

DOI: <https://doi.org/10.17650/1726-9784-2025-24-1-10-26>

# Аллергочипы в молекулярной диагностике: от когортной оценки к персонализированному ведению пациента

К.А. Рябова<sup>1</sup>, Е.М. Козлов<sup>1,2</sup>, Д.Р. Трифонова<sup>1-3</sup>, А.Р. Галашин<sup>1</sup>, А.А. Дубовец<sup>1,2</sup>, О.А. Белик<sup>1</sup>,  
А.Р. Левшина<sup>1</sup>, И.В. Евсегнеева<sup>1</sup>, А.В. Караулов<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>ФГАОУ ВО «Первый Московский государственный медицинский университет им. И.М. Сеченова» Минздрава России (Сеченовский Университет); Россия, 119048 Москва, ул. Трубецкая, 8, стр. 2;

<sup>2</sup>лаборатория иммунологии и инфектологии, научный центр LIFT (Life Improvement by Future Technologies); Россия, 121205 Москва, территория инновационного центра «Сколково», Большой бульвар, 30, стр. 1;

<sup>3</sup>Медицинский университет Вены; Австрия, 1090 Вена, Шпитальгассе, 23

**Контакты:** Александр Викторович Караулов [karaulov\\_a\\_v@staff.sechenov.ru](mailto:karaulov_a_v@staff.sechenov.ru)

**Введение.** Распространенность аллергических заболеваний повсеместно растет. Вместе с этим возрастает и необходимость точной диагностики аллергенов, что значительно влияет на дальнейшее ведение пациента и подбор терапии, в том числе аллергенспецифической иммунотерапии. Помимо объективных клинических данных и жалоб пациента, важное значение имеют лабораторные и инструментальные методы подтверждения сенсibilизации. Несмотря на экономические преимущества, такие востребованные методы диагностики, как кожные тесты, характеризуются достаточно большим процентом ложноположительных и, что не менее значимо, ложноотрицательных результатов. Кроме того, спектр аллергенов, которые доступны для определения кожными тестами, ограничен.

**Цель исследования** – сравнительный анализ эффективности и диагностической точности аллергочипов различных производителей, а также оценка их применимости в молекулярной диагностике аллергических заболеваний.

**Результаты.** Более совершенные тесты ImmunoCAP ISAC и Allergy Explorer (ALEX) постепенно занимают свою нишу в молекулярной диагностике аллергических заболеваний. Обе системы имеют свои преимущества и недостатки, а стоимость упомянутых диагностических методов и сложности в поставке зарубежных материалов резко ограничивают широкое применение аллергических панелей в нашей стране, с одной стороны. С другой стороны, современная концепция персонализированной медицины требует от врачей пациентоориентированного подхода, который трудно реализовать с помощью имеющихся диагностических инструментов. Решить эту проблему может создание аллергических профилей различных регионов России. Определение наиболее распространенных клинически значимых молекул в каждом конкретном регионе позволит более точно диагностировать аллергические заболевания и персонализированно подходить к лечению пациентов. Это, в свою очередь, улучшит качество медицинской помощи и повысит эффективность терапии.

**Заключение.** Разработка и внедрение новых диагностических методов, а также создание оптимальных для каждого региона панелей аллергенов являются важными шагами на пути к улучшению диагностики и лечения аллергических заболеваний. Эти меры помогут врачам более точно определять клинически значимые аллергены и разрабатывать индивидуальные схемы лечения для каждого пациента, что в итоге приведет к улучшению здоровья населения и снижению экономических затрат на лечение аллергических патологий.

**Ключевые слова:** аллергочип, аллергия, аллергический компонент, аллергенспецифическая иммунотерапия, панель аллергенов

**Для цитирования:** Рябова К.А., Козлов Е.М., Трифонова Д.Р. и др. Аллергочипы в молекулярной диагностике: от когортной оценки к персонализированному ведению пациента. Российский биотерапевтический журнал 2025;24(1):10–26.

DOI: <https://doi.org/10.17650/1726-9784-2025-24-1-10-26>

## Allergen chip in molecular diagnostic: from cohort analysis to personalized patient care

Ksenja A. Riabova<sup>1</sup>, Evgenii M. Kozlov<sup>1,2</sup>, Daria R. Trifonova<sup>1-3</sup>, Aleksei R. Galashin<sup>1</sup>, Alexandra A. Dubovets<sup>1,2</sup>,  
Olga A. Belik<sup>1</sup>, Anna R. Levshina<sup>1</sup>, Irina V. Evsegneeveva<sup>1</sup>, Alexander V. Karaulov<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>I.M. Sechenov First Moscow State Medical University, Ministry of Health of Russia; Bld. 8, 2 Trubetskaya St., Moscow 119048, Russia;

<sup>2</sup>Laboratory of Immunology and Infectology, Life Improvement by Future Technologies (LIFT) Center; Bld. 1, 30 Bolshoy Boulevard, the territory of the Skolkovo Innovation Center, Moscow 121205, Russia;

<sup>3</sup>Medical University of Vienna; 23 Spitalgasse, Vienna 1090, Austria

**Contacts:** Alexander Viktorovich Karaulov [karaulov\\_a\\_v@staff.sechenov.ru](mailto:karaulov_a_v@staff.sechenov.ru)

**Background.** The allergic diseases are growing everywhere. The exact diagnosis of allergens becomes more and more critical because it significantly affects the further treatment of the patient, including the question about using the allergen-specific immunotherapy. There are several laboratory and instrumental allergic tests among which the skin tests are the most available. Despite its low cost, this method is characterized by a large percentage of false-positive and, more importantly, false-negative results. In addition, the allergens that can be detected by skin tests are limited.

