.
57. Liengprayoon S., Sriroth K., Dubreucq E. [et al.] Glycolipid composition of *Hevea brasiliensis* latex. *Phytochemistry*. 2011; 72(14–15): 1902–1913.
58. Newburg D.S., Chaturvedi P. Neutral glycolipids of human and bovine milk. *Lipids*. 1992; 27(11): 923–927.
59. Sugawara T., Miyazawa T. Separation and determination of glycolipids from edible plant sources by high-performance liquid chromatography and evaporative light-scattering detection. *Lipids*. 1999; 34(11): 1231–1237.
60. Nguyen Tuyet M., De Vrieze M., Van de Walle D. [et al.] Analysis of glycolipids in vegetable lecithin with HPLC–ELSD. In: 13th International symposium on Hyphenated Techniques in

Chromatography and Separation Technology (HTC–13) and 3rd International symposium on Hyphenated Techniques for Sample Preparation (HTSP–3), Book of abstracts; 2014.

61. Walker G.C. Determination of flour glycolipids as their benzoyl derivatives by high-performance liquid chromatography with ultraviolet detection. *Cereal chemistry*, 1988; 65(5): 433–435.

62. Moreau R.A., Doehlert D.C., Welti R. [et al.] The identification of mono-, di-, tri-, and tetra-galactosyl-diacylglycerols and their natural estolides in oat kernels. *Lipids*. 2008; 43(6): 533–548.

63. Popendorf K.J., Fredricks H.F., Van Mooy B.A. Molecular ion-independent quantification of polar glycerolipid classes in marine plankton using triple quadrupole MS. *Lipids*. 2013; 48(2): 185–95.

64. Bernd W.K. Diehl. NMR of Polar Lipid. *Polar Lipids*. 2015: 391–438.

Информация об авторах / Information about the authors

Герасименко Евгений Олегович, доктор технических наук, профессор кафедры технологии жиров, косметики, товароведения, процессов и аппаратов ФГБОУ ВО «Кубанский государственный технологический университет», доктор технических наук, профессор

Слободяник Маргарита Вадимовна, лаборант-исследователь Испытательного центра ФГБОУ ВО «Кубанский государственный технологический университет»

mar.slobodyanik@mail.ru

Сонин Сергей Александрович, старший научный сотрудник Испытательного центра ФГБОУ ВО «Кубанский государственный технологический университет», кандидат технических наук

Попкова Полина Олеговна, лаборант-исследователь Испытательного центра ФГБОУ ВО «Кубанский государственный технологический университет»

Evgeny O. Gerasimenko, Doctor of Technical Sciences, a professor of the Department of Technology of Fats, Cosmetics, Commodity Science, Processes and Apparatuses of FSBEI HE «Kuban State Technological University», Doctor of Technical Sciences, a professor

Margarita V. Slobodyanik, a research laboratory assistant of the Testing Center of FSBEI HE «Kuban State Technological University»

mar.slobodyanik@mail.ru

Sergey A. Sonin, a senior researcher of the Testing Center of FSBEI HE «Kuban State Technological University», Candidate of Technical Sciences

Polina O. Popkova, a research laboratory assistant of the Testing Center of FSBEI HE «Kuban State Technological University»