

DOI: <https://doi.org/10.36691/RJA1558>

# Соя: аллергенные свойства белков и IgE-перекрёстные реакции

**В.Б. Гервазиева<sup>1</sup>, П.В. Самойликов<sup>1</sup>, Е.М. Зайцев<sup>1</sup>, А.С. Быков<sup>2</sup>**<sup>1</sup> Научно-исследовательский институт вакцин и сывороток имени И.И. Мечникова, Москва, Российская Федерация<sup>2</sup> Первый Московский государственный медицинский университет имени И.М. Сеченова (Сеченовский Университет), Москва, Российская Федерация

## АННОТАЦИЯ

Начиная с прошлого века в пищевой промышленности европейских стран активно стали использовать белки соевых бобов в качестве пищевых добавок, а также для производства продуктов питания со 100% заменой молочных и животных белков на соевые.

В России соя является относительно новой аграрной культурой, которую начали недавно применять для производства продуктов питания. Между тем известно, что некоторые белки соевых семян обладают выраженными аллергенными свойствами. Всемирная организация здравоохранения относит 8 белков сои (Gly m 1–Gly m 8) к аллергенам, способным вызвать клинически значимую IgE-обусловленную сенсibilизацию у больных аллергическими заболеваниями. При этом большая часть этих аллергенов за последние 15 лет включена в номенклатуру Всемирной организации здравоохранения. Кроме того, имеются научные данные о наличии других аллергенов соевых семян, которые способны связываться со специфическими IgE. Показано также, что некоторые аллергены сои обладают гомологией в аминокислотной последовательности и трёхмерным сходством с белками других растений и животных. В связи с этим актуальными становятся вопросы IgE-перекрёстной реактивности.

Таким образом, целью настоящего обзора является анализ и обобщение научных данных о химической структуре, свойствах, аллергенной активности белков сои и соевых бобов (семена сои), их перекрёстных реакциях с белками животного и растительного происхождения.

**Ключевые слова:** соя; аллергены; IgE-перекрёстные реакции; трансгенная соя.

## Как цитировать

Гервазиева В.Б., Самойликов П.В., Зайцев Е.М., Быков А.С. Соя: аллергенные свойства белков и IgE-перекрёстные реакции // *Российский аллергологический журнал*. 2022. Т. 19, № 3. С. 367–377. DOI: <https://doi.org/10.36691/RJA1558>

DOI: <https://doi.org/10.36691/RJA1558>

## Soy: allergenic properties of proteins and IgE cross-reactions

Valentina B. Gervazieva<sup>1</sup>, Pavel V. Samoylikov<sup>1</sup>, Evgeny M. Zaitsev<sup>1</sup>, Anatoly S. Bykov<sup>2</sup>

<sup>1</sup> I. Mechnikov Research Institute of Vaccines and Sera, Moscow, Russian Federation

<sup>2</sup> The First Sechenov Moscow State Medical University, Moscow, Russian Federation

### ABSTRACT

Since the last century, European countries began to actively use soybean seeds as food additives or for food production with 100% milk and animal proteins replaced with soy.

In Russia, soy is a relatively new agricultural crop, which recently began to be used in food production. Meanwhile, some proteins of soybeans have pronounced allergenic properties. The World Health Organization classified eight soy proteins (Gly m 1–Gly m 8) as allergens capable of causing clinically significant immunoglobulin (Ig)E-mediated sensitization in patients with allergic diseases. Moreover, most of these allergens were included in the World Health Organization nomenclature over the past 15 years. Additionally, the presence of other soybean allergens that can bind to sIgE has scientific evidence. Moreover, some soy allergens have homology in amino acid sequence and three-dimensional similarity to proteins of other plants and animals. Therefore, questions of IgE-cross-reactivity are becoming relevant.

Thus, this review aimed to analyze and summarize scientific data on the chemical structure, properties, and allergenic activity of soy and soybean proteins (soybean seeds) and their cross-reactions with proteins of animal and plant origin.

**Keywords:** soy, allergens; IgE cross-reactions; transgenic soy.

### To cite this article

Gervazieva VB, Samoylikov PV, Zaitsev EM, Bykov AS. Soy: allergenic properties of proteins and IgE cross-reactions. *Russian Journal of Allergy*. 2022;19(3):367–377. DOI: <https://doi.org/10.36691/RJA1558>

## ВВЕДЕНИЕ

Соя — распространённое культурное растение семейства бобовых, широко возделываемое в Азии, Южной Европе, Северной и Южной Америке, Центральной и Южной Африке, а также в Австралии. В пищевой промышленности, как правило, используется соя вида *Glycine max* (лат., соя культурная). Она обладает рядом полезных свойств, которые сделали её популярной в аграрной промышленности. Белки, входящие в состав семян сои, являются наиболее полноценными по аминокислотному составу среди белков растительного происхождения и могут в определённой степени служить альтернативой животным белкам. В настоящее время увеличивается тенденция к производству продуктов питания со 100% заменой молочных и животных белков на соевые. Последние используются для сбалансированности белкового питания и входят в состав традиционных молочных, мясных и хлебобулочных изделий [1].

В последнее время накопилось достаточно данных, указывающих на распространённость пищевой аллергии к соевым белкам у лиц с atopическим генотипом. Соя входит в так называемую большую восьмёрку продуктов питания, вызывающих в 90% случаев аллергические реакции [2]. Раньше пищевая аллергия к сое была описана в основном у детей раннего возраста, перераставших её к 2 годам жизни при соблюдении элиминационной диеты [3]. В связи с широким распространением соевых продуктов значительно возросла частота выявления пищевой аллергии к соевым белкам у взрослых пациентов, о чём свидетельствует ряд публикаций последних лет [4, 5]. Кроме того, в работах некоторых авторов показано, что соевая пыль может способствовать развитию ингаляционной аллергии у взрослых и в ряде случаев приводить к смертельным исходам [6]. Имеются данные о прямой корреляции между аллергией к сое и к белкам других растений. Например, доказана перекрёстная реактивность аллергенных белков сои и пыльцы берёзы [7], что обуславливает особую

чувствительность людей, страдающих «берёзовым» полинозом, к продуктам, содержащим сою.

Целью настоящего обзора является анализ и обобщение научных данных о химической структуре, свойствах, аллергенной активности белков семян сои (соевых бобов), их перекрёстных реакциях с белками животного и растительного происхождения.

## АЛЛЕРГЕНЫ СОИ

К 2022 году в литературе описаны 15 аллергенных молекул сои, которые выполняют метаболические, накопительные, рецепторные и защитные функции в клетках растения. Аллергены сои принадлежат к разным суперсемействам белков: проламины, дефензины, профилины, купины, а также Bet v 1-подобные белки.

В номенклатуру аллергенов Международного союза иммунологических обществ Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ) вошли 8 белков сои *Glycine max* (Gly m 1–Gly m 8)<sup>1</sup> [8]. Общий список аллергенов, входящих в номенклатуру аллергенов WHO/IUIS, представлен в табл. 1.