**Aim.** To conduct a comparative analysis of the effectiveness and diagnostic accuracy of allergen chips from different manufacturers and to evaluate their applicability in the molecular diagnosis of allergic diseases.

**Results.** ImmunoCAP ISAC and Allergy Explorer (ALEX) tests are gradually occupying their niche in the molecular diagnosis of allergic diseases. Both methods have their benefits and disadvantages. The high cost and difficulties in supplying foreign materials sharply limit the widespread use of allergy profiles in Russia. On the other hand, personalized medicine requires doctors to have a patient-centered care, which is completed using existing diagnostic tools. The allergy panels for various regions of Russia can solve this problem. Identifying the most common clinically significant molecules in each region will enable more accurate diagnosis of allergies and personalized patient treatment. This will improve medical care quality and increase therapy effectiveness.

**Conclusion.** Developing and implementing new diagnostic methods and creating allergen panels optimal for each region are important steps towards improving the diagnosis and treatment of allergic diseases. These measures will help clinicians more accurately identify relevant allergens and develop individual treatment plans for each patient, ultimately leading to better public health and lower economic costs for treating allergies.

**Keywords:** allergen chip, allergy, allergen component, allergen-specific immunotherapy, allergy test panel

**For citation:** Riabova K.A., Kozlov E.M., Trifonova D.R. et al. Allergen chip in molecular diagnostic: from cohort analysis to personalized patient care. Rossijskij bioterapevticeskij zurnal = Russian Journal of Biotherapy 2025;24(1):10–26. (In Russ.).

DOI: <https://doi.org/10.17650/1726-9784-2025-24-1-10-26>

## Введение

Аллергические заболевания (АЗ) затрагивают значительную часть населения, приводя к существенной социально-экономической нагрузке. Распространенность аллергической патологии в последние десятилетия растет. В настоящее время в мире насчитывается не менее 300 млн человек с астмой и приблизительно 500 млн человек с аллергическим ринитом [1–3]. Общая частота АЗ составляет от 10 до 40 % как в развитых, так и в развивающихся странах [2, 4]. По данным ФГБУ «ГНЦ Институт иммунологии», в нашей стране заболеваемость АЗ варьирует от 17,5 до 30 % [5, 6]. По сообщениям Всемирной организации здравоохранения, ежегодно в мире регистрируют 250 тыс. смертельных исходов от обострения бронхиальной астмы, которые можно было бы предотвратить при правильном подходе к лечению [2]. Высокая распространенность АЗ и связанное с ними снижение качества жизни, а также психосоциальная и экономическая нагрузка делают очевидной необходимость качественной диагностики аллергических патологий и точного определения провоцирующих факторов для назначения оптимальной терапии [7].

Помимо объективных клинических данных и жалоб пациента, важно лабораторно-инструментальное подтверждение сенсibilизации. Один из основных методов диагностики АЗ – определение аллерген-специфических антител (АТ). Современные клинические рекомендации предлагают проводить ряд исследований, среди которых важное место занимают кожные тесты с использованием стандартизированных серийных аллергенов, изготовленных из различного сырья [8]. Существует несколько методов диагностики сенсibilизации: кожный прик-тест, внутрикожный тест, патч-тест, которые врачи-аллергологи активно применяют в рутинной практике [9]. Их широкая распространенность обусловлена доступностью и скоростью получения результатов [10]. Несмотря на точность и всеобщую востребованность, эти методы имеют ряд недостатков и противопоказаний. К последним относится большинство хронических заболеваний, в том числе аутоиммунные и инфекционные заболевания, поражения кожи, тяжелое декомпенсированное течение бронхиальной астмы (объем форсированного выдоха за 1-ю секунду <70 %), заболевания внутренних органов в стадии декомпенсации. На результаты кожных тестов также влияют

многие лекарственные препараты, такие как антигистаминные и седативные средства, нейролептики, глюкокортикостероиды, принимаемые пациентами по поводу других заболеваний [11]. Кроме того, сама процедура дискомфортна, что сильно ограничивает использование кожных тестов для диагностики аллергических заболеваний у детей.

Для проведения кожных проб, как правило, используют выделенные из природных источников экстракты аллергенов. Последние являются смесью различных аллергенных и неаллергенных веществ, которые служат потенциальным триггером как аллергических, так и неспецифических реакций гиперчувствительности даже при отсутствии иммуноглобулин (Ig) E-ассоциированной сенсибилизации [12]. Особую сложность в производстве нативных экстрактов аллергенов представляет их стандартизация, поскольку из-за особенностей выделения и очистки материала состав итоговой смеси может сильно варьировать [12–14]. Этот недостаток повышает вероятность перекрестной реактивности и снижает специфичность данных тестов. Как следствие, очевидно, что основное ограничение кожных проб – использование нативных аллергенов.

