

DOI: <https://doi.org/10.36691/RJA16965>

# Паналлергены: свойства и клиническая значимость

С.Ю. Петрова, С.В. Хлгатын, В.М. Бержец, Л.Н. Нестеренко, Г.И. Алаторцева, О.Ю. Емельянова

Научно-исследовательский институт вакцин и сывороток имени И.И. Мечникова, Москва, Россия

## Аннотация

Поиск причинно-значимых аллергенов остается непростой задачей, несмотря на успешное развитие молекулярной алергодиагностики. У большинства пациентов проявляются реакции при контакте с несколькими источниками аллергенов. Одной из причин полисенсibilизации может быть перекрестная реактивность, при которой специфические антитела иммуноглобулина Е против одного аллергена могут связывать гомологичные молекулы другого аллергена. Это означает, что видимая на первый взгляд при аллергологическом обследовании полисенсibilизация на самом деле может являться аллергией только на 1 тип белка (паналлерген). В этом случае существует возможность проведения алергенспецифической иммунотерапии всего 1 аллергеном или даже 1 белком (паналлергеном).

В обзоре описаны различные семейства паналлергенов растительного и животного происхождения, их свойства, функции и возможные последствия сенсibilизации пациентов с аллергией. Представлена сводная таблица белковых семейств паналлергенов. Проведение популяционных исследований и скрининг пациентов с аллергией будут способствовать получению новых знаний о паналлергенах, их вкладе в проявление заболеваний и разработке эффективных диагностических и терапевтических подходов.

**Ключевые слова:** паналлергены; алергодиагностика; алергокомпоненты; сенсibilизация.

**Как цитировать:** Петрова С.Ю., Хлгатын С.В., Бержец В.М., Нестеренко Л.Н., Алаторцева Г.И., Емельянова О.Ю. Паналлергены: свойства и клиническая значимость // Российский аллергологический журнал. 2025. Т. 22, № 1. С. 44–57. DOI: <https://doi.org/10.36691/RJA16965>

DOI: <https://doi.org/10.36691/RJA16965>

## Panallergens: properties and clinical significance

Stanislava Yu. Petrova, Svetlana V. Khlgatyan, Valentina M. Berzhets, Lyubov N. Nesterenko, Galina I. Alatortseva, Olga Yu. Emelyanova

Mechnikov Research Institute of Vaccines and Sera, Moscow, Russian

### Abstract

The search for causally significant allergens remains a difficult task despite the successful development of molecular allergy diagnostics. Most patients have reactions when they come into contact with several sources of allergens. One of the reasons for polysensitization may be cross-reactivity, in which specific IgE antibodies against one allergen can bind homologous molecules of another allergen. This means that polysensitization, which is observed at first glance during an allergologic examination, may actually be an allergy to only one type of protein (panallergen). In this case, it is possible to carry out allergen-specific immunotherapy with just one allergen or even one protein (panallergen).

This review describes various families of plant and animal origin panallergens, their properties, functions and possible consequences of sensitization of patients with allergies. The review also provides a summary table of protein families of panallergens. Conducting population-based studies and screening of patients with atopy will contribute to gaining new knowledge about panallergens, their contribution to disease manifestations, and the development of effective diagnostic and therapeutic approaches.

**Keywords:** panallergens; allergy diagnostics; allergen components; sensitization.

**To cite this article:** Petrova SYu, Khlgatyan SV, Berzhets VM, Nesterenko LN, Alatortseva GI, Emelyanova OYu. Panallergens: properties and clinical significance. *Russian Journal of Allergy*. 2025;22(1):44–57. DOI: <https://doi.org/10.36691/RJA16965>

Submitted: 07.02.2025 Accepted: 26.02.2025 Published online: 06.03.2025

The article can be used under the CC BY-NC-ND 4.0 International license

## Введение

Паналлергены — семейства родственных белков растительного или животного происхождения, которые широко распространены в природе и обладают способностью вызывать в организме перекрестную реакцию, опосредованную иммуноглобулинами (Ig) E. Высокая гомология в структуре IgE-связывающих эпитопов белков является причиной перекрестной реактивности между филогенетически далекими видами [1–3].

Накоплены многочисленные данные о свойствах различных семейств паналлергенов [4]. Каждое из них имеет свои физико-химические и иммунобиологические особенности, что оказывает влияние на их аллергенные свойства. Понимание этих особенностей позволяет более обоснованно подойти к аллергодиагностике [2].

## Паналлергены и их свойства

### Растительные паналлергены

#### *Термостабильные паналлергены растительного происхождения*

Растительные термостабильные паналлергены, устойчивые к гидролизу в пищеварительном тракте, способны вызывать тяжелые системные и местные аллергические реакции.

К данным паналлергенам относят:

- белки хранения семян,
- неспецифические белки-переносчики липидов (nsLTP) [2],
- полкальцины (кальций-связывающие белки) [4].

**Белки хранения семян** вызывают перекрестные аллергические реакции только на пищевые продукты, прежде всего на бобовые и орехи [2].

**Структура и особенности.** Белки хранения семян представлены чаще всего 7S-глобулинами (вицилинами), 11S-глобулинами (легуминами) и 2S-альбуминами.

Большинство 2S-альбуминов состоят из 2 полипептидных цепей, соединенных дисульфидными мостиками. Короткая цепь имеет молекулярную массу (ММ) около 4 кДа, длинная — около 9 кДа. Некоторые представители этого семейства состоят из 1 цепи. 2S-альбумины сворачиваются в компактные  $\alpha$ -спиральные пучки, дополнительно стабилизированные 4–5 дисульфидными связями. Помимо консервативного набора из 8 остатков цистеина, последовательности 2S-альбуминов из неродственных растений имеют очень низкую степень идентичности — <40% [4, 5].

7S- и 11S-глобулины структурно сходны и относятся к суперсемейству купинов. Вицилины состоят из субъединиц размером около 50 кДа, которые сворачиваются в структуру, состоящую из 2  $\beta$ -листов, окруженных выступающими

на поверхность  $\alpha$ -спиральями и неструктурированными петлями. Эти субъединицы образуют стабильные тримеры ММ 150–190 кДа, которые удерживаются вместе за счет электростатических взаимодействий. Кроме того, многие вицилины содержат N-связанный гликан. Последовательности вицилинов у неродственных растений демонстрируют низкий уровень консервативности, составляющий обычно 30–50% [4].

Субъединицы легумина (белки бобовых) имеют ММ 50–60 кДа и состоят из 2 цепей. Первая цепь (ММ 30–40 кДа) соединена со второй (ММ 20 кДа) консервативной дисульфидной связью. Эти субъединицы имеют структуру, аналогичную структуре вицилинов. Белки бобовых образуют гексамеры размером 300–450 кДа, состоящие из 2 тримеров, расположенных друг над другом. Последовательности этих белков более консервативны, чем последовательности других белков запаса, и обычно на 40–60% идентичны гомологичным белкам из неродственных растений. Кроме того, они демонстрируют значительное сходство состава последовательностей со структурно родственными вицилинами [4, 5].

**Клиническая значимость.** Среди 2S-альбуминов к мажорным аллергенам относят Ara h 2, Ara h 6, Ara h 7 из арахиса, Cor a 14 из фундука, Jug r 1 из грецкого ореха и Ana o 3 из кешью. Мажорными белками-аллергенами вицилинов являются Ara h 1 из арахиса, Gly m 5 из сои и Jug r 2 из грецкого ореха, Pis s 1 и Pis s 2 из гороха, Len c 1 из чечевицы, Lup an 1 из люпина; главный аллерген у легуминов — Gly m 6 из сои [4] (табл. 1).

Аллергические симптомы, которые возникают при связывании IgE с этими аллергенами, могут варьировать от легких (например, оральная аллергический синдром) до опасных для жизни состояний, таких как анафилаксия. Однако белки хранения семян относятся к группе растительных аллергенов, где тяжелые аллергические реакции встречаются чаще, чем в других семействах паналлергенов. Наиболее частое проявление системных аллергических реакций со смертельным исходом установлено на арахис и лесной орех [1, 2, 4, 6].

Считается, что необычайно устойчивая структура 2S-альбуминов способствует их более высокой аллергенности, чем у 7S- и 11S-глобулинов. Выявлена кросс-реактивность 2S-альбуминов грецкого ореха и ореха пекан, кешью и фисташек, грецкого ореха и фундука, арахиса и люпина. Доказана перекрестная активность 7S-глобулинов из фундука, фисташек и семян кунжута; кешью и фисташек; гороха и арахиса; арахиса и люпина. Обнаружены перекрестные аллергические реакции 11S-глобулинов фундука и грецкого ореха; фундука и арахиса; желтой горчицы и арахиса, миндаля, фундука, фисташек, грецкого ореха [4].