Gly m 1 принадлежит к семейству белков nsLTP, который, в свою очередь, относится к суперсемейству белков проламинов. В эту группу входят растительные белки, при гидролизе которых выделяется значительное количество гетероциклической аминокислоты пролина. Пропламины содержатся в запасающих вакуолях семян сои, формируя белковые тела. Gly m 1 представляет собой N-терминальную область гидрофобного соевого белка, функция которого связана с переносом жиров (lipid transfer proteins, LTP). Трёхмерная структура Gly m 1 была изучена методом рентгеновской дифракции (зависимость интенсивности рассеянного излучения от угла рассеивания). Молекула Gly m 1 состоит из двух наборов антипараллельных спиралей, скрученных в один пучок.

<sup>1</sup> Allergen Nomenclature. WHO/IUIS Allergen Nomenclature Sub-Committee. Режим доступа: <http://www.allergen.org>. Дата обращения: 15.02.2022.

**Таблица 1.** Аллергены сои в соответствии с номенклатурой WHO/IUIS [8]

**Table 1.** Soy allergens in accordance with WHO/IUIS Allergen Nomenclature Database [8]

Аллерген	Биохимическое название	Биологическая функция	Молекулярная масса, кДа
Gly m 1	Lipid transfer proteins, LTP	Перенос жиров	7–7,5
Gly m 2	Дефензины	Защита от патогенов	8
Gly m 3	Профилины	Формирование цитоскелета	14
Gly m 4	PR-10	Защита от патогенов	17
Gly m 5	7S глобулин	Запасный белок	63–65
Gly m 6	11S глобулин	Запасный белок	52–61
Gly m 7	Биотинилированный белок семян	Катализирует карбоксильную ферментную реакцию	76,2
Gly m 8	2S альбумин	Структурный белок	28

Такое строение обеспечивает молекуле пониженную гидрофобность и высокую проницаемость через слизистую оболочку дыхательных путей. Gly m 1 является главным аллергеном оболочки семян сои, сенсибилизация к которому приводит к респираторным проявлениям аллергии у atopических больных [9, 10].

Gly m 2 — второй аллерген оболочки семян сои, специфические IgE (sIgE) к которому были выявлены у atopических больных с приступами астмы. Этот аллерген относится к гидрофобным белкам с молекулярной массой 8 кДа [11]. В соответствии с номенклатурой аллергенов ВОЗ, Gly m 2 относится к суперсемейству белков дефензинов, низкомолекулярных катионных пептидов, обеспечивающих защитные механизмы растений против патогенов [8]. При исследовании роли гуморального иммунного ответа в патогенезе бронхиальной астмы эпидемического происхождения показано наличие высокого уровня и частоты выявления sIgE к Gly m 2 в отличие от больных с бронхиальной астмой неэпидемического происхождения. Кроме того, в сыворотках таких больных выявляли повышенное содержание sIgG4 той же специфичности [12].

Gly m 3 — аллерген сои с молекулярной массой 14 кДа. Он относится к суперсемейству белков профилинов и представляет собой актинсвязывающий белок, входящий в состав цитоскелета. В исследовании, проведенном H.P. Rihs с соавт. [13], были выявлены sIgE к Gly m 3 в сыворотках 9 (69%) из 13 atopических больных с пищевыми проявлениями аллергии. Была показана также перекрёстная реактивность этих антител с sIgE к профилинам пыльцы берёзы Bet v 2.

Gly m 4 представляет собой PR-10 белок с молекулярной массой 17 кДа. Он кодируется одним из стрессорных генов, связанных с голоданием (starvation associated message 22, SAM22). У atopических больных Gly m 4 вызывает, как правило, оральные симптомы аллергической реакции. Это связано со структурной гомологией белка PR-10 сои Gly m 4 с белком PR-10 пыльцы берёзы Bet v 1. По данным, приведённым T.J. Kleine и соавт. [14], у 17 из 20 больных с оральным синдромом и анафилаксией, возникшими в связи с приёмом диетического соевого порошка, обнаружены sIgE как к SAM22, так и к Bet v 1. В другом исследовании показано, что сыворотки 78,6% больных с аллергией к пыльце берёзы (были выявлены sIgE к Bet v 1) содержали sIgE к Gly m 4 [7].

Gly m 5 и Gly m 6 принадлежат к суперсемейству белков купинов. Белки этой группы характеризуются общим консервативным центральным доменом, обозначенным в англоязычной литературе как  $\beta$ -barrel structural core domain (cupa — это латинский термин, обозначающий ствол, бочку). Этот домен может быть как одинарным, так и двойным [15]. В суперсемейство купинов входят белки хранения семян — 7S и 11S глобулины, известные также как семейство белков вицилинов и семейство белков леуმიнов соответственно. К этим семействам относятся аллергены сои Gly m 5 (7S глобулин, вицилины) и Gly m 6

(11S глобулин, леумины). В проведенном исследовании в европейской популяции было показано, что у детей и взрослых, страдающих аллергией на сою, в 43% случаев определялись sIgE к Gly m 5 и в 36% — sIgE к Gly m 6. При этом с утяжелением аллергического заболевания увеличивается частота выявления sIgE к этим аллергенам. У 86% больных анафилаксией определялись sIgE к Gly m 5 и Gly m 6 и только у 33% больных с менее тяжёлыми субъективными симптомами была показана сенсибилизация к этим аллергенам [16]. В японской популяции Gly m 5 и Gly m 6 также были ответственны за тяжёлые аллергические реакции у atopических больных [17].

Gly m 7 — биотинилированный белок семян с молекулярной массой 76,2 кДа [8]. В клетках растений он выполняет функцию катализатора карбоксильных ферментных реакций. По данным, описанным в статье J.J. Riascos с соавт. [18], Gly m 7 может представлять новый класс биологически активных аллергенов сои, обладающих структурной устойчивостью, позволяющей противостоять многим процессам производства пищевых продуктов. Из 23 сывороток atopических больных, сенсибилизированных соей, было выявлено 12 сывороток (52%) с высоким уровнем sIgE к Gly m 7.

Gly m 8 относится к семейству белков 2S-альбуминов, который так же, как и Gly m 1, принадлежит суперсемейству белков проламинов. В работе M. Ebisawa с соавт. [19] у 17 из 19 детей с аллергией на сою были выявлены повышенные уровни sIgE к Gly m 2S. Остальные 2 сыворотки содержали повышенный уровень sIgE к Gly m 5 и Gly m 6, при этом авторы статьи рассматривали Gly m 2S как маркер тяжести аллергической реакции на сою.

Имеются данные, что помимо описанных выше 8 белков сои (Gly m 1–Gly m 8) существуют и другие аллергены сои, которые могут связываться с sIgE в сыворотках atopических больных (табл. 2).

Gly m Bd28K — белок с молекулярной массой 28 кДа, относится к белковой фракции 7S глобулинов (семейство белков вицилинов). В семенах сои он был выделен из вакуолей хранения белка, где выполняет функцию сигнального белка Gm28K [20].