Для решения этой проблемы разработаны методы, в которых применяют рекомбинантные аллергены – «чистые» молекулы аллергенов, синтезированные *de novo* при помощи технологий генной инженерии [15]. Процесс начинается с синтеза комплементарной ДНК (кДНК) на матрице молекулярной РНК (мРНК) путем обратной транскрипции, после чего кДНК может быть подвергнута различным модификациям (например, точечным мутациям, созданию химерных или гибридных структур, фрагментации и олигомеризации) с целью получения молекулярной структуры аллергена, максимально приближенной к естественной. Далее кДНК внедряется в векторы экспрессии, такие как *Escherichia coli* или дрожжи *Pichia pastoris*, для экспрессии белка и дальнейшего производства рекомбинантного аллергена. Затем аллерген проходит этапы выделения, очистки, оценки и валидации перед его применением в диагностических системах или для иммунотерапии. К 2015 г. в мире было охарактеризовано свыше 4900 аллергенов, 1500 из которых синтезированы в качестве рекомбинантных белков [2]. В настоящее время для диагностики АЗ *in vitro* доступны более 130 молекул [16]. Сейчас в практику достаточно широко внедрены лабораторные методы диагностики, предполагающие использование рекомбинантных белков: иммуоферментный анализ, иммунохемилюминесценция и ImmunoCAP. Однако и у рекомбинантных аллергенов есть несколько ограничений, включая сохраняющуюся проблему перекрестной реактивности и дороговизны приготовления. Помимо этого,

данные методы требуют большого количества сыворотки (примерно 40 мкл на 1 аллерген), что ограничивает возможность выявления сенсибилизации к большому количеству аллергенов одновременно, особенно при диагностике АЗ у детей [17].

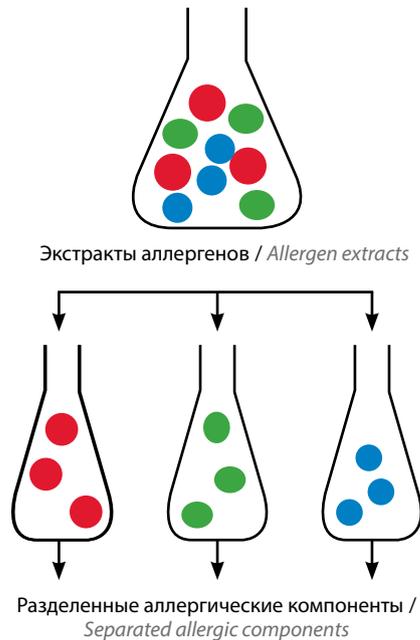
Более совершенными методами для диагностики АЗ являются те, в которых используются аллергические компоненты – искусственно синтезированные отдельные участки молекулы аллергена с известной аминокислотной последовательностью. Их ключевое преимущество – крайне высокая степень стандартизации и возможность полностью избежать кросс-реактивности. Аллергические компоненты используют в одном из новейших типов диагностических систем – алергочипах (АЧ) – за счет чего вероятность недостоверного результата значительно снижена. АЧ характеризуются высокой чувствительностью и специфичностью, что позволяет определить наличие IgE и IgG, специфичных к большому числу различных молекул. Такая точность позволяет сохранить значительные объемы сыворотки крови [18, 19].

**Целью** данного исследования является сравнительный анализ эффективности и диагностической точности АЧ различных производителей, а также оценка их применимости в молекулярной диагностике АЗ. Исследование направлено на выявление преимуществ и ограничений каждой технологии с целью оптимизации персонализированного подхода к ведению пациентов. В обзоре представлена информация о видах АЧ, их особенностях, возможностях применения в практике врача.

### Алергочипы

Работа АЧ в качестве метода выявления причинно значимых аллергенов основывается на определении аллергенспецифических IgE. Точность напрямую зависит от качества экстрактов, в приготовлении которых важную роль занимает строгое разделение белков на аллергические и неаллергические, а также стандартизация панели (рис. 1). Несмотря на то что АЧ относительно недавно стали применяться в области серологической диагностики АЗ, современные достижения в области биотехнологий и молекулярной биологии позволили достичь прогресса в совершенствовании этого метода [20]. Наиболее востребованные тесты – системы ImmunoCAP ISAC (ThermoFisher, США) и Allergy Explorer (ALEX) (Macro Array Diagnostics GmbH, Австрия), которые за последние два десятилетия доказали свою эффективность и удобство в рутинной диагностике АЗ [21].