**Неспецифические белки-переносчики липидов** представляют собой семейство повсеместно распространенных

**Таблица 1.** Паналлергены и их маркеры в молекулярной аллергодиагностике

**Table 1.** Panallergens and their markers in molecular allergy diagnostics

Семейство паналлергенов Panallergen family	Аллергокомпоненты и их источники Allergic components and their sources
<b>Белки растительного происхождения, термостабильные и устойчивые к воздействию ферментов пищеварительного тракта</b> Plant proteins, thermoresistant and resistant to gastrointestinal enzymes	
Белки хранения семян [2, 4] Seed storage proteins [2, 4]	Бобовые: арахис (Ara h 1, Ara h 2, Ara h 3, Ara h 6, Ara h 7), соя (Gly m 5, Gly m 6), горох (Pis s 1, Pis s 2), чечевица (Len c 1), люпин (Lup an 1) Орехи: фундук (Cor a 9, Cor a 14), бразильский орех (Ber e 1), кешью (Ana o 3), грецкий орех (Jug r 1, Jug r 2, Jug r 4), кунжут (Ses i 3) Другое: горчица (Sun a 2) Legumes: peanuts (Ara h 1, Ara h 2, Ara h 3, Ara h 6, Ara h 7), soy (Gly m 5, Gly m 6), peas (Pis s 1, Pis s 2), lentils (Len c 1), lupin (Lup an 1) Nuts: hazelnut (Cor a 9, Cor a 14), Brazilian nut (Ber e 1), cashew (Ana o 3), walnut (Jug r 1, Jug r 2, Jug r 4), sesame (Ses i 3) Other: mustard (Sun a 2)
Неспецифические белки-переносчики липидов [3, 8] Non-specific lipid transfer proteins [3, 8]	Бобовые: арахис (Ara h 9) Пыльца: амброзия (Amb a 6), полынь (Art v 3), олива (Ole e 7), платан (Pla a 3), постенница иудейская (Par j 1, Par j 2), постенница лекарственная (Par o 1) Фрукты: персик (Pru p 3), абрикос (Pru ar 3), черешня (Pru av 3), вишня (Pru c 3), слива (Pru d 3), виноград (Vit v 1), апельсин (Cit s 3), яблоко (Mal d 3), киви (Act d 10), золотой киви (Act c 10), лимон (Cit l 3), клубника (Fra a 3) Овощи: томат (Lyc e 3), салат-латук (Lac s 1), спаржа (Aspa o 1), сельдерей (Api g 2), капуста (Bra o 3) Орехи/семена: фундук (Cor a 8), грецкий орех (Jug r 3), миндаль (Pru du 3), подсолнечник (Hel a 3) Зерновые: кукуруза (Zea m 14), пшеница (Tri a 14) Другое: плоды каштана (Cas s 8), латекс (Hev b 12) Legumes: peanuts (Ara h 9) Pollen: ambrosia (Amb a 6), sage (Art v 3), olive (Ole e 7), plane tree (Pla a 3), spreading pellitory (Par j 1, Par j 2), pellitory-of-the-wall (Par o 1) Fruit: peach (Pru p 3), apricot (Pru ar 3), cherry (Pru av 3), tart cherry (Pru c 3), plum (Pru d 3), grapes (Vit v 1), orange (Cit s 3), apple (Mal d 3), kiwi (Act d 10), gold kiwifruit (Act c 10), lemon (Cit l 3), strawberry (Fra a 3) Vegetables: tomato (Lyc e 3), lettuce (Lac s 1), asparagus (Aspa o 1), celery (Api g 2), cabbage (Bra o 3) Nuts/seeds: hazelnut (Cor a 8), walnut (Jug r 3), almond (Pru du 3), sunflower (Hel a 3) Grains: corn (Zea m 14), wheat (Tri a 14) Other: chesnuts (Cas s 8), latex (Hev b 12)
Полкальцины [3, 4, 13] Polcalcins [3, 4, 13]	Пыльца: береза (Bet v 3, Bet v 4), тимopheевка (Phl p 7), амброзия (Amb a 9, Amb a 10), полынь (Art v 5), олива (Ole e 3, Ole e 8), сирень (Syr v 3), бермудская трава (Cyn d 7), можжевельник колючий (Jun o 4), ольха (Aln g 4), ясень (Fra e 3), гусиная лапка (Che a 3) Pollen: birch (Bet v 3, Bet v 4), timothy grass (Phl p 7), ambrosia (Amb a 9, Amb a 10), sage (Art v 5), olive (Ole e 3, Ole e 8), lilac (Syr v 3), scutch grass (Cyn d 7), mountain juniper (Jun o 4), alder (Aln g 4), ash (Fra e 3), pigweed (Che a 3)
<b>Белки растительного происхождения, термолабильные, гидролизуются под воздействием ферментов пищеварительного тракта</b> Plant proteins, thermolabile, hydrolyzed by gastrointestinal enzymes	
PR-10 протеины, гомологичные Bet v 1 [2–4, 14, 16] PR-10 proteins, homologous to Bet v 1 [2–4, 14, 16]	Пыльца: береза (Bet v 1), лещина (Cor a 1), ольха (Aln g 1), граб (Car b 1), дуб (Que a 1), бук (Fag s 1), тимopheевка (Phl p 1), свиной (Cyn d 1) Бобовые: арахис (Ara h 8), соя (Gly m 4), вигна лучистая (Vig r 1) Фрукты: киви (Act d 8), золотой киви (Act c 8), персик (Pru p 1), абрикос (Pru ar 1), яблоко (Mal d 1), груша (Pru c 1), черешня (Pru av 1) Зонтичные: сельдерей (Api g 1), морковь (Dau c 1) Орехи: фундук (Cor a 1.04) Pollen: birch (Bet v 1), hazel (Cor a 1), alder (Aln g 1), hornbeam (Car b 1), oak (Que a 1), beech (Fag s 1), timothy grass (Phl p 1), cynodon (Cyn d 1) Legumes: peanuts (Ara h 8), soy (Gly m 4), black gram (Vig r 1) Fruit: kiwi (Act d 8), gold kiwifruit (Act c 8), peach (Pru p 1), apricot (Pru ar 1), apple (Mal d 1), pear (Pru c 1), cherry (Pru av 1) Parsley family: celery (Api g 1), carrot (Dau c 1) Nuts: hazelnut (Cor a 1.04)

**Таблица 1.** Паналлергены и их маркеры в молекулярной аллергодиагностике

Окончание **Таблицы 1.**

**Table 1.** Panallergens and their markers in molecular allergy diagnostics

End of **Table 1.**

Семейство паналлергенов Panallergen family	Аллергокомпоненты и их источники Allergic components and their sources
Профилины [2, 3] Profilins [2, 3]	<p>Пыльца: береза (Bet v 2), лещина (Cor a 2), граб (Car b 2), тимopheевка (Phl p 12), амброзия (Amb a 8), полынь (Art v 4), олива (Ole e 2), кукуруза (Zea m 12), подсолнечник (Hel a 2)                      Фрукты: банан (Mus a 1), апельсин (Cit s 2), дыня (Cuc m 2), персик (Pru p 4), ананас (Ana c 1), груша (Pyr c 4), киви (Act d 9), клубника (Fra a 4), яблоко (Mal d 4), черешня (Pru av 4), виноград (Vit v 4)                      Пасленовые: томат (Lyc e 1), картофель (Sola t 8), сладкий перец (Cap a 2)                      Бобовые: арахис (Ara h 5), соя (Gly m 3)                      Зонтичные: сельдерей (Api g 4), морковь (Dau c 4)                      Орехи: миндаль (Pru du 4), фундук (Cor a 2)                      Другое: латекс (Hev b 8)                      Pollen: birch (Bet v 2), hazel (Cor a 2), alder (Car b 2), timothy grass (Phl p 12), ambrosia (Amb a 8), sage (Art v 4), olive (Ole e 2), corn (Zea m 12), sunflower (Hel a 2)                      Fruit: banana (Mus a 1), orange (Cit s 2), melon (Cuc m 2), peach (Pru p 4), pineapple (Ana c 1), pear (Pyr c 4), kiwi (Act d 9), strawberry (Fra a 4), apple (Mal d 4), cherry (Pru av 4), grapes (Vit v 4)                      Nightshade family: tomato (Lyc e 1), potato (Sola t 8), sweet pepper (Cap a 2)                      Legumes: peanut (Ara h 5), soy (Gly m 3)                      Parsley family: celery (Api g 4), carrot (Dau c 4)                      Nuts: almond (Pru du 4), hazelnut (Cor a 2)                      Other: latex (Hev b 8)</p>
Белки животного происхождения Animal proteins	
Тропомиозины [4] Tropomyosins [4]	<p>Ракообразные: креветка (Pen a 1, Pen m 1, Pen i 1), омар (Hom a 1), краб (Cha f 1), лангуст (Pan s 1)                      Моллюски: устрицы (Cra g 1)                      Головоногие: кальмар (Tod p 1), осьминог (Oct v 1)                      Насекомые: таракан (Bla g 7)                      Клещи домашней пыли (Der p 10, Der f 10)                      Crustaceans: shrimp (Pen a 1, Pen m 1, Pen i 1), lobster (Hom a 1), crab (Cha f 1), crawfish (Pan s 1)                      Mollusks: oyster (Cra g 1)                      Cephalopods: squid (Tod p 1), octopus (Oct v 1)                      Insects: cockroach (Bla g 7)                      Dust mites (Der p 10, Der f 10)</p>
Парвальбумины [2, 31, 32] Parvalbumins [2, 31, 32]	<p>Рыба: карп (Cyp c 1), треска (Gad c 1), лосось (Sal s 1), тунец (Thu a 1), форель (Onc m 1), сельдь (Clu h 1), морской окунь (Seb m 1)                      Земноводные: крокодил (Cro p 1)                      Курица, яйцо (Gal d 8)                      Fish: carp (Cyp c 1), cod (Gad c 1), salmon (Sal s 1), tuna (Thu a 1), trout (Onc m 1), herring (Clu h 1), sea bass (Seb m 1)                      Amphibians: crocodile (Cro p 1)                      Chicken, egg (Gal d 8)</p>
Липокалины [4, 32, 37] Lipocalins [4, 32, 37]	<p>Слюна, шерсть, перхоть животных: лошадь (Equ c 1, Ecu c2), мышь (Mus m 1), собака (Can f 1, Can f 2, Can f 4, Can f 6), кошка (Fel d 4, Fel d 7), корова (Bos d2, Bos d5), кролик (Ory c 1), крыса (Rat n 1), морская свинка (Cav p 1)                      Animal saliva, fur, dandruff: horse (Equ c 1, Ecu c2), mouse (Mus m 1), dog (Can f 1, Can f 2, Can f 4, Can f 6), cat (Fel d 4, Fel d 7), cow (Bos d2, Bos d5), rabbit (Ory c 1), rat (Rat n 1), guinea pig (Cav p 1)</p>
Сывороточные альбумины [4, 32, 33, 34] Serum albumins [4, 32, 33, 34]	<p>Слюна, шерсть, перхоть животных: кошка (Fel d 2), собака (Can f 3), лошадь (Ecu c 3), морская свинка (Cav p 4)                      Пищевые белки: молоко и говядина (Bos d 6), свинина (Sus s 1), курица, яйцо (Gal d 5)                      Animal saliva, fur, dandruff: cat (Fel d 2), dog (Can f 3), horse (Ecu c 3), guinea pig (Cav p 4)                      Food proteins: milk and beef (Bos d 6), pork (Sus s 1), chicken, egg (Gal d 5)</p>

растительных белков, относящихся к суперсемейству проламинов. Они вызывают развитие перекрестных аллергических реакций как на фрукты и овощи, так и на пыльцу растений и играют важную роль в защите растений от экологических факторов стресса, таких как жара или засуха [7].