Gly m Bd30k/P34 принадлежит к суперсемейству папаиновых протеаз и может принимать участие в защите от бактерий рода *Pseudomonas*. В работе T. Ogawa и соавт. [21] показано, что этот белок также относится к белковой фракции 7S глобулинов. Методом иммуноблота в сыворотках 20% больных с atopическим дерматитом были выявлены sIgE к белковой фракции с молекулярной массой 30 кДа.

Gly m 39kD/P39 — белок с молекулярной массой 39 кДа. P39 был впервые выделен из соевого лецитина (сложный эфир глицерофосфорной кислоты). Биологическая функция этого белка на данный момент неизвестна. С помощью рекомбинантных методов исследования были показаны IgE-связывающие эпитопы в разных частях полипептида P39 [22]. Методом иммуноблота были выявлены sIgE к белковой фракции лецитина сои с молекулярной массой 39 кДа [23].

**Таблица 2.** Аллергены сои не входящие в номенклатуру WHO/IUIS

**Table 2.** Soy allergens not included in the WHO/IUIS Allergen Nomenclature Database

Аллерген	Биохимическое название	Биологическая функция	Молекулярная масса, кДа
Gly m Bd28K	7S глобулин	Сигнальный белок	28
Gly m Bd30k/P34	7S глобулин	Защита от патогенов	30
Gly m 39kD/P39	Отсутствует	Не выявлена	39
Gly m 50kD	Отсутствует	Не выявлена	50
Gly m TI	Отсутствует	Регуляция протеолитической активности	20
Gly m CPI	Отсутствует	Регуляция протеолитической активности	25
Gly m Agglutinin	Лектин	Не выявлена	30,9

Gly m 50kD содержится в оболочке семян сои. Молекулярная масса составляет 50 кДа. Биологическая функция неизвестна. В работе R.M. Codina и соавт. [24] при проведении иммуноблота была показана полоса связывания sIgE с белком оболочки семян сои на уровне 50 кДа. Повышенный уровень sIgE к Gly m 50kD был показан только у 12 из 29 больных бронхиальной астмой и аллергическим ринитом, проживающих в Аргентине.

Gly m TI — белок-ингибитор сериновой протеазы. Биологическая функция данного белка заключается в регуляции активности протеолитических процессов и предотвращении преждевременного распада резервных белков в процессе роста растения. Попадая в желудочно-кишечный тракт человека, Gly m TI снижает каталитическую активность трипсина и химотрипсина, поэтому этот белок сои обозначается также как ингибитор трипсина. В исследовании X. Vaur и соавт. [25] сообщается, что Gly m TI обладает аллергенной активностью. Были выявлены sIgE к Gly m TI у 86% больных с респираторной аллергией к сое.

Gly m CPI — белок-ингибитор цистеиновой протеазы с молекулярной массой 25 кДа впервые был идентифицирован в работе R. Batista и соавт. [26]. Методами иммуноблота с сыворотками 5 пациентов с сенсibilизацией к сое и масс-спектрометрии соевых пептидов был найден новый аллерген, который в растении выполняет функцию ингибитора цистеиновой протеазы.

Gly m Agglutinin относится к белкам лектинам [27]. Они обладают способностью связывать остатки углеводов на поверхности клеток и вызывать их агглютинацию. Молекулярная масса данного белка составляет 30,9 кДа.

## ПЕРЕКРЁСТНЫЕ РЕАКЦИИ АЛЛЕРГЕНОВ СОИ

В зависимости от структуры и биологической функции аллергены сои входят в состав пяти разных суперсемейств белков. Каждое из этих суперсемейств характеризуется консервативными трёхмерными структурами,

что приводит к многочисленным перекрёстным реакциям между паналлергенами растений. Однако наличие клинически значимых перекрёстных реакций показано только между аллергенами с высокой гомологией в аминокислотной последовательности.

На данный момент только для трёх суперсемейств сои (профилины, Bet v 1-подобные белки и купины) показано наличие перекрёстных реакций.

**Суперсемейство белков профилинов.** Профилин представляет собой мономерный актинсвязывающий белок с молекулярной массой 12–15 кДа. Он присутствует во всех эукариотических клетках, входит в состав цитоскелета, участвует в движении клетки и передаче сигналов [28]. Идентичность аминокислотной последовательности профилинов в разных эукариотических клетках, даже среди дальних таксономических видов, составляет не менее 75%. В связи с высокой гомологией перекрёстная реактивность между профилинами наиболее распространена и затрагивает практически все виды растений. Таким образом, профилин можно рассматривать как истинный паналлерген [29]. У сои изучен только один аллерген Gly m 3, который принадлежит к белкам профилинам.

Примерно 50% больных пищевой аллергией сенсibilизированы к профилину [30]. Клинические проявления пищевой аллергии, вызванной профилинами, в большинстве случаев связаны с синдромом оральной аллергии, хотя в последнее время были зарегистрированы и случаи системных аллергических реакций. У пациентов с пищевой аллергией при оральной провокации очищенным профилином появлялись тяжёлые аллергические реакции [31].

Профилин может выступать и как ингаляционный аллерген. У 10–60% больных с аллергией на пыльцу растений выявляли sIgE к профилину [29]. При этом распространённость сенсibilизации к этому белку увеличивается, поскольку всё больше пациентов с аллергией показывают IgE-гиперчувствительность к широкому спектру таксономически дальних растений [32]. В большинстве



**Таблица 3.** Сходство в аминокислотной последовательности между Gly m 4 и другими аллергенами растений, %**Table 3.** Similarity in amino acid sequence between Gly m 4 and other plant allergens, %

Аллерген	Берёза Bet v 1	Яблоко Mal d 1	Вишня Pru av 1	Киви Act d 8	Сельдерей Api g 1	Арахис Ara h 8	Фундук Cor a 1.04	Дуб Que a 1
Соя Gly m 4	48	53	54	44	38	70	57	50

случаев первичная сенсibilизация происходит к пыльце берёзы, амброзии и полыни в зависимости от географических различий [33].

**Суперсемейство Bet v 1-подобных белков.** Среди всех аллергенов сои к этой группе белков относится только Gly m 4. Гомологи данного белка экспрессируются в эукариотических клетках широкого спектра видов растений. Степень идентичности аминокислотной последовательности между Gly m 4 и других аллергенов некоторых растений представлена в табл. 3. Минимальное сходство (38%) было найдено с аллергеном Api g 1 (сельдерей), максимальное (70%) — с Ara h 8 (арахис) [2].

Клинические проявления аллергии на Bet v 1-подобные белки у больных с атопией, как правило, связаны с синдромом оральной аллергии, которые в большинстве случаев возникают в течение нескольких минут, а иногда сразу после употребления сырых растительных продуктов. Симптомы Bet v 1-перекрёстной реактивности могут проявляться с различной степенью тяжести в зависимости от степени гомологии перекрёстно реагирующих аллергенов. В некоторых случаях аллергические реакции могут иметь системный характер, например, может развиваться анафилактический шок: такие тяжёлые проявления аллергических реакций были показаны у больных с slgE к Gly m 4 [14].