Первой разработкой была система ImmunoCAP ISAC, в которую включено 112 тщательно отобранных и очищенных аллергенов из 48 различных источников [22]. ISAC был создан по образцу первого радиоаллергосорбентного теста (RAST) для выявления



**Рис. 1.** Разделение белков на аллергенные и неаллергенные, стандартизация их панели при приготовлении экстрактов аллергенов

Fig. 1. Separation of proteins into allergenic and non-allergenic, standardization in the panel for the allergen extracts preparation

аллергенспецифических IgE [23]. Механизм работы ISAC состоит из 3 этапов. АТ IgE сыворотки крови пациента связываются с иммобилизованными компонентами аллергенов, нанесенными на предметное стекло с реактивным полимерным покрытием, и взаимодействуют с твердой поверхностью АЧ. Образовавшиеся иммунные комплексы «аллерген/IgE» затем выявляют с помощью меченных флуорохромом моноклональных АТ против IgE человека. При помощи конфокального лазерного сканера микрочипов и программного обеспечения визуализируют изображение АЧ [24, 25]. Высокая эффективность диагностики АЗ с помощью АЧ ISAC продемонстрирована в различных исследованиях [26, 27]. Впоследствии был разработан более совершенный АЧ MeDALL (Mechanisms of the Development of ALLergy Allergen Chip), который обладает большей чувствительностью, а также расширенным набором иммобилизованных аллергенов (до 170) [19]. В серии экспериментов авторы сравнивали чувствительность расширенной панели MeDALL и принятого за эталон ImmunoCAP, поскольку именно последняя система уже глубоко внедрилась в рутинную практику врачей-аллергологов после хороших результатов по измерению IgE-специфических реакций в когортах новорожденных [19, 28, 29]. Результаты MeDALL оправдали возложенные на АЧ надежды: при минимальных концентрациях IgE в исследуемой плазме – 0,05 нг/мл для АЧ MeDALL и 0,2 нг/мл для ImmunoCAP – коэффициенты вариации случайной величины составили 7,1 и 3,7 % соответственно.

Эти показатели свидетельствуют о высокой эффективности в определении сенсibilизации для широкого спектра аллергенов в различных когортах пациентов.

С 2019 г. также используется новый молекулярно-диагностический тест ALEX, который незначительно, но все же расширил спектр этиологически важных IgE-ассоциированных белков в диагностической панели. АЧ содержит 282 аллергенных реагента (157 аллергенных экстрактов и 125 молекулярных компонентов), при этом представлено подавляющее большинство семейств аэроаллергенов и перекрестно-реактивных пищевых аллергенов [30]. Этот прибор для исследования аллергии является первым мультиплексным тестом на аллергию *in vitro*, позволяющим одновременно измерять общий и специфический IgE ко множеству экстрактов аллергенов и молекулярных аллергенов. Такая комбинация в одном иммуноанализе позволяет определить наличие как истинной сенсibilизации IgE, так и перекрестной реактивности и экономит время и затраты, особенно у полисенсibilизированных пациентов [12, 24, 30].

Отличительная особенность ALEX – наличие ингибиторов CCD (cross-reactive carbohydrate determinants). CCD – это углеводные остатки гликопротеинов, отсутствующие в белках млекопитающих. Считается, что индукция АТ IgE против CCD у людей обусловлена воздействием пыльцы и/или укусами насекомых, таких как перепончатокрылые или клещи домашней пыли [22, 31]. Большинство препаратов натуральных аллергенов, полученных из растений или насекомых, содержат CCD, но они не проявляют свойства аллергенов *in vivo* и клинически незначимы. В то же время ситуация в исследованиях *in vitro* противоположна. Здесь встречаются ложноположительные результаты, причем их частота доходит до 30 % [32–34]. Этот показатель существенно осложняет клиническую интерпретацию результатов лабораторных исследований, которые не соответствуют клиническим проявлениям аллергии у пациента.

Существует 2 решения проблемы, связанных с АТ IgE к ингибиторам CCD. Первый – использование рекомбинантных белков в тесте. Из-за отсутствия посттрансляционного гликозилирования белков рекомбинантные белки, производимые бактерией *E. coli*, не содержат CCD и не подвергаются его распознаванию. Второй метод заключается в связывании АТ против CCD, которые могут присутствовать в тестируемой сыворотке, перед фактической аналитической процедурой или во время первой инкубации теста с использованием ингибитора анти-CCD [25].

Сравнительная оценка молекулярно-диагностических тестов ALEX и ISAC – тема многих исследований, среди которых можно отметить работу А.С.М. Platteel и соавт. В ней совпадение результатов

обеих систем составило 94,3 % [35]. Коэффициенты корреляции для отдельных образцов варьировали от 0,42 до 0,97, при этом в 95 % образцов значение Спирмена превышало 0,7, что может свидетельствовать о высокой степени связи 2 тестов, с одной стороны. С другой стороны, при прямом сравнении технической производительности Allergy Explorer и платформ ImmunoCAP авторы выявили недостаточную чувствительность теста ALEX как для цельных аллергенов, так и для компонентов аллергенов [36]. В дополнение к этому, как показали результаты исследования, динамический диапазон ALEX оказался значительно ниже и не превышал 36 kUA/L для цельных аллергенов и 38 kUA/L – для их компонентов, в то время как аналогичные показатели для ImmunoCAP составили от  $\geq 100$  до 150 kUA/L соответственно. Однако при анализе отрицательных результатов авторы отметили высокую согласованность обеих диагностических систем на специфический IgE: 99,7 % для цельных аллергенов и 98,9 % – для их компонентов соответственно.