**Структура и особенности.** По значению ММ nsLTP делят на 2 типа: LTP1 (9–10 кДа; около 90 аминокислот) и LTP2 (6–7 кДа; около 70 аминокислот). Однако большинство аллергенных nsLTP относятся к типу nsLTP1. Для nsLTP характерна глобулярная  $\alpha$ -спиральная структура, стабилизированная 4 дисульфидными связями. Данная конструкция образует гидрофобную полость, которая служит местом связывания широкого спектра липидов и гидрофобных молекул. Это чрезвычайно стабильные, структурно высококонсервативные белки защиты растений, присутствующие во всем растительном царстве [8, 9].

**Клиническая значимость.** Первоначально сенсibilизация к nsLTP была выявлена в странах Средиземноморья, позднее — в регионах Северной Атлантики и странах Северной Европы [9–11]. Впервые nsLTP был выделен из персиков и обозначен как Pru p 3. Это мажорный аллерген персика. Присутствие гомологичных белков обнаружено в большом числе пищевых продуктов растительного происхождения, в подсемействе *Prunoideae*, к которому относятся прежде всего персик, абрикос, слива и вишня; в группе орехов (грецкий орех, фундук и арахис); среди злаков (пшеница, кукуруза) и т. д. (см. табл. 1). Паналлерген nsLTP в наибольшей концентрации присутствует в коже фруктов [10–12].

Клинические проявления аллергии на данные белки значительно различаются у разных пациентов — от крапивницы/ангионевротического отека до симптомов пищевой аллергии и анафилаксии. Симптомы могут проявиться вскоре после употребления как сырых, так и приготовленных продуктов. У детей младшего возраста симптомы обычно менее выражены, чем у подростков и взрослых. Для появления симптомов кофакторной анафилаксии требуется провоцирующий фактор — кофактор, например физические нагрузки, алкоголь, стресс или прием нестероидных противовоспалительных препаратов. Сенсibilизация обычно происходит через желудочно-кишечный тракт, но может также происходить через кожу (контактная крапивница, вызванная персиками, очень распространена в Италии и Испании) и дыхательные пути (особенно в регионах, где много персиковых садов) [12].

Неспецифические белки-переносчики липидов были идентифицированы как мажорные и минорные аллергены в пыльце различных деревьев и сорняков. Часто встречающаяся сенсibilизация к пыльцевым nsLTP связана с тяжелыми клиническими проявлениями и нередко приводит к астме (см. табл. 1) [4].

**Полкальцины (кальций-связывающие белки)** регулируют уровень кальция при прорастании пыльцы и росте пыльцевых трубок.

**Структура и особенности.** Полкальцины — небольшие молекулы ММ около 8 кДа, которые имеют 2 кальций-связывающих домена (EF-hand-мотивы), состоящих из петли длиной 12 аминокислот, окруженной 2  $\alpha$ -спиралями [13]. Данные белки обладают высокой стабильностью (термической и при протеолизе) и способностью к рефолдингу, что является характеристикой, присущей всему семейству. Во всех изученных видах полкальцины считаются минорными аллергенами, поскольку частота связывания IgE с представителями этого семейства белков варьирует от 5 до 46 % [4].

**Клиническая значимость.** Наиболее известным пыльцевым полкальцином и первым клонированным является Phl p 7 из *Phleum pratense* (timoфеевка луговая). Рекомбинантный Phl p 7 обладает аллергенными свойствами и способен вызывать высвобождение гистамина из базофилов и кожные реакции немедленного типа. Белок содержит модулируемые кальцием конформационные IgE-эпитопы, которые становятся доступными для распознавания и активации IgE-антителами только в связанной с кальцием форме (открытая конформация). К полкальцинам относится также аллерген Bet v 4 — минорный аллерген пыльцы березы, IgE-антитела к которому выявляются у 10–20 % чувствительных к пыльце березы людей. Этот аллерген отвечает за перекрестную реакцию с пыльцой тимофеевки луговой, маслины европейской, ольхи черной и служит маркером поливалентной сенсibilизации к растительным аллергенам. Аллерген Bet v 6 (минорный) часто вызывает перекрестные реакции с соей [3, 4, 13].

Обнаружена высокая степень гомологии данных видов белков в пыльце растений, что способствует их высокой кросс-реактивности и определяет наибольшую вероятность возникновения у пациентов респираторных симптомов атопии [3, 13] (см. табл. 1).

#### **Термолabileльные паналлергены растительного происхождения**

Термолabileльные паналлергены быстро разрушаются при нагревании и подвержены гидролизу пищеварительными ферментами желудочно-кишечного тракта. Причем стабильность белковой молекулы к нагреванию у разных видов неодинакова и может сохраняться в первоначальном виде до 30–40 мин [14].

К данным семействам паналлергенов относятся:

- PR10-протеины, гомологичные Bet v 1,
- профилины [1].

**PR10 протеины, гомологичные Bet v 1**, представляют собой подгруппу белков PR (pathogenesis-related-protein group 10), для которых характерна способность связывать широкий спектр липофильных лигандов, что делает их уникальными участниками специализированных биосинтетических путей. Они участвуют в производстве растительных

алкалоидов и фенольных соединений, в том числе флавоноидов, как в качестве общих связывающих белков, так и (в особых случаях) в качестве катализаторов [15].

**Структура и особенности.** Классическая конформационная структура белка пыльцы березы Bet v 1 MM 17 кДа представлена семицепочечным антипараллельным  $\beta$ -листом ( $\beta 1$ – $\beta 7$ ), 2 короткими  $\alpha$ -спиралями ( $\alpha 1$  и  $\alpha 2$ ), соединяющими  $\beta 1$  и  $\beta 2$ , длинной C-концевой  $\alpha$ -спиралью ( $\alpha 3$ ) и богатым глицином мотивом между  $\beta 2$  и  $\beta 3$ . Расположение этих структурных элементов образует большую гидрофобную полость (активный центр), который связывает лиганды, в том числе фитогормоны, флавоноиды и алкалоиды [16].

PR10-протеины, гомологичные Bet v 1 пыльцы деревьев, относятся к отряду *Fagales*. Этот отряд включает 7 различных семейств, из них 2 наиболее часто вызывают аллергию на пыльцу: *Betulaceae*, включая роды *Alnus* (ольха), *Betula* (береза), *Carpinus* (граб), *Corylus* (лещина) и *Ostrya* (хмелевой граб), и *Fagaceae*, включающие роды *Castanea* (каштан), *Castanopsis* (чинквапин), *Fagus* (бук), *Lithocarpus* (таноак) и *Quercus* (дуб).

**Клиническая значимость.** Bet v 1 является мажорным аллергеном пыльцы березы и отвечает за связывание IgE-антител более чем у 95% пациентов с аллергией на данную пыльцу. Аминокислотные последовательности, идентичные PR10-подобным пыльцевым аллергенам, составляют 49–96% [2, 4]. В Московском регионе у 63,1% ( $n = 2546$ ) пациентов с атопией имеется сенсibilизация к пыльце, что, по нашим данным, значительно превышает показатели сенсibilизации к наиболее распространенным эпидермальным (59,1%) и грибковым (33,0%) аллергенам [17]. Высокая степень гомологии в структуре белков пыльцы деревьев часто является причиной длительной персистенции респираторных весенних видов аллергии. Данная проблема вызвана тем, что пики пыления разных видов деревьев не совпадают по времени [4].

PR10 встречаются не только в пыльце деревьев, но и в бобовых, пасленовых, зонтичных, а также в различных фруктах, орехах. Идентичность Bet v 1 и растительных пищевых аллергенов составляет 17–68%. Оральный аллергический синдром в этой группе пациентов проявляется только на сырые продукты [1–4, 18]. Симптомы со стороны ротоглотки (оральный аллергический синдром) после употребления в пищу сырых яблок, лесных орехов, моркови и/или сои, а также симптомы аллергического риноконъюнктивита в сезон цветения березы предполагают наличие IgE-антител к аллергену пыльцы березы Bet v 1. В некоторых случаях при воздействии кофакторов (физическая нагрузка, прием нестероидных противовоспалительных средств, алкоголя) данные пищевые аллергены могут индуцировать развитие кофакторной анафилаксии (см. табл. 1) [4].