**Суперсемейство белков купин.** К этому суперсемейству относят белки хранения семян 7S (семейство вицилинов) и 11S глобулины (семейство легуминов).

Соевый аллерген Gly m 5, принадлежащий семейству вицилинов, имеет структурное сходство с вицилинами других растений. A. Varre с колл. [34] построили модели вицилинподобных аллергенов из арахиса (Ara h 1), грецкого ореха (Jug r 2), фундука (Cor a 11) и ореха кешью (Ana o 1), используя рентгеновские снимки соевых бобов Gly m 5, чтобы проиллюстрировать их структурное сходство. Кроме того, они показали наличие slgE-перекрёстной реактивности между этими аллергенами семейства вицилинов. Перекрёстная реактивность 7S глобулинов была также показана в исследовании S. Kroghsbo с колл. [35] на крысах. Животных сенсibilизировали внутрибрюшинно без адьюванта очищенными глобулинами 7S из арахиса (Ara h 1), лесного ореха (Cor a 11), гороха (Pis s 1) и сои (Gly m 5). После сенсibilизации были получены очень похожие титры slgG и slgE к этим четырём гомологичным 7S белкам. Помимо Gly m 5, Ara h 1, Cor a 11, Pis s 1 и Ana o 1 были найдены аллергены семейства вицилинов чечевицы (Len c 1) [36]

и кунжута (Ses i 3) [37]. Было также показано, что Gly m 5 имеет гомологичную структуру с белками других семейств. Методом секвенирования были идентифицированы и охарактеризованы четыре пептида  $\alpha$ -казеина молока Bos d 9 и три пептида Gly m 5 сои с общими эпитопами, способными связывать slgE [38].

Ещё один представитель суперсемейства купин — соевый белок Gly m 6 (11S глобулин) — принадлежит к семейству белков легуминов. К этому семейству также относится аллерген арахиса Ara h 3 [39], кешью (Ana o 2) [40], грецкого ореха (Jug r 4) [41], кунжута (Ses i 7) [42] и лесного ореха (Cor a 9) [43]. A. Varre с колл. [44] в другом исследовании картировали линейные slgE-эпитопы, идентифицированные в Ara h 3, Jug r 4, Cor a 9 и Ana o 2, на трёхмерных моделях этих аллергенов, построенных путём моделирования гомологии с использованием структуры 10D5 Gly m 6 в качестве шаблона. Авторы показали, что эти поверхностные slgE-эпитопы демонстрируют некоторое структурное сходство, что объясняет наблюдаемую slgE перекрёстную реактивность между этими аллергенами.

Наличие сходной аминокислотной последовательности в IgE-эпитопах аллергенов разных растений может служить провокационным фактором при развитии аллергии. У взрослых IgE-перекрёстные реакции обусловлены главным образом гомологией аллергенов сои Gly m 3 и Gly m 4 и аллергенов пыльцы берёзы Bet v 2 и Bet v 1 соответственно. В этой связи пациенты с поллинозом, вызванным пыльцой берёзы, представляют собой группу риска развития аллергических реакций при использовании продуктов, содержащих соевые белки [45]. Стимуляция пыльцевыми аллергенами больных поллинозом происходит в весенний сезон пыления пыльцы, тогда как постоянное употребление пациентами в пищевом рационе мясных и кондитерских изделий, содержащих соевые белки, осуществляется в течение всего года [46].

Таким образом, перекрёстно реагирующие белки сои могут обеспечить субпороговую сенсibilизацию больных аллергическими заболеваниями и внести свой вклад в утяжеление течения воспалительного процесса.

Подводя итог представленных выше данных, следует отметить, что аллергические реакции могут возникать как на необработанную сою [10, 11], так и на сою, входящую в состав термически обработанных продуктов питания. Клинические проявления аллергических реакций у лиц с сенсibilизацией к соевым белкам могут быть разделены на 3 группы и зависят от степени обработки сои и способа её поступления в организм.

1. Аллергические реакции, связанные с употреблением в пищу термически обработанных продуктов питания, содержащих сою [47]. Как правило, они возникают у детей раннего возраста с желудочно-кишечной сенсibilизацией к аллергенам сои Gly m 5, Gly m 6 и Gly m 8.
2. Оральные симптомы аллергии, связанные с перекрёстными реакциями между PR-10 белками пыльцы берёзы (Bet v 1 — главный аллерген берёзы) и соевым белком Gly m 4. Такие клинические проявления возникают при употреблении продуктов питания с низкой степенью обработки сои (порошковый соевый белок, соевые напитки). В литературе описаны случаи тяжёлого синдрома оральной аллергии с развитием анафилактических реакций [14]. Перекрёстные реакции между PR-10 белками берёзы и сои характерны в северном полушарии с высокой экспозицией пыльцы берёзы [27].
3. Последняя группа аллергических реакций связана с респираторными проявлениями. Имеются данные о вспышках ингаляционной аллергии на соевую пыль у работников портов и местных жителей во время разгрузки необработанных соевых бобов [10, 11]. Это связано с IgE-опосредованной сенсibilизацией к аллергенам оболочки соевого боба (Gly m 1 и Gly m 2).

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Учитывая, что в семенах сои количество жизненно важных для человека веществ значительно превосходит их содержание в большинстве зерновых и масличных культур, а также тысячелетнюю традицию народов зарубежных стран по использованию сои, можно с уверенностью сказать, что соя — полезная аграрная культура, которую следует широко использовать в пищевой промышленности, но только целенаправленно, научно обоснованно, с учётом особенностей химического состава семян.

Необходимы дополнительные расширенные научно-лабораторные исследования, чтобы чётко установить, какие

компоненты соевого зерна после термической обработки или других технологических приёмов не потеряли свои аллергенные свойства и способны нанести вред здоровью человека. Кроме того, важным аспектом является разработка рекомендаций для потребителей соевой продукции разных возрастов при различных заболеваниях.

## ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

**Источник финансирования.** Авторы заявляют об отсутствии внешнего финансирования при проведении поисково-аналитической работы и подготовке публикации.

**Конфликт интересов.** Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с проведением поисково-аналитической работы 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 распределён следующим образом: [В.Б. Гервазиева] — выбор темы и концепции обзорной статьи, сбор и анализ литературных источников, редактирование текста статьи; П.В. Самойликов, Е.М. Зайцев, А.С. Быков — сбор и анализ литературных данных, редактирование, подготовка и написание текста статьи.