В исследовании P. Gattinger и соавт. проведен прямой сравнительный анализ чувствительности АЧ ImmunoCAP ISAC (MeDALL Chip) и ALEX по широкому спектру аллергенов [37]. Поводом послужили несоответствия между результатами исследования R. González-Pérez и соавт., полученными при исследовании специфического IgE к аллергенам домашней пыли Der p 10 и Der p 11 у пациентов с атопическим дерматитом, в сравнении с результатами стандартных тестов на измерение уровня IgE, представленными в других научных публикациях [38].

P. Gattinger и соавт. провели серию экспериментов над измерением концентрации специфического IgE в АЧ ImmunoCAP ISAC и ALEX к следующим аллергенам: Der f 1, Der f 2, Der p 1, Der p 2, Der p 4, Der p 5, Der p 7, Der p 10, Der p 11, Der p 14, Der p 15, Der p 18, Der p 20, Der p 21, Der p 23, Der p 37. Результаты показали, что АЧ ALEX обнаружил Der p 10-специфический IgE только у 1 пациента с очень высокими уровнями IgE к Der p 10, а Der p 11-специфический IgE и вовсе не смог обнаружить. Кроме того, уровни IgE, специфичные для большинства протестированных аллергенов, были ниже при тестировании с помощью ALEX, чем с помощью технологии ImmunoCAP ISAC. Некоторые важные аллергены, такие как Der p 5, Der p 7, реже распознавались с помощью ALEX MacroArray по сравнению с ImmunoCAP ISAC [37]. В качестве причины более низкого уровня специфических IgE-АТ у ALEX авторы исследования называют технические особенности данной технологии.

Безусловно, АЧ ISAC и ALEX совершили решительный прорыв в молекулярной диагностике АЗ. Помимо высокой эффективности результатов тестов, проведение самой процедуры определения клини-

чески значимых аллергенов по комфортности равносильно обычному забору крови и не включает болезненные скарификационные манипуляции. Однако, несмотря на очевидные преимущества АЧ, они имеют ряд ограничений, которые не позволяют этому методу широко применяться в рутинной практике врача. Среди недостатков АЧ можно выделить следующие:

- полуколичественные измерения (значения указаны в стандартизованных единицах – ISU);
- высокая стоимость проведения анализов;
- ограниченный набор аллергенов, доступных на АЧ.

Важно учитывать, что при проведении мультиплексного тестирования могут возникать положительные результаты, которые не имеют клинической значимости в настоящий момент. Тем не менее такие молекулы могут иметь значение для прогнозирования аллергических симптомов в будущем. Данный подход может применяться только в качестве прогнозирования будущих аллергических симптомов и не предполагает непосредственного лечения аллергии в текущий момент. Сравнительная характеристика ImmunoCAP ISAC и Allergy Explorer (ALEX) представлена в табл. 1.

### Географические особенности сенсibilизации к аллергенам

Возникновение и клинические симптомы АЗ в значительной степени зависят от окружающей среды, что делает маловероятным существование одного спектра сенсibilизации для всего населения [39]. Как правило, можно выделить определенный набор аллергенов, который специфичен для конкретного региона и клинически значим для преобладающего числа жителей. Наличие множественной косенсibilизации к широкому набору аллергенов, даже специфических для конкретной местности, создает значительные препятствия для диагностики и подбора терапии АЗ. Патогенез развития АЗ, соответственно, тоже имеет особенности, вследствие чего разные аллергены вызывают широкий спектр клинических проявлений сенсibilизации – от небольшой ринореи до тяжелых приступов бронхиальной астмы.

Зависимость профиля аллергенов от географических особенностей наглядно продемонстрировали исследователи из Китая. Результаты исследования свидетельствуют о том, что на юге и востоке Китая распространена аллергия на домашних пылевых клещей, в то время как жители западных и северных регионов страдают от аллергии на пыльцу, что показывает значимые различия в спектре триггерных и клинически значимых аллергенов в пределах одной страны [40]. В странах, чья территория включает регионы с большим разнообразием погодных,

Таблица 1. Сравнительная характеристика ImmunoCAP ISAC и Allergy Explorer (ALEX)

Table 1. Comparative characteristic of ImmunoCAP ISAC and Allergy Explorer (ALEX)

Характеристика Characteristic	ImmunoCAP ISAC	Allergy Explorer (ALEX)
Количество аллергенов на матрице Number of allergens on the matrix	170	282
Количество молекул аллергена Number of allergen molecules	170	125
Количество экстрактов аллергена Number of allergen extracts	0	157
Чувствительность Sensitivity	Высокая High	Ниже, чем у ImmunoCAP ISAC Lower than ImmunoCAP ISAC
Технология Materials	Твердая матрица (стеклянная, пластиковая или кремниевая пластинка) Solid matrix (glass, plastic or silicon wafer)	Твердофазный иммуноферментный анализ, основанный на технологии использования наночастиц в качестве носителей аллергена Solid-phase ELISA based on using nanoparticles as allergen carriers
Метод определения специфических IgE Method for determining specific IgE	Полуколичественный Semi-quantitative	Количественный Quantitative
Единицы измерений Units of measurement	ISU-E	kU/L
Количество необходимой сыворотки крови Blood serum required	35 µl	100 µl
Блокирование CCD CCD blocking	Нет No	Да Yes
Обнаружение CCD CCD detection	Да Yes	Да Yes

**Примечание.** IgE – иммуноглобулин класса E; CCD (cross-reactive carbohydrate determinants) – перекрестно-реактивные углеводные детерминанты.