По данным В. Bohle, существует также перекрестная реактивность T-клеток между Bet v 1 и родственными

пищевыми аллергенами, она не зависит от перекрестной IgE-реактивности и, вероятно, связана с гомологией некоторых их T-клеточных эпитопов [19].

**Профилины** — семейство высококонсервативных белков с высокой гомологией между родственными организмами, присутствующих во всех эукариотических клетках. Они участвуют в обеспечении динамической неустойчивости и реструктуризации актинового цитоскелета клеток [2, 18, 20].

**Структура и особенности.** Профилин — цитозольный мономерный актинсвязывающий белок с MM 12–15 кДа. Его структура представлена центральным 6-цепочечным антипараллельным  $\beta$ -листом и 2  $\alpha$ -спиралями, расположенными на N- и C-концах. Аллергенные свойства данных белков обнаружены у однодольных и двудольных покрытосеменных растений [4].

**Клиническая значимость.** Профилины являются минорными аллергенами. Результаты исследований показали, что повышенная чувствительность к профилину встречается только у 10–20% пациентов с аллергией на пыльцу и связана с перекрестной реактивностью на широкий спектр пищевых растительных аллергенов. Сенсibilизация к профилину почти всегда связана с сенсibilизацией к другим мажорным пыльцевым аллергенам [19, 20].

Примером профилина является аллерген из пыльцы березы Bet v 2. У пациентов, сенсibilизированных к Bet v 2 или профилинам из пыльцы трав, при употреблении сырых яблок, груш, моркови и сельдерея часто возникают орофарингеальные симптомы, вызванные IgE-опосредованными перекрестными реакциями. Пациенты, сенсibilизированные к аллергенам пыльцы полыни, могут реагировать на профилины, содержащиеся в семействе зонтичных и специях (сельдерея, морковь, семена тмина, петрушка, кориандр, семена аниса и фенхеля) [20]. Клинически выраженные симптомы аллергии на определенные продукты, такие как дыня, арбуз, цитрусовые, банан, ананас, хурма, цукини и помидоры, также являются следствием гиперчувствительности к профилину. Симптомы со стороны ротоглотки после употребления в пищу данных продуктов и симптомы аллергического риноконъюнктивита в сезон пыления трав предполагают наличие IgE-антител к второстепенному аллергену пыльцы (травы) — профилину (например, профилину тимфеевки луговой Phl p 12). У пациентов с данным видом сенсibilизации респираторная аллергия проявляется как в весенний, так и в поздний летний периоды, что связано с возникновением перекрестных реакций на аллергены деревьев и трав, пылящих в разные календарные периоды [1, 4, 20, 21].

Профилины являются термолабильными белками, а содержащие их пищевые продукты после кулинарной обработки не вызывают орального аллергического синдрома [1, 2] (см. табл. 1).

## Животные паналлергены

**Тропомиозины беспозвоночных** участвуют в сократительной активности мышечных клеток.

**Структура и особенности.** Тропомиозины — термостабильные микрофибриллярные протеины с ММ 34–38 кДа. Вторичная структура тропомиозина состоит из 2 перевитых между собой  $\alpha$ -спиралей с высококонсервативными участками, связывающими актиновые филаменты [4, 22]. Аминокислотная последовательность тропомиозина различных беспозвоночных — моллюсков (мидии, устрицы т. д.), ракообразных (креветки, крабы, омары, лангусты), а также клещей домашней пыли и тараканов имеет высокую степень гомологии [1, 2, 4].

**Клиническая значимость.** Согласно данным литературы при обследовании 17 280 лиц в возрасте 20–44 лет, проживающих в 15 странах, аллергические реакции, связанные с употреблением в пищу морепродуктов, вызваны в 2,3% случаев креветками, 2,3% — устрицами [23]. В подобных исследованиях, проведенных в США, выявили аллергию на морепродукты у 2,2% обследованных. Аллергические реакции в ответ на употребление моллюсков встречаются чаще у взрослых, чем у детей (2,8% и 0,6% соответственно). Результаты исследования частоты встречаемости аллергии на морепродукты показали, что самый высокий процент аллергических реакций вызывает потребление креветок и крабов, меньший процент — омаров, моллюсков, устриц и мидий [24]. В Московском регионе сенсibilизация к морепродуктам выявлена у 9,5% ( $n = 253$ ) обследованных детей с IgE-опосредованной пищевой аллергией [25].

Основной причиной аллергических реакций при употреблении в пищу морепродуктов является тропомиозин — мажорный аллерген ракообразных [14, 22, 26, 27]. Данный белок ответствен за более чем 80% случаев аллергических реакций на креветки [27]. Хотя аллергические реакции на пищевые продукты из этих беспозвоночных, по приведенным данным, встречаются нечасто, они отличаются высокой интенсивностью аллергических симптомов (вплоть до анафилаксии). Развитие перекрестных аллергических реакций на клещей домашней пыли и тараканов при сенсibilизации к тропомиозину может вызывать круглогодичную бронхальную астму [4].

Возможны также перекрестные аллергические реакции при глистной инвазии. При исследовании 313 жителей тропического города в Колумбии выявлено, что инвазия аскаридами вызывала сенсibilизацию к тропомиозинам аскариды, гомологичным тропомиозинам домашних пылевых клещей, и часто коррелировала с клиническими показателями тяжести астмы [28].

Примечательно, что, в отличие от тропомиозина беспозвоночных, тропомиозин позвоночных, входящий прежде всего в ткань сердечной мышцы, аллергических реакций не вызывает [4]. В исследовании С.Р. Mikita и соавт.

проанализированы возможные фрагменты, которые могут образоваться в результате переваривания тропомиозин различных видов животных, и обнаружено, что более крупные фрагменты тропомиозин краба, креветки, таракана и особенно пылевого клеща, вероятно, мало подвержены ферментативному перевариванию в желудке по сравнению с фрагментами данного белка у курицы, коровы, кролика или рыбы. Эти более крупные пептидные фрагменты могут попасть в кровоток и принять трехмерную структуру, стабильность которой приближается к стабильности неповрежденной молекулы. Соответственно, как полагают авторы, можно ожидать, что антитела, в том числе IgE, будут вырабатываться непосредственно против таких стабильных участков третичной структуры. Это является правдоподобным объяснением способности тропомиозин беспозвоночных вызывать реакции гиперчувствительности [29] (см. табл. 1).

**Парвальбумины** рыб находятся в быстро сокращающихся мышцах позвоночных и связывают кальций во время мышечной релаксации [30].

**Структура и особенности.** Парвальбумины — термостабильные небольшие цитозольные молекулы с ММ 10–12 кДа, состоящие из 107–110 аминокислот. При обработке попадают в воздух. Они относятся к семейству кальций-связывающих белков EF-hand, характеризующихся консервативной структурой. Эти белки имеют общие консервативные домены, состоящие из  $\text{Ca}^{2+}$ -связывающих пептидных петель, с обеих сторон которых расположены  $\alpha$ -спирали. Парвальбумины рыб имеют 3 мотива EF-hand (AB, CD, EF), но только CD и EF являются функциональными и связывают двухвалентные катионы ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ) [4, 30].

Парвальбумин — мажорный аллерген рыбы, обладающий высокой перекрестной реактивностью между различными видами рыб и вызывающий IgE-опосредованный иммунный ответ у большинства пациентов. Большинство рыбных парвальбуминов относятся к  $\beta$ -подтипу [4, 14, 30].

Есть предположение, что вероятность развития перекрестных реакций у некоторых пациентов зависит от наличия видоспецифических эпитопов парвальбумина, и у этих пациентов клинические симптомы проявляются только при употреблении в пищу определенных видов рыб. Более того, в одной и той же рыбе присутствуют разные изоформы парвальбумина, которые могут проявлять различную аллергенность. Это было показано для гомологов лосося, где только 1 изоформа парвальбумина ( $\beta 1$ ) была идентифицирована как аллерген у конкретных пациентов. Показано, что парвальбумины рыб и амфибий имеют почти стопроцентную гомологию [4, 30–32]. В мышцах хрящевых рыб экспрессируются  $\alpha$ -парвальбумины, в то время как  $\beta$ -гомолог обнаруживается в мышечной ткани костистых рыб. До сих пор только рыбные  $\beta$ -парвальбумины были признаны важными пищевыми аллергенами,

вызывающими первичную сенсибилизацию. Несмотря на общее структурное сходство с  $\beta$ -гомологичными белками,  $\alpha$ -парвальбумины обычно считаются неаллергенными белками и имеют ограниченную кросс-реактивность с  $\beta$ -парвальбуминами [4, 30, 31].

**Клиническая значимость.** Пациенты становятся чувствительными к парвальбуминам при попадании их в желудочно-кишечный тракт во время приема пищи, что является основным путем сенсибилизации, в дыхательную систему рыбных аэроаллергенов или при контакте с кожей. Распространенными клиническими проявлениями являются оральный аллергический синдром, ринит, боль в животе, диарея, крапивница, ангионевротический отек, астма, а в тяжелых случаях — даже опасная для жизни анафилаксия [6, 32]. Аэроаллергены рыбы могут быть важными триггерами атопического дерматита. Существует всего несколько клинических исследований, посвященных минимальным дозам, вызывающим аллергию на рыбу. Небольшого количества рыбы в миллиграммах, по-видимому, достаточно, чтобы вызвать аллергические симптомы у сенсибилизированных пациентов [31]. Куриный парвальбумин,  $\alpha$ -изоформа, идентифицирован как аллерген куриного мяса с перекрестной реактивностью с аллергенами рыбы (синдром «рыба-курица»). При данном синдроме отмечается перекрестная реакция с  $\alpha$ -парвальбумином куриного мяса Gal d 8. Интересно, что аллерген Gal d 8 обнаружен в куриных крыльях и ножках, как в сырых, так и термически обработанных, и не выявлялся в куриных грудках [30, 32] (см. табл. 1).