## ADDITIONAL INFORMATION

**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. [V.B. Gervazieva] — selection of the topic and concept of the review article, collection and analysis of literary sources, editing the text of the article; P.V. Samoylikov, E.M. Zaitsev, A.S. Bykov — collection and analysis of literature data, as well as editing, preparation and writing of the text of the article.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Jędrusek-Golińska A., Zielińska-Dawidziak M., Zielińska P., et al. Analysis of risk and consumers' awareness regarding the gluten content in meat products on the example of frankfurter type sausages // *Quality Assurance Safety Crops Foods*. 2019. Vol. 11, N 6. P. 529–537. doi: 10.3920/QAS2018.1401
2. Kleine-Tebbe J., Beyer K., Ebisawa M. EAACI molecular allergology user's guide // *Pediatric Allergy Immunology*. 2016. Vol. 27, N S23. P. 225–234. doi: 10.1111/pai.12563
3. Radlović N., Leković Z., Radlović V., et al. Food allergy in children // *Srp Arh Celok Lek*. 2016. Vol. 144, N 1-2. P. 99–103. doi: 10.2298/sarh1602099r
4. Wang H.Y., Li Y., Li J.J., et al. Serological investigation of IgG and IgE antibodies against food antigens in patients with

- inflammatory bowel disease // *World J Clin Cases*. 2019. Vol. 7, N 16. P. 2189–2203. doi: 10.12998/wjcc.v7.i16.2189
5. Ramadan S., Marsh J., El-Sherbeny G.A., et al. Purification of soybean cupins and comparison of IgE binding with peanut allergens in a population of allergic subjects // *Food Chem Toxicol*. 2021. N 147. P. 111866. doi: 10.1016/j.fct.2020.111866
6. Sampson H.A., Mendelson L., Rosen J.P. Fatal and near-fatal anaphylactic reactions to food in children and adolescents // *N Engl J Med*. 1992. Vol. 327, N 6. P. 380–384. doi: 10.1056/NEJM199208063270603
7. Hao G.D., Zheng Y.W., Wang Z.X., et al. High correlation of specific IgE sensitization between birch pollen, soy and apple allergens indicates pollen-food allergy syndrome among birch pollen allergic

- patients in northern China // *J Zhejiang Univ Sci B*. 2016. Vol. 17, N 5. P. 399–404. doi: 10.1631/jzus.B1500279
8. Radauer C., Nandy A., Ferreira F., et al. Update of the WHO/IUIS Allergen Nomenclature Database based on analysis of allergen sequences // *Allergy*. 2014. Vol. 69, N 4. P. 413–419. doi: 10.1111/all.12348
9. Gonzalez R., Varela J., Carreira J., Polo F. Primary structure of the major inhalant allergen from soybean hulls, Gly m 1: soybean hydrophobic protein and soybean hull allergy // *Lancet*. 1995. N 346. P. 48–49.
10. Rodrigo M.J., Morell F., Helm R.M., et al. Identification and partial characterization of the soybean-dust allergens involved in the Barcelona asthma epidemic // *J Allergy Clin Immunol*. 1990. Vol. 85, N 4. P. 778–784. doi: 10.1016/0091-6749(90)90198-d
11. Codina R., Lockey R.F., Fernández C.E., Rama R. Identification of the soybean hull allergens responsible for the Barcelona asthma outbreaks // *Int Arch Allergy Immunol*. 1999. Vol. 119, N 1. P. 69–71. doi: 10.1159/000024178
12. Codina R.M., Calderón E., Lockey R.F., et al. Specific immunoglobulins to soybean hull allergens in soybean asthma // *Chest*. 1997. Vol. 111, N 1. P. 75–80. doi: 10.1378/chest.111.1.75
13. Rihs H.P., Chen Z., Ruëff F., et al. IgE binding of the recombinant allergen soybean profiling (rGly m 3) is mediated by conformational epitopes // *J Allergy Clin Immunol*. 1999. Vol. 104, N 6. P. 1293–1301. doi: 10.1016/s0091-6749(99)70027-8
14. Kleine-Tebbe J., Vogel L., Crowell D.N., et al. Severe oral allergy syndrome and anaphylactic reactions caused by a Bet v 1 related PR 10 protein in soybean, SAM22 // *J Allergy Clin Immunol*. 2002. Vol. 110, N 5. P. 797–804. doi: 10.1067/mai.2002.128946
15. Dunwell J.M. Cupins: a new superfamily of functionally diverse proteins that include germins and plant storage proteins // *Biotechnol Gen Engineering Rev*. 1998. Vol. 15, N 1. P. 1–32. doi: 10.1080/02648725.1998.10647950
16. Holzhauser T., Wackermann O., Ballmer-Weber B.K., et al. Soybean (*Glycine max*) allergy in Europe: Gly m 5 (b-conglycinin) and Gly m 6 (glycinin) are potential diagnostic markers for severe allergic reactions to soy // *J Allergy Clin Immunol*. 2009. Vol. 123, N 2. P. 452–458. doi: 10.1016/j.jaci.2008.09.034
17. Ito K., Sjölander S., Sato S., et al. IgE to Gly m 5 and Gly m 6 is associated with severe allergic reactions to soybean in Japanese children // *J Allergy Clin Immunol*. 2011. Vol. 128, N 3. P. 673–675. doi: 10.1016/j.jaci.2011.04.025
18. Riascos J.J., Weissinger S.M., Weissinger A.K., et al. The seed biotinylated protein of soybean (*Glycine max*): a boiling-resistant new allergen (Gly m 7) with the capacity to induce IgE-Mediated Allergic Responses // *J Agric Food Chem*. 2016. Vol. 64, N 19. P. 3890–3900. doi: 10.1021/acs.jafc.5b05873
19. Ebisawa M., Brostedt P., Sjölander S., et al. Gly m 2S albumin is a major allergen with a high diagnostic value in soybean-allergic children // *J Allergy Clin Immunol*. 2013. Vol. 132, N 4. P. 976–978. doi: 10.1016/j.jaci.2011.04.025
20. Yumioka-Ito H., Misaki R., Yokoro M., et al. Cloning of a cDNA Encoding the Gly m Bd 28K Precursor and Its Vacuole Transport in Tobacco BY2 Suspension-Cultured Cells // *J Nutr Sci Vitaminol*. 2014. Vol. 60, N 2. P. 129–139. doi: 10.3177/jnsv.60.129
21. Ogawa T., Bando N., Tsuji H., et al. Investigation of the IgE-binding proteins in soybeans by immunoblotting with the sera of the soybean-sensitive patients with atopic dermatitis // *J Nutr Sci Vitaminol*. 1991. Vol. 37, N 6. P. 555–565. doi: 10.3177/jnsv.37.555
22. Xiang P., Baird L.M., Jung R., et al. P39, a novel soybean protein allergen, belongs to a plant-specific protein family and is present in protein storage vacuoles // *J Agric Food Chem*. 2008. Vol. 56, N 6. P. 2266–2272. doi: 10.1021/jf073292x
23. Gu X., Beardslee T., Zeece M., et al. Identification of IgE-binding proteins in soy lecithin // *Int Arch Allergy Immunol*. 2001. Vol. 126, N 3. P. 218–225. doi: 10.1159/000049517
24. Codina R., Arduoso L., Lockey R.F., et al. Identification of the soybean hull allergens involved in sensitization to soybean dust in a rural population from Argentina and N-terminal sequence of a major 50 KD allergen // *Clin Exp Allergy*. 2002. Vol. 32, N 7. P. 1059–1063. doi: 10.1046/j.1365-2222.2002.01411.x
25. Baur X., Pau M., Czuppon A., Fruhmans G. Characterization of soybean allergens causing sensitization of occupationally exposed bakers // *Allergy*. 1996. Vol. 51, N 5. P. 326–330. doi: 10.1111/j.1398-9995.1996.tb04617.x
26. Batista R., Martins I., Jenó P., et al. A proteomic study to identify soya allergens — the human response to transgenic versus non-transgenic soya samples // *Int Arch Allergy Immunol*. 2007. Vol. 144, N 1. P. 29–38. doi: 10.1159/000102611
27. Kleine-Tebbe J., Beyer K., Ebisawa M. Soy allergy. EAACI molecular allergology user's guide. European Academy of Allergy and Clinical Immunology; 2016. P. 225–234.
28. Radauer C., Bublin M., Wagner S., et al. Allergens are distributed into few protein families and possess a restricted number of biochemical functions // *J Allergy Clin Immunol*. 2008. Vol. 121, N 4. P. 847–852. doi: 10.1016/j.jaci.2008.01.025
29. Valenta R., Duchene M., Ebner C., et al. Profilins constitute a novel family of functional plant pan-allergens // *J Exp Med*. 1992. Vol. 175, N 2. P. 377–385. doi: 10.1084/jem.175.2.377
30. Tatham A.S., Shewry P.R. Allergens to wheat and related cereals // *Clin Exp Allergy*. 2008. Vol. 38, N 11. P. 1712–1726. doi: 10.1111/j.1365-2222.2008.03101.x
31. Alvarado M.I., Jimeno L., De La Torre, et al. Profilin as a severe food allergen in allergic patients overexposed to grass pollen // *Allergy*. 2014. Vol. 69, N 12. P. 1610–1616. doi: 10.1111/all.12509
32. Mari A. Multiple pollen sensitization: a molecular approach to the diagnosis // *Int Arch Allergy Immunol*. 2001. Vol. 125, N 1. P. 57–65. doi: 10.1159/000053797
33. Pablos I., Wildner S., Asam C., et al. Pollen allergens for molecular diagnosis // *Curr Allergy Asthma Rep*. 2016. Vol. 16, N 4. P. 31. doi: 10.1007/s11882-016-0603-z
34. Barre A., Sordet C., Culerrier R., et al. Vicilin allergens of peanut and tree nuts (walnut, hazelnut and cashew nut) share structurally related IgE-binding epitopes // *Mol Immunol*. 2008. Vol. 45, N 5. P. 1231–1240. doi: 10.1016/j.molimm.2007.09.014
35. Kroghsbo S., Bogh K.L., Rigby N.M., et al. Sensitization with 7S globulins from peanut, hazelnut, soy or pea induces IgE with different biological activities which are modified by soy tolerance // *Int Arch Allergy Immunol*. 2011. Vol. 155, N 3. P. 212–224. doi: 10.1159/000321200
36. López-Torrejón G., Salcedo G., Martín-Esteban M., et al. Len c 1, a major allergen and vicilin from lentil seeds: protein isolation and cDNA cloning // *J Allergy Clin Immunol*. 2003. Vol. 112, N 6. P. 1208–1215. doi: 10.1016/j.jaci.2003.08.035
37. Beyer K., Bardina L., Grishina G., Sampson H.A. Identification of sesame seed allergens by 2-dimensional proteomics and Edman sequencing: seed storage proteins as common food allergens //