*Note.* IgE – immunoglobulin class E; CCD – cross-reactive carbohydrate determinants.

природных и экологических ресурсов, спектры сенсibilизации могут различаться еще сильнее. Так, в Северной и Центральной Европе пыльца березы – наиболее распространенная причина аллергического ринита и астмы, в то время как в Индии основные источники аллергенов – пыльца растений, споры грибов, продукты питания, насекомые и пылевые клещи [41]. В исследовании М. Kiewiet и соавт. продемонстрированы различия в 9 регионах Европы: наблюдалось выраженное расхождение в доминирующих аллергенах даже в близких городах, что важно для подбора точного лечения [42].

В Российской Федерации данная тенденция также сохраняется, при этом спектры сенсibilизации могут различаться даже в близко расположенных регионах. На основании доступных данных сложно интерпретировать характерные паттерны сенсibilизации ввиду различных методов диагностики, временных промежутков исследований, возрастных когорт пациентов, климатических и географических

условий. Возможно приблизительно оценить наиболее важные аллергены для определенных регионов РФ и доказать, насколько разнообразны спектры сенсibilизации на территории страны. Объединив данные из проведенных исследований об АЗ в различных регионах России, мы сравнили профили сенсibilизации пациентов и выявили наиболее значимые региональные аллергены.

В данной работе проанализирована доступная научная литература и обобщены результаты кожных прик-тестов, проводимых в 12 регионах РФ (рис. 2–17, табл. 2), и результаты тестирования с использованием АЧ. Так, в южных регионах (Астрахани, Ростовской области, Республике Дагестан) среди респираторных аллергенов преобладает сенсibilизация к сорным травам, а в ряде регионов средней полосы России (Нижем Новгороде, Перми, Курской и Московской областях) – сенсibilизация к пыльце деревьев. Однако в разных регионах использованы неодинаковые наборы тестируемых аллергенов и, как



Рис. 2. Часть карты России с обозначением регионов, проанализированных с использованием доступной литературы

Fig. 2. Part of Russia showing regions analyzed using available literature

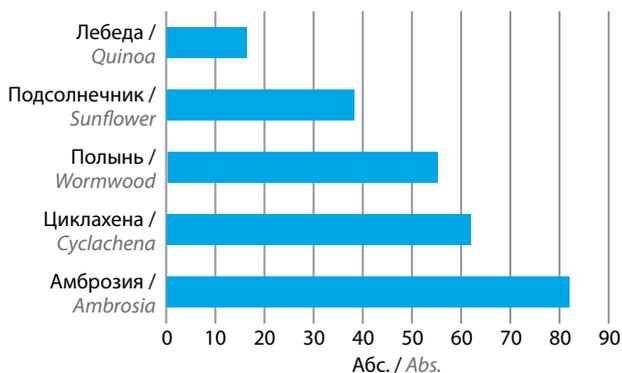


Рис. 3. Спектры наиболее распространенных аллергенов для Ростовской области

Fig. 3. Spectrum of the most common allergens for Rostov Oblast

правило, в виде экстрактов, а пищевые и бытовые были представлены только в единичных работах. Именно поэтому имеющиеся в настоящий момент данные не только не позволяют оценить спектр молекулярных аллергических компонентов, но и составить полную картину сенсibilизации на территории страны. Вследствие этого для достижения данной цели необходимо провести ряд дополнительных исследований с использованием аллергокомпонентной диагностики и унифицированной панели аллергенов.

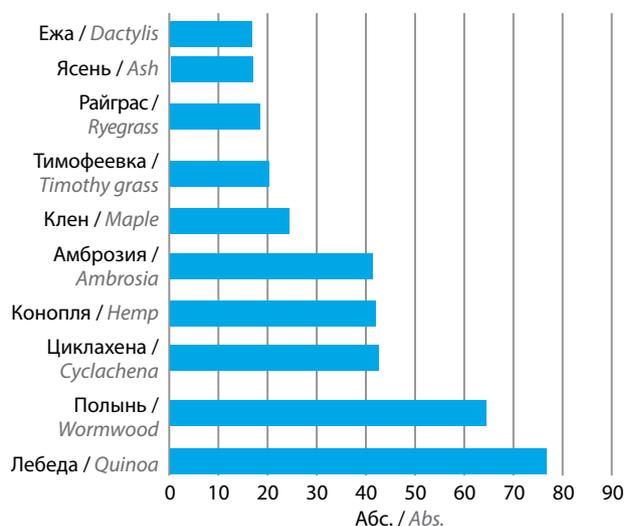


Рис. 4. Спектры наиболее распространенных аллергенов для Астрахани

Fig. 4. Spectrum of the most common allergens for Astrakhan

По результатам проведенного анализа литературы были выявлены наиболее распространенные аллергены для каждого региона, информация о которых представлена в виде гистограмм абсолютных чисел (абс.) сенсibilизации пациентов к аллергенам (см. рис. 3–17).