**Сывороточные альбумины** — многофункциональные белки. Физиологические функции альбумина включают транспортировку лигандов, поддержание осмотического давления плазмы, антиоксидантное действие и удаление свободных радикалов; также он используется в диагностике и лечении заболеваний [33].

**Структура и особенности.** Сывороточные альбумины — глобулярные, водорастворимые, негликозилированные белки. Молекула сывороточного альбумина с ММ около 65 кДа состоит из 1 аминокислотной цепочки. Альбумин человека (585 аминокислот) и бычий альбумин (582 аминокислоты) содержат 17 дисульфидных связей и 1 свободную тиоловую группу, которая определяет участие альбумина в окислительно-восстановительных реакциях [4, 33].

Общая структура альбумина характеризуется наличием нескольких длинных  $\alpha$ -спиралей, которые позволяют ему сохранять относительно стабильную форму. Сывороточные альбумины высококонсервативны как по аминокислотной последовательности, так и по трехмерной структуре. Они восприимчивы к действию высоких температур и пищеварительных ферментов [2, 32, 34].

**Клиническая значимость.** Данные белки являются аллергенами молока, мяса, препаратов крови, а также перхоти и слюны млекопитающих. Сенсибилизация к одному из

сывороточных альбуминов может приводить к образованию перекрестно-реагирующих IgE-антител у лиц с аллергией. Чувствительность к сывороточному альбумину в детском возрасте обычно начинается с пищевой аллергии на коровье молоко, где сывороточный альбумин является одним из аллергокомпонентов. Возможно и первичное воздействие данного белка как аэроаллергена, что впоследствии может привести к перекрестной сенсибилизации к сывороточным альбуминам, присутствующим в разных видах пищи [2, 4, 14, 33].

Сывороточные альбумины — минорные аллергены. Перекрестная реактивность IgE-антител между сывороточными альбуминами млекопитающих хорошо изучена. Все пары с высокой степенью идентичности последовательностей (>70%) потенциально являются перекрестно-реактивными. Высказано предположение, что при уровне <50% перекрестная реактивность встречается редко [4, 32, 33]. Результаты исследований показали более высокую степень гомологии и перекрестной реактивности специфических IgE-антител между альбуминами кошки (Fel d 2), собаки (Can f 3) и лошади (Equ d 3); кошки (Fel d 2) и свинины (Sus s 1). В то же время продемонстрирована наиболее низкая перекрестная IgE-реактивность между собачьим, бычьим, крысиным и куриным альбуминами [32, 33, 35]. Наиболее часто встречаются внутривидовые перекрестные реакции между коровьим молоком и мясом говядины (Bos d 6), альфа-ливетином куриного яйца и мясом цыпленка (Gal d 5) [33, 36] (см. табл. 1).

Низкие аллергенные свойства сывороточного альбумина как респираторного аллергена компенсируются его высокой аллергенной активностью в пищевых продуктах, вызывающих как легкие, так и тяжелые клинические симптомы [4, 32]. Bos d 6 является компонентом фракции молочной сыворотки и составляет около 1% общего содержания белка в молоке. В группе из 156 детей, проживающих в Москве и Московской области и имеющих специфические IgE-антитела на молоко, в 23,1% случаев выявляли аллерген-специфические IgE-антитела к Bos d 6. Описана перекрестная реактивность на данный белок между молоком разных млекопитающих [25].

**Липокалины** представляют собой гидрофобные транспортные молекулы (переносчики липидов, стероидов, феромонов, ретиноидов и т. д.) [30, 37].

**Структура и особенности.** Липокалины — небольшие белки с ММ 16–25 кДа. Они имеют ограниченные области гомологии аминокислотных последовательностей и общую архитектуру третичной структуры. Это восьмицепочечные антипараллельные  $\beta$ -листы с повторяющейся топологией, охватывающие внутренний участок связывания лиганда. Обычно аминокислотное сходство между липокалинами составляет 20–30%, но в некоторых случаях между отдельными видами оно может быть значительно выше [4].

*Клиническая значимость.* Липокалины обладают невысокой перекрестной активностью и являются мажорными аллергенами, несмотря на то что не обладают какими-либо известными физико-химическими, функциональными или структурными свойствами, которые могли бы объяснить их аллергенность. Отличительной особенностью аллергенных свойств липокалинов млекопитающих является их слабая способность стимулировать клеточный иммунитет человека или мыши. Тем не менее они вызывают выработку IgE-антител у значительной части людей с атопией, контактирующих с источником аллергена [4, 37].

Все липокалины млекопитающих являются респираторными аллергенами, за исключением β-лактоглобулинов (например, Bos d 5), которые содержатся в молоке. Поскольку они вырабатываются секреторными железами и содержатся в коже, перхоти, моче, слюне, секрете потовых и сальных желез, то они эффективно рассеиваются и широко присутствуют в помещениях [37, 38]. Аллергия на пушных животных считается фактором риска развития респираторных видов атопии — аллергического ринита и астмы. Полисенсibilизация к нескольким компонентам 1 источника аллергена и/или к компонентам нескольких пушных животных связана с более высоким риском астмы и ринита, а также является предиктором тяжести заболевания [4].

Показано, что единственным пищевым аллергеном липокалинов является β-лактоглобулин — липокалин коровьего молока (Bos d 5). Сенсibilизация Bos d 5 у детей часто развивается в грудном и раннем детском возрасте. Начальные симптомы, возникающие в первые дни и недели жизни ребенка, часто недостаточно специфичны и не имеют характера определенной патологии. К ним относятся такие кожные проявления, как гиперемия кожи, упорные опрелости, мелкопапулезная сыпь. В дальнейшем такие проявления, как ангионевротический отек/крапивница и атопический дерматит, более вероятны у детей с наличием IgE-опосредованной сенсibilизации к белкам коровьего молока. Возможны также проявления в виде орального аллергического синдрома, респираторных реакций (астма или ринит после употребления в пищу молока или попадания его в дыхательные пути), гастроинтестинальных симптомов (аллергический и алиментарный гастроэнтерит и колит). Интересно, что крапивница/ангиоотек на белки коровьего молока могут возникать как при приеме продукта внутрь, так и при контакте с пищевым продуктом, содержащим белки коровьего молока [39].

Информации о перекрестной реактивности между β-лактоглобулином коровьего молока и липокалинами перхоти животных нет. В связи с этим появившиеся рекомендации по элиминации коровьего молока у больных с сенсibilизацией к липокалинам перхоти пушных животных не аргументированы [30].

В литературе описаны клинические случаи развития анафилаксии, вызванной укусами кошек, лошадей, хомяков и лабораторных животных. В части работ не указано, какой белок был триггером аллергической реакции [4, 40, 41]. Однако G. Guida и соавт. наблюдали случай анафилаксии после укуса лошади у пациента с повышенной чувствительностью к липокалинам [42]. Также описан случай анафилаксии, развившейся на лабораторную мышь, но в этом случае у пациента выявлена косенсibilизация к различным аллергокомпонентам мыши, в том числе и к липокалинам [43] (см. табл. 1).

## Заключение

Диагностика IgE-опосредованных аллергических заболеваний является актуальной проблемой практической медицины. Несмотря на успешное развитие молекулярной алергодиагностики, поиск наиболее вероятных причинно-значимых аллергенов остается непростой задачей. При наличии широкого спектра методов алергодиагностики в схеме обследования пациента 1-е место занимает тщательный сбор алергоанамнеза, на основе которого осуществляется предположительное выявление искомого аллергена, что в дальнейшем подтверждается или опровергается методами специфической клинической алергодиагностики с использованием кожных тестов и/или лабораторного определения специфических IgE-антител [44].

Паналлергены ответственны за многие перекрестные реакции даже между неродственными источниками аллергенов. Знание физико-химических и иммунобиологических свойств паналлергенов и вызванных ими основных клинических проявлений позволяет по данным алергоанамнеза выявить возможные кросс-реактивные реакции у пациента. Наиболее важными признаками можно считать возникновение пищевой и респираторной аллергии у пациента; проявление у него как весенних, так и ранних летних или летне-осенних видов респираторной аллергии; возникновение орального аллергического синдрома на пищевые продукты; ухудшение состояния после физической нагрузки, приема алкоголя или лекарственных средств до или после употребления причинно-значимого продукта. Кроме того, опрос пациента позволяет выявить, какие продукты вызывают у него оральный аллергический синдром и сохраняется ли он на термически обработанные фрукты, овощи или орехи. Правильно собранный алергоанамнез поможет прицельно наметить спектр дальнейшей диагностики на те или иные паналлергены.

Помимо сбора анамнеза, не менее важными мероприятиями являются диагностическая элиминационная диета, ведение пищевого дневника, использование в диагностике календаря пыления деревьев и трав (для своего региона), постановка кожных и провокационных проб.

Последние редко проводят, так как они связаны с высоким риском для пациента, к тому же провокационные тесты на территории России не сертифицированы [1, 44, 45]. Существует широкий спектр лабораторных методов диагностики IgE-опосредованных заболеваний. Это может быть как скрининговое, так и масштабное (аллергочип) обследование по обнаружению специфических IgE-антител. Молекулярные методы аллергодиагностики позволяют выявить сенсibilизацию к отдельным аллергокомпонентам, что особенно важно при формировании представления о спектре сенсibilизации пациента и возможных вариантах его перекрестной реактивности к аллергенам. Весь комплекс мероприятий позволяет установить диагноз аллергического заболевания и выявить сенсibilизацию к аллергенам [2, 44, 46].