J Allergy Clin Immunol. 2002. Vol. 110, N 1. P. 154–159. doi: 10.1067/mai.2002.125487

**38.** Candreva A.M., Ferrer-Navarro M., Quiroga A., et al. Identification of cross reactive B cell epitopes between Bos d 9.0101 (*Bos Taurus*) and Gly m 5.0101 (*Glycine max*) by epitope mapping MALDI-TOF MS // *Proteomics*. 2017. Vol. 17, N 15–16. doi: 10.1002/pmic.201700069

**39.** Beardslee T.A., Zeece M.G., Sarath G., Markwell J.P. Soybean glycinin G1 acidic chain shares IgE epitopes with peanut allergen Ara h 3 // *Int Arch Allergy Immunol*. 2000. Vol. 123, N 4. P. 299–307. doi: 10.1159/000053642

**40.** Wang F., Robotham J.M., Teuber S.S., et al. Ana o 2, a major cashew (*Anacardium occidentale* L.) nut allergen of the legumin family // *Int Arch Allergy Immunol*. 2003. Vol. 132, N 1. P. 27–39. doi: 10.1159/000073262

**41.** Wallowitz M., Peterson W.R., Uratsu S., et al. Jug r 4, a legumin group food allergen from walnut (*Juglans regia* Cv. Chandler) // *J Agric Food Chem*. 2006. Vol. 54, N 21. P. 8369–8375. doi: 10.1021/jf061329s

**42.** Beyer K., Grishina G., Bardina L., Sampson H.A. Identification of 2 new sesame seed allergens: Ses i 6 and

Ses i 7 // *J Allergy Clin Immunol*. 2007. Vol. 119, N 6. P. 1554–1556. doi: 10.1016/j.jaci.2007.03.041

**43.** Beyer K., Grishina G., Bardina L., et al. Identification of an 11S globulin as a major hazelnut food allergen in hazelnut-induced systemic reactions // *J Allergy Clin Immunol*. 2002. Vol. 110, N 3. P. 517–523. doi: 10.1067/mai.2002.127434

**44.** Barre A., Jacquet G., Sordet C., et al. Homology modelling and conformational analysis of IgE-binding epitopes of Ara h 3 and other legumin allergens with a cupin fold from tree nuts // *Mol Immunol*. 2007. Vol. 44, N 12. P. 3243–3255. doi: 10.1016/j.molimm.2007.01.023

**45.** Гервасиева В.Б., Сверановская В.В. Пищевая аллергия и повышенная чувствительность к соевым белкам // *Медицинская иммунология*. 2005. Т. 7, № 1. С. 15–20. doi: 10.15789/1563-0625-2005-1-15-20

**46.** Skypala I.J. Food-Induced anaphylaxis: role of hidden allergens and cofactors // *Front Immunol*. 2019. N 10. P. 673. doi: 10.3389/fimmu.2019.00673

**47.** Rahaman T., Vasiljevic T., Ramchandran L. Effect of processing on conformational changes of food proteins related to allergenicity // *Trends Food Sci. Technol*. 2016. N 49. P. 24–34. doi: 10.1016/j.tifs.2016.01.001

## REFERENCES

**1.** Jędrusek-Golińska A, Zielińska-Dawidziak M, Zielińska P, et al. Analysis of risk and consumers' awareness regarding the gluten content in meat products on the example of frankfurter type sausages. *Quality Assurance Safety Crops Foods*. 2019;11(6):529–537. doi: 10.3920/QAS2018.1401