Таблица 2. Регионы и особенности сенсibilизации [43–55]  
Table 2. Regions and peculiarities of sensitization [43–55]

1	2	3	Наблюдаемая сенсibilизация, число сенсibilизированных лиц, % Observed sensitization, number of sensitized, %							10		
			4	5	6	7	8	9				
Ростовская область Rostov Oblast [43, 44]	2015	Кожные прик-тесты Skin prick tests	Амброзия (82,1) Ambrosia	Лебеда (16,3) Quinoa	Полынь (54,6) Wormwood	Циклахена (65,3) Cyclachena	Подсолнечник (38,2) Sunflower	–	35			
			Акация (13,4) Acacia	Ольха (11,69) Alder	Каштан (16,81) Chestnut	Липа (12,58) Linden	Клен (13,43) Maple	Ясень (2,54) Ash				
	2023	Иммунохемилюминесцентный анализ с использованием анализатора «Иммулайт 2000 ХРi» Chemiluminescence Immunoassay using Immulite 2000 ХРi	Орешник (18,2) Hazel	Дуб (15,91) Oak	Береза (15,08) Birch	Бузина (24,35) Elderberry	Ель (4,24) Spruce	Амброзия (28,47) Ambrosia	118			
			Полынь (8,27) Wormwood	Лебеда (19,28) Quinoa	Подсолнечник (13,42) Sunflower	Конопля (5,85) Hemp	Ромашка аптечная (10,06) Chamomile	Циклахена (9,27) Cyclachena				
			Мяглик (16,78) Bluegrass	Полевика (31,61) Agrostis	Костер (30,21) Bromus	Ежа (16,84) Dactylis	Крапива (5,93) Nettle	Лисохвост (15,98) Alopecurus				
			Пырей (14,21) Wheatgrass	Одуванчик (9,21) Dandelion	Овсяница (22,91) Fescue	Тимофеевка (25,14) Timothy grass	–	–				
			Ясень (17,1) Ash	Клен (24,6) Maple	Тимофеевка (20,6) Timothy grass	Ежа (17,6) Dactylis	Райграс (18,7) Ryegrass	Конопля (42,2) Hemp		374		
			Полынь (64,7) Wormwood	Лебеда (77) Quinoa	Амброзия (41,7) Ambrosia	Циклахена (42,8) Cyclachena	–	–				
			Астрахань Astrakhan [45]	2010	Кожные прик-тесты Skin prick tests	–	–	–		–	–	–

Продолжение табл. 2  
Continuation of table 2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Нижний Новгород Nizhny Novgorod [46]	2019	Кожные прик-тесты Skin prick tests	Аллергены домашней пыли (44,0) House dust allergens	Библиотечная пыль (24,0) Library dust	Клещи домашней пыли (42,0) House dust mite	Аллергены кошки (30,0) Cat allergens	Перо подушки (15,0) Feather pillows	Перхоть лошади (16,0) Horse dander	98
			Перхоть собак (6,0) Dog dander	Пыльца де- ревьев (58,0) Tree pollen	Злаковые (43,0) Cereals	Пыльца сорных трав (39,0) Weed pollen	—	—	
Москва Moscow [47]	2022	Кожные прик-тесты Skin prick tests	Яйцо (38,0) Egg	Коровье моло- ко (27,8) Cow's milk	Соя (2,5) Soybeans	Пшеница (7,6) Wheat	Рыба (10,1) Fish	Орехи (3,8) Nuts	79
			Пыльца деревь- ев, смесь (66,9) Mix of tree pollen	Пыльца трав, смесь (37,8) Mix of herb pollen	Пыльца сорняков, смесь (27,1) Mix of weed pollen	Клещ домашней пыли (37,8) House dust mite	Кошка (62,1) Cat	Собака (41,7) Dog	
Москов- ская область Moscow Oblast [48]	2021	Кожные прик-тесты Skin prick tests	Береза (61,3) Birch	Тимофеевка (27,1) Timothy grass	Кипарис (18,4) Cypress	Польна (16,5) Wormwood	Кедр (13,5) Cedar	Амброзия (12,6) Ambrosia	103
			Плесень Alternaria (3,9) Alternaria mold	—	—	—	—	—	
Республи- ка Алтай Republic [49]	2019	Кожные прик-тесты Skin prick tests	Клещ домашней пыли (42,9) House dust mite	Пыльца березы (34,3) Birch pollen	Эпителий кошки (25,7) Cat epithelium	Пыльца луговых трав (17,8) Meadow grass pollen	Эпителий собак (10,9) Dog epithelium	Пыльца полыни (13,2) Wormwood	128
			Пищевые аллер- гены (21,1) Food allergy	Белок курино- го яйца (10,1) Egg white protein	Коровье молоко (9,3) Cow's milk	—	—	—	
Республи- ка Коми Komi Republic [50]	2012	Кожные прик-тесты Skin prick tests	Ольха (46,8) Alder	Береза (54,6) Birch	Тополь (35,2) Poplar	Лещина (24,2) Hazel	Сосна (44,0) Pine	Ель (40,6) Spruce	293