Видимая на первый взгляд при аллергологическом обследовании полисенсibilизация на самом деле может являться аллергией только на 1 тип белка (паналлерген). Следовательно, при выявлении множественной кросс-реактивности существует возможность проведения аллерген-специфической иммунотерапии всего лишь 1 аллергеном или даже 1 аллергокомпонентом. В недавнем исследовании F. Gomez и соавт. проводили сублингвальную иммунотерапию рекомбинантным белком Pru p 3 пациентам с аллергией на данный компонент персика и кросс-реактивностью к гомологичному белку арахиса Ara h 9 ( $n = 36$ ). Через 1 год данное лечение вызвало десенсibilизацию со значительным снижением уровня sIg, параллельным повышением уровня sIgG4, sIgG4/sIgE и уменьшением реактивности базофилов как к Pru p 3, так и к Ara h 9 [47].

### ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ / ADDITIONAL INFORMATION

**Источник финансирования.** Авторы заявляют об отсутствии внешнего финансирования при проведении исследования и подготовке публикации.

**Конфликт интересов.** Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с проведенным исследованием и публикацией настоящей статьи.

**Вклад авторов.** Все авторы подтверждают соответствие своего авторства международным критериям ICMJE (все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, проведение исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией). Наибольший вклад распределен следующим образом: С.Ю. Петрова — сбор и анализ источников литературы, написание и редактирование текста статьи; С.В. Хлгатын — анализ источников литературы, написание и редактирование текста статьи; В.М. Бержец, О.Ю. Емельянова — редактирование

статьи; Л.В. Нестеренко — сбор источников литературы; Г.И. Алаторцева — анализ источников литературы.

**Funding source.** This study was not supported by any external sources of funding.

**Competing interests.** The authors declare that they have no competing interests.

**Authors' contribution.** All authors made a substantial contribution to the conception of the work, acquisition, analysis, interpretation of data for the work, drafting and revising the work, final approval of the version to be published and agree to be accountable for all aspects of the work. S.Yu. Petrova — collection and analysis of literary sources, writing and editing the article; S.V. Khlgatyan — analysis of literary sources, writing and editing the article; V.M. Berzhets, O.Yu. Emelyanova — editing an article; L.N. Nesterenko — collection of literary sources; G.I. Alatorseva — analysis of literary sources.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Альбанова В.И., Петрова С.Ю. Атопический дерматит: учебное пособие для врачей. М.: ГЭОТАР-Медиа, 2022. doi: 10.33029/9704-6852-4-ATD-2022-1-168
2. Альбанова В.И., Петрова С.Ю. Основы патогенеза и аллергодиагностики атопического дерматита: учебно-методическое пособие. М.: МОНИКИ, 2023.
3. Hauser M., Roulias A., Ferreira F., Egger M. Panallergens and their impact on the allergic patient // *Allergy Asthma Clin Immunol*. 2010. Vol. 6, N 1. P. 1. doi: 10.1186/1710-1492-6-1
4. Dramburg S., Hilger C., Santos A.F., et al. EAACI molecular allergology user's guide 2.0 // *Pediatr Allergy Immunol*. 2023. Vol. 34, N 28. P. e13854. doi: 10.1111/pai.13854
5. Shewry P.R., Napier J.A., Tatham A.S. Seed storage proteins: structures and biosynthesis // *Plant Cell*. 1995. Vol. 7, N 7. P. 945–956. doi: 10.1105/tpc.7.7.945
6. Cianferoni A., Muraro A. Food-induced anaphylaxis // *Immunol Allergy Clin North Am*. 2012. Vol. 32, N 1. P. 165–195. doi: 10.1016/j.jiac.2011.10.002
7. Scheurer S., Schülke S. Interaction of non-specific lipid-transfer proteins with plant-derived lipids and its impact on allergic sensitization // *Front. Immunol*. 2018. Vol. 9. P. 1389. doi: 10.3389/fimmu.2018.01389
8. Мокронослова М.А., Коровкина Е.С. Многоликая аллергия на персик: сенсibilизация к молекулярным компонентам аллергенов из *Prunus persica* // *Медицинская иммунология*. 2013. Т. 15, № 3. С. 215–226. doi: 10.15789/1563-0625-2013-3-215-226
9. Skypala I.J., Asero R., Barber D., et al. Non-specific lipid-transfer proteins: allergen structure and function, cross-reactivity, sensitization, and epidemiology // *Clin Transl Allergy*. 2021. Vol. 11, N 3. P. 12010. doi: 10.1002/ctt2.12010
10. Romano A., Scala E., Rumi G., et al. Lipid transfer proteins: the most frequent sensitizer in Italian subjects with food-dependent exercise-induced anaphylaxis. *Clin Exp Allergy* // 2012. Vol. 42, N 11. P. 1643–1653. doi: 10.1111/cea.12011