**2.** Kleine-Tebbe J, Beyer K, Ebisawa M. EAACI molecular allergology user's guide. *Pediatr Allergy Immunol*. 2016;27(Suppl 23):225–234. doi: 10.1111/pai.12563

**3.** Radlović N, Leković Z, Radlović V, et al. Food allergy in children. *Srp Arh Celok Lek*. 2016;144(1-2):99–103. doi: 10.2298/sarh1602099r

**4.** Wang HY, Li Y, Li JJ, et al. Serological investigation of IgG and IgE antibodies against food antigens in patients with inflammatory bowel disease. *World J Clin Cases*. 2019;7(16):2189–2203. doi: 10.12998/wjcc.v7.i16.2189

**5.** Ramadan S, Marsh J, El-Sherbeny GA, et al. Purification of soybean cupins and comparison of IgE binding with peanut allergens in a population of allergic subjects. *Food Chem Toxicol*. 2021;147:111866. doi: 10.1016/j.fct.2020.111866

**6.** Sampson HA, Mendelson L, Rosen JP. Fatal and near-fatal anaphylactic reactions to food in children and adolescents. *N Engl J Med*. 1992;327(6):380–384. doi: 10.1056/NEJM199208063270603

**7.** Hao GD, Zheng YW, Wang ZX, et al. High correlation of specific IgE sensitization between birch pollen, soy and apple allergens indicates pollen-food allergy syndrome among birch pollen allergic patients in northern China. *J Zhejiang Univ Sci B*. 2016;17(5):399–404. doi: 10.1631/jzus.B1500279

**8.** Radauer C, Nandy A, Ferreira F, et al. Update of the WHO/IUIS Allergen Nomenclature Database based on analysis of allergen sequences. *Allergy*. 2014;69(4):413–419. doi: 10.1111/all.12348

**9.** Gonzalez R, Varela J, Carreira J, Polo F. Primary structure of the major inhalant allergen from soybean hulls, Gly m 1: soybean hydrophobic protein and soybean hull allergy. *Lancet*. 1995;346:48–49.

**10.** Rodrigo MJ, Morell F, Helm RM, et al. Identification and partial characterization of the soybean-dust allergens involved in the

Barcelona asthma epidemic. *J Allergy Clin Immunol*. 1990;85(4):778–784. doi: 10.1016/0091-6749(90)90198-d

**11.** Codina R, Lockey RF, Fernández CE, Rama R. Identification of the soybean hull allergens responsible for the Barcelona asthma outbreaks. *Int Arch Allergy Immunol*. 1999;119(1):69–71. doi: 10.1159/000024178

**12.** Codina RM, Calderón E, Lockey RF, et al. Specific immunoglobulins to soybean hull allergens in soybean asthma. *Chest*. 1997;111(1):75–80. doi: 10.1378/chest.111.1.75

**13.** Rihs HP, Chen Z, Ruëff F, et al. IgE binding of the recombinant allergen soybean profiling (rGly m 3) is mediated by conformational epitopes. *J Allergy Clin Immunol*. 1999;104(6):1293–1301. doi: 10.1016/s0091-6749(99)70027-8

**14.** Kleine-Tebbe J, Vogel L, Crowell DN, et al. Severe oral allergy syndrome and anaphylactic reactions caused by a Bet v 1 related PR 10 protein in soybean, SAM22. *J Allergy Clin Immunol*. 2002;110(5):797–804. doi: 10.1067/mai.2002.128946

**15.** Dunwell JM. Cupins: a new superfamily of functionally diverse proteins that include germins and plant storage proteins. *Biotechnology Gen Engineering Rev*. 1998;15(1):1–32. doi: 10.1080/02648725.1998.10647950

**16.** Holzhauser T, Wackermann O, Ballmer-Weber BK, et al. Soybean (*Glycine max*) allergy in Europe: Gly m 5 (b-conglycinin) and Gly m 6 (glycinin) are potential diagnostic markers for severe allergic reactions to soy. *J Allergy Clin Immunol*. 2009;123(2):452–458. doi: 10.1016/j.jaci.2008.09.034

**17.** Ito K, Sjölander S, Sato S, et al. IgE to Gly m 5 and Gly m 6 is associated with severe allergic reactions to soybean in Japanese children. *J Allergy Clin Immunol*. 2011;128(3):673–675. doi: 10.1016/j.jaci.2011.04.025

**18.** Riascos JJ, Weissinger SM, Weissinger AK, et al. The seed biotinylated protein of soybean (*Glycine max*): a boiling-resistant new allergen (Gly m 7) with the capacity to induce IgE-Mediated Allergic Responses. *J Agric Food Chem*. 2016;64(19):3890–3900. doi: 10.1021/acs.jafc.5b05873