11. Sánchez-Monge R., Lombardero M., García-Sellés F.J., et al. Lipid-transfer proteins are relevant allergens in fruit allergy // *J Allergy Clin Immunol*. 1999. Vol. 103, N 3. Pt 1. P. 514–519. doi: 10.1016/s0091-6749(99)70479-3
12. Anagnostou A. Lipid transfer protein allergy: an emerging allergy and a diagnostic challenge // *Ann Allergy Asthma Immunol*. 2023. Vol. 130, N 4. P. 413–414. doi: 10.1016/j.anai.2023.01.033
13. Raith M., Zach D., Sonnleitner L., et al. Rational design of a hypoallergenic Phl p 7 variant for immunotherapy of polcalcin-sensitized patients // *Sci Rep*. 2019. Vol. 9, N 1. P. 7802. doi: 10.1038/s41598-019-44208-0
14. Food Allergy. Eds.: J.M. James, W. Burks, Ph. Eigenmann. Elsevier Inc, 2012. doi: 10.1016/C2009-0-42473-5
15. Morris J.S., Caldo K.M.P., Liang S., Facchini P.J. PR10/Bet v 1-like proteins as novel contributors to plant biochemical diversity // *Chembiochem*. 2021. Vol. 22, N 2. P. 264–287. doi: 10.1002/cbic.202000354
16. Koffler S., Asam C., Eckhard U., et al. Crystallographically mapped ligand binding differs in high and low IgE binding isoforms of birch pollen allergen Bet v 1 // *J Mol Biol*. 2012. Vol. 422, N 1. P. 109–123. doi: 10.1016/j.jmb.2012.05.016
17. Петрова С.Ю., Хлгтян С.В., Бержец В.М. Значение клещей домашней пыли в развитии атопии // *Российский аллергологический журнал*. 2018. Т. 15, № 3. С. 30–34. doi: 10.36691/RJA148
18. Агафонова Е.В., Решетникова И.Д., Фассахов Р.С. Компонентная аллергодиагностика: возможности прогнозирования эффективности аллерген-специфической иммунотерапии // *Практическая медицина*. 2016. Т. 95, № 3. С. 7–12.
19. Bohle B. The impact of pollen-related food allergens on pollen allergy // *Allergy*. 2007. Vol. 62, N 1. P. 3–10. doi: 10.1111/j.1398-9995.2006.01258.x
20. Valenta R., Duchene M., Pettenburger K., et al. Identification of profilin as a novel pollen allergen; IgE autoreactivity in sensitized individuals // *Science*. 1991. Vol. 253, N 5019. P. 557–560. doi: 10.1126/science.1857985
21. Van Ree R., Fernández-Rivas M., Cuevas M., et al. Pollen-related allergy to peach and apple: an important role for profilin // *J Allergy Clin Immunol*. 1995. Vol. 95, N 3. P. 726–734. doi: 10.1016/S0091-6749(95)70178-8
22. Бержец В.М., Алаторцева Г.И., Нестеренко Л.Н., и др. Белковый профиль и аллергенные свойства тропомиозина и других аллергокомпонентов в составе водно-солевого экстракта гигантской тигровой креветки (*Penaeus monodon*) // *Биоорганическая химия*. 2023. Т. 49, № 5. С. 502–508. doi: 10.31857/S0132342323050111
23. Woods R.K., Abramson M., Bailey M., Walters E.H. International prevalences of reported food allergies and intolerances. Comparisons arising from the European Community Respiratory Health Survey (ECRHS) 1991–1994 // *Eur J Clin Nutr*. 2001. Vol. 55, N 4. P. 298–304. doi: 10.1038/sj.ejcn.1601159
24. Sicherer S.H., Munoz-Furlong A., Sampson H.A. Prevalence of seafood allergy in the United States determined by a random telephone survey // *J Allergy Clin Immunol*. 2004. Vol. 114, N 1. P. 159–165. doi: 10.1016/j.jaci.2004.04.018
25. Петрова С.Ю., Хлгтян С.В., Бержец В.М., и др. Значение белков коровьего молока в развитии IgE-опосредованной пищевой аллергии у детей // *Российский аллергологический журнал*. 2019. Т. 16, № 2. С. 38–44. doi: 10.36691/RAJ.2019.2.53310
26. Faisal D., Vasiljevic T., Osaana D. Effects of selected processing treatments on antigenicity of banana prawn (*Fenneropenaeus merguensis*) tropomyosin // *Food Sci Technol Int*. 2019. Vol. 54, N 1. P. 183–193. doi: 10.1111/ijfs.13922
27. Leung N.Y., Wai C.Y., Shu S., et al. Current immunological and molecular biological perspectives on seafood allergy: a comprehensive review // *Clin Rev Allergy Immunol*. 2014. Vol. 46, N 3. P. 180–197. doi: 10.1007/s12016-012-8336-9.28
28. Buendía E., Zakzuk J., Mercado D., et al. The IgE response to *Ascaris* molecular components is associated with clinical indicators of asthma severity // *World Allergy Organ J*. 2015. Vol. 8, N 1. P. 8. doi: 10.1186/s40413-015-0058-z
29. Mikita C.P., Padlan E.A. Why is there a greater incidence of allergy to the tropomyosin of certain animals than to that of others? // *Med Hypotheses*. 2007. Vol. 69, N 5. P. 1070–1073. doi: 10.1016/j.mehy.2006.12.060
30. Пампура А.Н., Варламов Е.Е. Клиническое значение пищевых аллергенов животного происхождения // *Российский аллергологический журнал*. 2019. Т. 16, № 1. С. 29–35. doi: 10.36691/RJA18
31. Kuehn A., Swoboda I., Arumugam K., et al. Fish allergens at a glance: variable allergenicity of parvalbumins, the major fish allergens // *Front Immunol*. 2014. Vol. 5. P. 179. doi: 10.3389/fimmu.2014.00179
32. Hilger C., van Hage M., Kuehn A. Diagnosis of allergy to mammals and fish: cross-reactive vs. specific markers // *Curr Allergy Asthma Rep*. 2017. Vol. 17, N 9. P. 64. doi: 10.1007/s11882-017-0732-z
33. Liu Z., Trifonova D., Tulaeva I., et al. Albumins represent highly cross-reactive animal allergens // *Front Immunol*. 2023. Vol. 14. P. 1241518. doi: 10.3389/fimmu.2023.1241518
34. Туркина А.А., Маевская М.В., Жаркова М.С., Ивашкин В.Т. Особенности строения и функций сывороточного альбумина в норме и у пациентов с циррозом печени // *Российский журнал гастроэнтерологии, гепатологии, колопроктологии*. 2022. Т. 32, № 4. С. 7–16. doi: 10.22416/1382-4376-2022-32-4-7-16
35. Мокронослова М.А., Басс Е.А., Арефьева И.А., Желтикова Т.М. Перекрестная реактивность между животными и пищевыми аллергенами у детей с атопией // *Иммунология*. 2015. Т. 36, № 4. С. 231–233.
36. Szépfalusi Z., Ebner C., Pandjaitan R., et al. Egg yolk alpha-livetin (chicken serum albumin) is a cross-reactive allergen in the bird-egg syndrome // *J Allergy Clin Immunol*. 1994. Vol. 93, N 5. P. 932–942. doi: 10.1016/0091-6749(94)90388-3
37. Virtanen T., Kinnunen T., Rytönen-Nissinen M. Mammalian lipocalin allergens — insights into their enigmatic allergenicity // *Clin Exp Allergy*. 2012. Vol. 42, N 4. P. 494–504. doi: 10.1111/j.1365-2222.2011.03903.x
38. Saarelainen S., Rytönen-Nissinen M., Rouvinen J., et al. Animal-derived lipocalin allergens exhibit immunoglobulin E cross-reactivity // *Clin Exp Allergy*. 2008. Vol. 38, N 2. P. 374–381. doi: 10.1111/j.1365-2222.2007.02895.x
39. Союз педиатров России. Клинические рекомендации. Аллергия к белкам коровьего молока у детей. 2018. Режим доступа: [https://www.pediatr-russia.ru/information/klin-rek/deystvuyushchie-klinicheskie-rekomendatsii/АБКМ%20детей%20СП:V1%20\\_2019%20испр.pdf](https://www.pediatr-russia.ru/information/klin-rek/deystvuyushchie-klinicheskie-rekomendatsii/АБКМ%20детей%20СП:V1%20_2019%20испр.pdf). Дата обращения: 28.02.2025.
40. Maeda Y., Akiyama K. Anaphylaxis after a cat bite // *Allergol Int*. 2012. Vol. 61, N 3. P. 511–512. doi: 10.2332/allergolint.11-LE-0415
41. Pecquet C. New pets and allergies // *Eur J Dermatol*. 2012. Vol. 22, N 1. P. 14–22. doi: 10.1684/ejd.2011.1555
42. Guida G., Nebiolo F., Heffler E., et al. Anaphylaxis after a horse bite // *Allergy*. 2005. Vol. 60, N 8. P. 1088–1089. doi: 10.1111/j.1398-9995.2005.00837.x
43. Leng K., Wiedemeyer K., Hartmann M. Anaphylaxis after mouse bite // *J Dtsch Dermatol Ges*. 2008. Vol. 6, N 9. P. 741–743. doi: 10.1111/j.1610-0387.2008.06616.x
44. Макарова С.Г., Намазова-Баранова Л.С., Вишнева Е.А., и др. Актуальные вопросы диагностики пищевой аллергии в педиатрической практике // *Вестник РАМН*. 2015. № 1. P. 41–46.
45. Альбанова В.И., Пампура А.Н. Атопический дерматит. 2-е изд. М.: ГЭОТАР-Медиа, 2020. doi: 10.33029/9704-5640-8-АТД-2020-1-144
46. Гамбаров С.С., Кцюян Л.А. Реалии современной аллергологии, аллергодиагностики // *Трудный пациент*. 2019. Т. 17, № 3. С. 47–49. doi: 10.24411/2074-1995-10020
47. Gomez F., Bogas G., Gonzalez M., et al. The clinical and immunological effects of Pru p 3 sublingual immunotherapy on peach and peanut allergy in patients with systemic reactions // *Clin Exp Allergy*. 2017. Vol. 47, N 3. P. 339–350. doi: 10.1111/cea.12901

## REFERENCES

1. Albanova VI, Petrova SYu. *Atopic dermatitis*. Moscow: GEOTAR-Media; 2022. (In Russ.). doi: 10.33029/9704-6852-4-АТД-2022-1-168
2. Albanova VI, Petrova SYu. *Fundamentals of the pathogenesis and allergodiagnosics of atopic dermatitis: an educational and methodological guide*. Moscow: MONICI, 2023. (In Russ.).
3. Hauser M, Roulias A, Ferreira F, Egger M. Panallergens and their impact on the allergic patient. *Allergy Asthma Clin Immunol*. 2010;6(1):1. doi: 10.1186/1710-1492-6-1
4. Dramburg S, Hilger C, Santos AF, et al. EAACI molecular allergology user's guide 2.0. *Pediatr Allergy Immunol*. 2023;34(28):e13854. doi: 10.1111/pai.13854

5. Shewry PR, Napier JA, Tatham AS. Seed storage proteins: structures and biosynthesis. *Plant Cell*. 1995;7(7):945–956. doi: 10.1105/tpc.7.7.945
6. Cianferoni A, Muraro A. Food-induced anaphylaxis. *Immunol Allergy Clin North Am*. 2012;32(1):165–195. doi: 10.1016/j.jiac.2011.10.002
7. Scheurer S, Schülke S. Interaction of non-specific lipid-transfer proteins with plant-derived lipids and its impact on allergic sensitization. *Front Immunol*. 2018;9:1389. doi: 10.3389/fimmu.2018.01389
8. Mokronosova MA, Korovkina ES. Diverse peach allergy: sensitization to molecular components of allergens from *Prunus persica*. *Medical Immunology*. 2013;15(3):215–226. (In Russ.). doi: 10.15789/1563-0625-2013-3-215-226
9. Skypala IJ, Asero R, Barber D, et al. Non-specific lipid-transfer proteins: allergen structure and function, cross-reactivity, sensitization, and epidemiology. *Clin Transl Allergy*. 2021;11(3):12010. doi: 10.1002/ct2.12010
10. Romano A, Scala E, Rumi G, et al. Lipid transfer proteins: the most frequent sensitizer in Italian subjects with food-dependent exercise-induced anaphylaxis. *Clin Exp Allergy*. 2012;42(11):1643–1650. doi: 10.1111/cea.12011
11. Sánchez-Monge R, Lombardero M, García-Sellés FJ, et al. Lipid-transfer proteins are relevant allergens in fruit allergy. *J Allergy Clin Immunol*. 1999;103(3 Pt 1):514–519. doi: 10.1016/s0091-6749(99)70479-3
12. Anagnostou A. Lipid transfer protein allergy: An emerging allergy and a diagnostic challenge. *Ann Allergy Asthma Immunol*. 2023;130(4):413–414. doi: 10.1016/j.anaai.2023.01.033
13. Raith M, Zach D, Sonnleitner L, et al. Rational design of a hypoallergenic Phl p 7 variant for immunotherapy of polcalcin-sensitized patients. *Sci Rep*. 2019;9(1):7802. doi: 10.1038/s41598-019-44208-0
14. *Food Allergy*. Eds.: JM James, W Burks, Ph Eigenmann. Elsevier Inc, 2012. doi: 10.1016/C2009-0-42473-5
15. Morris JS, Caldo KMP, Liang S, Facchini PJ. PR10/Bet v1-like proteins as novel contributors to plant biochemical diversity. *ChemBiochem*. 2021;22(2):264–287. doi: 10.1002/cbic.202000354
16. Kofler S, Asam C, Eckhard U, et al. Crystallographically mapped ligand binding differs in high and low IgE binding isoforms of birch pollen allergen Bet v 1. *J Mol Biol*. 2012;422(1):109–123. doi: 10.1016/j.jmb.2012.05.016
17. Petrova SYu, Khlgatian SV, Berzhets VM. The house dust mites significance in the development of atopy. *Russian Journal of Allergy*. 2018;15(3):30–34. (In Russ.). doi: 10.36691/RJA148
18. Agafonova VA, Reshetnikova ID, Fassakhov RS. Component allergy diagnostics: opportunities for predicting the effectiveness of allergen-specific immunotherapy. *Practical Medicine*. 2016; 95(3):7–12. (In Russ.).
19. Bohle B. The impact of pollen-related food allergens on pollen allergy. *Allergy*. 2007;62(1):3–10. doi: 10.1111/j.1398-9995.2006.01258
20. Valenta R, Duchene M, Pettenburger K, et al. Identification of profilin as a novel pollen allergen; IgE autoreactivity in sensitized individuals. *Science*. 1991;253(5019):557–560. doi: 10.1126/science.1857985
21. Van Ree R, Fernández-Rivas M, Cuevas M, et al. Pollen-related allergy to peach and apple: an important role for profilin. *J Allergy Clin Immunol*. 1995;95(3):726–734. doi: 10.1016/S0091-6749(95)70178-8
22. Berzhets VM, Alatorseva GI, Nesterenko LN, et al. Research of the protein profile and allergenic properties of the tropomyosin and other allergenic components in the composition of water-salt extract of giant tiger shrimp (*Penaeus monodon*). *Russian Journal of Bioorganic Chemistry*. 2023;49(5):502–508. (In Russ.). doi: 10.31857/S0132342323050111
23. Woods RK, Abramson M, Bailey M, Walters EH. International prevalences of reported food allergies and intolerances. Comparisons arising from the European Community Respiratory Health Survey (ECRHS) 1991–1994. *Eur J Clin Nutr*. 2001;55(4):298–304. doi: 10.1038/sj.ejcn.1601159
24. Sicherer SH, Munoz-Furlong A, Sampson HA. Prevalence of seafood allergy in the United States determined by a random telephone survey. *J Allergy Clin Immunol*. 2004;114(1):159–165. doi: 10.1016/j.jaci.2004.04.018
25. Petrova SY, Khlgatian SV, Berzhets VM, et al. The significance of cow's milk proteins in the development of IgE-mediated food allergy among children. *Russian Journal of Allergy*. 2019;16(2):38–44. (In Russ.). doi: 10.36691/RJA1196
26. Faisal D, Vasiljevic T, Osaana D. Effects of selected processing treatments on antigenicity of banana prawn (*Fenneropenaeus merguensis*) tropomyosin. *Food Sci Technol Int*. 2019;54(1):183–193. doi: 10.1111/ijfs.13922
27. Leung NY, Wai CY, Shu S, et al. Current immunological and molecular biological perspectives on seafood allergy: a comprehensive review. *Clin Rev Allergy Immunol*. 2014;46(3):180–197. doi: 10.1007/s12016-012-8336-9
28. Buendía E, Zakzuk J, Mercado D, et al. The IgE response to *Ascaris* molecular components is associated with clinical indicators of asthma severity. *World Allergy Organ J*. 2015;8(1):8. doi: 10.1186/s40413-015-0058-z
29. Mikita CP, Padlan EA. Why is there a greater incidence of allergy to the tropomyosin of certain animals than to that of others? *Med Hypotheses*. 2007;69(5):1070–1073. doi: 10.1016/j.mehy.2006.12.060
30. Pampura AN, Varlamov EE. The clinical significance of food animal allergens. *Russian Journal of Allergy*. 2019;16(1):29–35. (In Russ.). doi: 10.36691/RJA18
31. Kuehn A, Swoboda I, Arumugam K, et al. Fish allergens at a glance: variable allergenicity of parvalbumins, the major fish allergens. *Front Immunol*. 2014;5:179. doi: 10.3389/fimmu.2014.00179
32. Hilger C, van Hage M, Kuehn A. Diagnosis of allergy to mammals and fish: cross-reactive vs. specific markers. *Curr Allergy Asthma Rep*. 2017;17(9):64. doi: 10.1007/s11882-017-0732-z
33. Liu Z, Trifonova D, Tulaeva I, et al. Albumins represent highly cross-reactive animal allergens. *Front Immunol*. 2023;14:1241518. doi: 10.3389/fimmu.2023.1241518
34. Turkina AA, Mayevskaya MV, Zharkova MS, Ivashkin VT. Structure and functions of human serum albumin in normal conditions and in patients with liver cirrhosis. *Russian Journal of Gastroenterology, Hepatology, Coloproctology*. 2022;32(4):7–16. (In Russ.). doi: 10.22416/1382-4376-2022-32-4-7-16
35. Mokronosova MA, Bass EA, Arefyeva IA, Zheltikova TM. Cross-reactivity between food and animal allergens in children with atopy. *Immunologiya*. 2015;36(4):231–233. (In Russ.).
36. Szépfalusi Z, Ebner C, Pandjaitan R, et al. Egg yolk alpha-livetin (chicken serum albumin) is a cross-reactive allergen in the bird-egg syndrome. *J Allergy Clin Immunol*. 1994;93(5):932–942. doi: 10.1016/0091-6749(94)90388-3
37. Virtanen T, Kinnunen T, Rytönen-Nissinen M. Mammalian lipocalin allergens — insights into their enigmatic allergenicity. *Clin Exp Allergy*. 2012;42(4):494–504. doi: 10.1111/j.1365-2222.2011.03903.x
38. Saarelainen S, Rytönen-Nissinen M, Rouvinen J, et al. Animal-derived lipocalin allergens exhibit immunoglobulin E cross-reactivity. *Clin Exp Allergy*. 2008;38(2):374–381. doi: 10.1111/j.1365-2222.2007.02895.x
39. The Union of Pediatricians of Russia. Clinical recommendations. *Allergy to cow's milk proteins in children*. 2018. Available from: [https://www.pediatr-russia.ru/information/klin-rek/deystvuyushchie-klinicheskie-rekomendatsii/ABKM%20детей%20СППv1%20\\_2019%20исрп.pdf](https://www.pediatr-russia.ru/information/klin-rek/deystvuyushchie-klinicheskie-rekomendatsii/ABKM%20детей%20СППv1%20_2019%20исрп.pdf). Accessed: 28.02.2025. (In Russ.).
40. Maeda Y, Akiyama K. Anaphylaxis after a cat bite. *Allergol Int*. 2012;61(3):511–512. doi: 10.2332/allergolint.11-LE-0415
41. Pecquet C. New pets and allergies. *Eur J Dermatol*. 2012;22(1):14–22. doi: 10.1684/ejd.2011.1555
42. Guida G, Nebiolo F, Heffler E, et al. Anaphylaxis after a horse bite. *Allergy*. 2005;60(8):1088–1089. doi: 10.1111/j.1398-9995.2005.00837.x
43. Leng K., Wiedemeyer K., Hartmann M. Anaphylaxis after mouse bite. *J Dtsch Dermatol Ges*. 2008;6(9):741–743. doi: 10.1111/j.1610-0387.2008.06616.x
44. Makarova SG, Namazova-Baranova LS, Vishneva EA, et al. Topical issues of food allergy diagnosis in pediatric practice. *Bulletin of the Russian Academy of Medical Sciences*. 2015;1:41–46. (In Russ.).
45. Albanova VI, Pampura AN. Atopic dermatitis. 2<sup>nd</sup> edn. Moscow: GEOTAR-Media, 2020. (In Russ.). doi: 10.33029/9704-5640-8-АТП-2020-1-144
46. Gambarov SS, Kitsoyan LA. Reality of modern allergology, allergy diagnostics. *Difficult Patient*. 2019;17(3):47–49. (In Russ.). doi: 10.24411/2074-1995-10020
47. Gomez F, Bogas G, Gonzalez M, et al. The clinical and immunological effects of Pru p 3 sublingual immunotherapy on peach and peanut allergy in patients with systemic reactions. *Clin Exp Allergy*. 2017;47(3):339–350. doi: 10.1111/cea.12901

**Об авторах / Authors' info**

\* **Петрова Станислава Юрьевна**, канд. мед. наук;

\* **Stanislava Yu. Petrova**, Cand. Sci. (Medicine);

адрес: Россия, 105064, Москва, Малый Казенный переулок, д. 5а;

address: 5a Maly Kazenny pereulok, 105064, Moscow, Russia;

ORCID: 0000-0003-3034-0148; eLibrary SPIN: 7268-6944; e-mail: petrovastanislava@yandex.ru

**Хлгатян Светлана Вагинаковна**, д-р биол. наук;

**Svetlana V. Khlgatyan**, Dr. Sci. (Biology);

ORCID: 0000-0001-8354-7682; eLibrary SPIN: 1476-4605; e-mail: svetkh@gmail.com

**Бержец Валентина Михайловна**, д-р биол. наук, профессор;

**Valentina M. Berzhets**, Dr. Sci. (Biology), Professor;

ORCID: 0000-0001-5055-7593; eLibrary SPIN: 9097-0947; e-mail: laball@yandex.ru

**Нестеренко Любовь Николаевна**, канд. хим. наук;

**Lyubov N. Nesterenko**, Cand. Sci. (Chemistry);

ORCID: 0000-0002-3825-3906; eLibrary SPIN: 6819-7980; e-mail: lnesterenko3001@gmail.com

**Алаторцева Галина Ивановна**, канд. биол. наук;

**Galina I. Alatorseva**, Cand. Sci. (Biology);

ORCID: 0000-0001-9887-4061; eLibrary SPIN: 8911-3000; e-mail: alatorseva@gmail.com

**Емельянова Ольга Юрьевна**, канд. биол. наук;

**Olga Yu. Emelyanova**, Cand. Sci. (Biology);

ORCID: 0000-0002-8071-5385; eLibrary SPIN: 1721-6502; e-mail: laball21@yandex.ru

---

\* Автор, ответственный за переписку

\* Corresponding author