19. Ebisawa M, Brostedt P, Sjölander S, et al. Gly m 2S albumin is a major allergen with a high diagnostic value in soybean-allergic children. *J Allergy Clin Immunol.* 2013;132(4):976–978. doi: 10.1016/j.jaci.2011.04.025
20. Yumioka-Ito H, Misaki R, Yokoro M, et al. Cloning of a cDNA Encoding the Gly m Bd 28K Precursor and Its Vacuole Transport in Tobacco BY2 Suspension-Cultured Cells. *J Nutr Sci Vitaminol.* 2014;60(2):129–139. doi: 10.3177/jnsv.60.129
21. Ogawa T, Bando N, Tsuji H, et al. Investigation of the IgE-binding proteins in soybeans by immunoblotting with the sera of the soybean-sensitive patients with atopic dermatitis. *J Nutr Sci Vitaminol.* 1991;37(6):555–565. doi: 10.3177/jnsv.37.555
22. Xiang P, Baird LM, Jung R, et al. P39, a novel soybean protein allergen, belongs to a plant-specific protein family and is present in protein storage vacuoles. *J Agric Food Chem.* 2008;56(6):2266–2272. doi: 10.1021/jf073292x
23. Gu X, Beardslee T, Zeece M, et al. Identification of IgE-binding proteins in soy lecithin. *Int Arch Allergy Immunol.* 2001;126(3):218–225. doi: 10.1159/000049517
24. Codina R, Arduzzo L, Lockey RF, et al. Identification of the soybean hull allergens involved in sensitization to soybean dust in a rural population from Argentina and N-terminal sequence of a major 50 KD allergen. *Clin Exp Allergy.* 2002;32(7):1059–1063. doi: 10.1046/j.1365-2222.2002.01411.x
25. Baur X, Pau M, Czuppon A, Fruhmann G. Characterization of soybean allergens causing sensitization of occupationally exposed bakers. *Allergy.* 1996;51(5):326–330. doi: 10.1111/j.1398-9995.1996.tb04617.x
26. Batista R, Martins I, Jenó P, et al. A proteomic study to identify soya allergens — the human response to transgenic versus non-transgenic soya samples. *Int Arch Allergy Immunol.* 2007;144(1):29–38. doi: 10.1159/000102611
27. Kleine-Tebbe J, Beyer K, Ebisawa M. Soy allergy. In: EAACI Molecular Allergology user's Guide. European Academy of Allergy and Clinical Immunology; 2016. P. 225–234.
28. Radauer C, Bublin M, Wagner S, et al. Allergens are distributed into few protein families and possess a restricted number of biochemical functions. *J Allergy Clin Immunol.* 2008;121(4):847–852. doi: 10.1016/j.jaci.2008.01.025
29. Valenta R, Duchene M, Ebner C, et al. Profilins constitute a novel family of functional plant pan-allergens. *J Exp Med.* 1992;175(2):377–385. doi: 10.1084/jem.175.2.377
30. Tatham AS, Shewry PR. Allergens to wheat and related cereals. *Clin Exp Allergy.* 2008;38(11):1712–1726. doi: 10.1111/j.1365-2222.2008.03101.x
31. Alvarado MI, Jimeno L, De La Torre, et al. Profilin as a severe food allergen in allergic patients overexposed to grass pollen. *Allergy.* 2014;69(12):1610–1616. doi: 10.1111/all.12509
32. Mari A. Multiple pollen sensitization: a molecular approach to the diagnosis. *Int Arch Allergy Immunol.* 2001;125(1):57–65. doi: 10.1159/000053797
33. Pablos I, Wildner S, Asam C, et al. Pollen allergens for molecular diagnosis. *Curr Allergy Asthma Rep.* 2016;16(4):31. doi: 10.1007/s11882-016-0603-z
34. Barre A, Sordet C, Culierrier R, et al. Vicilin allergens of peanut and tree nuts (walnut, hazelnut and cashew nut) share structurally related IgE-binding epitopes. *Mol Immunol.* 2008;45(5):1231–1240. doi: 10.1016/j.molimm.2007.09.014
35. Kroghsbo S, Bogh KL, Rigby NM, et al. Sensitization with 7S globulins from peanut, hazelnut, soy or pea induces IgE with different biological activities which are modified by soy tolerance. *Int Arch Allergy Immunol.* 2011;155(3):212–224. doi: 10.1159/000321200
36. López-Torrejón G, Salcedo G, Martín-Esteban M, et al. Len c 1, a major allergen and vicilin from lentil seeds: protein isolation and cDNA cloning. *J Allergy Clin Immunol.* 2003;112(6):1208–1215. doi: 10.1016/j.jaci.2003.08.035
37. Beyer K, Bardina L, Grishina G, Sampson HA. Identification of sesame seed allergens by 2-dimensional proteomics and Edman sequencing: seed storage proteins as common food allergens. *J Allergy Clin Immunol.* 2002;110(1):154–159. doi: 10.1067/mai.2002.125487
38. Candreva AM, Ferrer-Navarro M, Quiroga A, et al. Identification of cross-reactive B-cell epitopes between Bos d 9.0101 (Bos Taurus) and Gly m 5.0101 (Glycine max) by epitope mapping MALDI-TOF MS. *Proteomics.* 2017;17(15-16). doi: 10.1002/pmic.201700069
39. Beardslee TA, Zeece MG, Sarath G, Markwell JP. Soybean glycinin G1 acidic chain shares IgE epitopes with peanut allergen Ara h 3. *Int Arch Allergy Immunol.* 2000;123(4):299–307. doi: 10.1159/000053642
40. Wang F, Robotham JM, Teuber SS, et al. Ana o 2, a major cashew (*Anacardium occidentale* L.) nut allergen of the legumin family. *Int Arch Allergy Immunol.* 2003;132(1):27–39. doi: 10.1159/000073262
41. Wallowitz M, Peterson WR, Uratsu S, et al. Jug r 4, a legumin group food allergen from walnut (*Juglans regia* Cv. Chandler). *J Agric Food Chem.* 2006;54(21):8369–8375. doi: 10.1021/jf061329s
42. Beyer K, Grishina G, Bardina L, Sampson HA. Identification of 2 new sesame seed allergens: Ses i 6 and Ses i 7. *J Allergy Clin Immunol.* 2007;119(6):1554–1556. doi: 10.1016/j.jaci.2007.03.041
43. Beyer K, Grishina G, Bardina L, et al. Identification of an 11S globulin as a major hazelnut food allergen in hazelnut-induced systemic reactions. *J Allergy Clin Immunol.* 2002;110(3):517–523. doi: 10.1067/mai.2002.127434
44. Barre A, Jacquet G, Sordet C, et al. Homology modelling and conformational analysis of IgE-binding epitopes of Ara h 3 and other legumin allergens with a cupin fold from tree nuts. *Mol Immunol.* 2007;44(12):3243–3255. doi: 10.1016/j.molimm.2007.01.023
45. Gervazyeva VB, Sveranovskaya VV. Alimentary allergy and hypersensitivity to soya bean protein. *Med Immunol.* 2005;7(1):15–20. (In Russ). doi: 10.15789/1563-0625-2005-1-15-20
46. Skypala IJ. Food-Induced anaphylaxis: role of hidden allergens and cofactors. *Front Immunol.* 2019;10:673. doi: 10.3389/fimmu.2019.00673
47. Rahaman T, Vasiljevic T, Ramchandran L. Effect of processing on conformational changes of food proteins related to allergenicity. *Trends Food Sci. Technol.* 2016;49:24–34. doi: 10.1016/j.tifs.2016.01.001

## ОБ АВТОРАХ

**Гервазиева Валентина Борисовна**, д.м.н., профессор;  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5191-8709>;  
eLibrary SPIN: 9868-9164; e-mail: vbger@mail.ru

\* **Самойликов Павел Владимирович**, к.м.н.;  
адрес: Россия, 105064, Москва, пер. Малый Казенный, д. 5а;  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3580-3199>;  
eLibrary SPIN: 4294-2188; e-mail: samoilikov@mail.ru

**Зайцев Евгений Михайлович**, д.м.н.;  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4813-9074>;  
eLibrary SPIN: 5089-7661; e-mail: pertussis@yandex.ru

**Быков Анатолий Сергеевич**, д.м.н., профессор;  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8099-6201>;  
eLibrary SPIN: 3894-1190; e-mail: bykov\_a\_s@staff.sechenov.ru

\* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author

## AUTHORS' INFO

**Valentina B. Gervazieva**, MD, Dr. Sci. (Med.), Professor;  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5191-8709>;  
eLibrary SPIN: 9868-9164; e-mail: vbger@mail.ru

\* **Pavel V. Samoylikov**, MD, Cand. Sci. (Med.);  
address: 5a, Malyi Kazennyi lane, Moscow, 105064, Russia;  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3580-3199>;  
eLibrary SPIN: 4294-2188; e-mail: samoilikov@mail.ru

**Evgeny M. Zaitsev**, MD, Dr. Sci. (Med.);  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4813-9074>;  
eLibrary SPIN: 5089-7661; e-mail: pertussis@yandex.ru

**Anatoly S. Bykov**, MD, Dr. Sci. (Med.), Professor;  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8099-6201>;  
eLibrary SPIN: 3894-1190; e-mail: bykov\_a\_s@staff.sechenov.ru