Продолжение табл. 2  
Continuation of table 2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Республика Коми Komi Republic [50]	2012	Кожные прик-тесты Skin prick tests	Сирень (27,0) Lilac	Тимофеевка (48,8) Timothy grass	Ежа (45,1) Dactylis	Овсяница (47,1) Fescue	Костер (35,5) Bromus	Мятлик (43,7) Bluegrass	293
			Лисохвост (38,6) Alopecurus	Рожь (25,9) Rye	Райграс (37,9) Ryegrass	Кукуруза (17,1) Corn	Пырей (12,3) Wheatgrass	Подсолнечник (22,2) Sunflower	
			Полынь (34,5) Wormwood	Крапива (24,9) Nettle	Лебеда (22,9) Quinoa	Подорожник (7,5) Plantain	Одуванчик (12,3) Dandelion	Амброзия (22,2) Ambrosia	
Республика Башкортостан Bashkortostan Republic [50]	2012	Кожные прик-тесты Skin prick tests	Ольха (30,0) Alder	Береза (34,0) Birch	Лещина (30,0) Hazel	Тимофеевка (40,0) Timothy grass	Ежа (42,0) Dactylis	Овсяница (40,0) Fescue	100
			Костер (38,0) Bromus	Мятлик (27,0) Bluegrass	Лисохвост (25,0) Alopecurus	Рожь (18,0) Rye	Райграс (42,0) Ryegrass	Пырей (38,0) Wheatgrass	
			Подсолнечник (30,0) Sunflower	Полынь (33,0) Wormwood	Лебеда (28,0) Quinoa	Одуванчик (2,0) Dandelion	Амброзия (8,0) Ambrosia	—	
Оренбургская область Orenburg Oblast [50]	2012	Кожные прик-тесты Skin prick tests	Ольха (17,1) Alder	Береза (16,0) Birch	Лещина (11,9) Hazel	Тимофеевка (14,9) Timothy grass	Ежа (15,7) Dactylis	Овсяница (10,8) Fescue	268
			Костер (14,2) Bromus	Мятлик (9,2) Bluegrass	Лисохвост (4,5) Alopecurus	Рожь (4,1) Rye	Райграс (12,3) Ryegrass	Кукуруза (2,2) Corn	
			Пырей (15,7) Wheatgrass	Подсолнечник (29,1) Sunflower	Полынь (57,5) Wormwood	Лебеда (56,7) Quinoa	Одуванчик (10,8) Dandelion	Амброзия (36,9) Ambrosia	
Республика Дагестан Dagestan Republic [51]	2019	Кожные прик-тесты Skin prick tests	Ежа (68,1) Dactylis	Овсяница (42,2) Fescue	Костер (38,8) Bromus	Мятлик (31) Bluegrass	Рожь (44,2) Rye	Кукуруза (38,2) Corn	631

Продолжение табл. 2  
Continuation of table 2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Республика Дагестан Dagestan Republic [51]	2019	Кожные прик-тесты Skin prick tests	Подсолнечник (17,3) Sunflower	Полынь (52,8) Wormwood	Амброзия (49,2) Ambrosia	Циклахена (38,8) Cyclachena	Конопля (3,7) Hemp	Орешник (2,8) Hazel	631
			Береза (1,2) Birch	–	–	–	–	–	
Чеченская Республика Chechen Republic [51]	2019	Кожные прик-тесты Skin prick tests	Злаковые (51,1) Cereals	Клещи домашней пыли (52,5) House dust mite	Грибковые аллергены (8,4) Fungal allergens	Эпидермальные аллергены (8,7) Epidermal allergens	Тараканы (0,71) Cockroaches	Амброзия (26,6) Ambrosia	845
			Полынь (20,7) Wormwood	–	–	–	–	–	
Пермь Perm [52]	2019	Кожные прик-тесты Skin prick tests	Береза (26,5) Birch	Орешник (20,8) Hazel	Ольха (12,1) Alder	Тополь (8,0) Poplar	Овсяница (6,3) Fescue	–	508
Курская область Kursk Oblast [53]	2010	Кожные скарификационные пробы Skin prick tests	Тимофеевка (28,9) Timothy grass	Ежа (28,9) Dactylis	Полынь (26,5) Wormwood	Овсяница (25,3) Fescue	Лебеда (19,3) Quinoa	Мятлик (19,3) Bluegrass	105
			Райграс (16,9) Ryegrass	Лисохвост (15,7) Alopecurus	Костер (12,0) Bromus	Одуванчик (8,4) Dandelion	Пырей (7,2) Wheatgrass	Амброзия (4,8) Ambrosia	
			Циклахена (3,6) Cyclachena	Рожь (12,0) Rye	Подсолнечник (9,6) Sunflower	Береза (12,0) Birch	Ольха (10,8) Alder	Лещина (9,6) Hazel	
			Дуб (7,2) Oak	Ясень (7,2) Ash	Кукуруза (6,0) Corn	Клен (4,8) Maple	Шерсть кошки (16,9) Cat fur	Шерсть собаки (7,2) Dog fur	
			Перхоть лошади (4,8) Horse dust	Шерсть овцы (1,2) Sheep's wool	–	–	–	–	

Окончание табл. 2  
The end of table 2

1	Республика Саха (Якутия) Sakha Republic (Yakutia) [54]	Магнитогорск (Челябинская область) Magnitogorsk (Chelyabinsk Oblast) [55]
2	2017	2022
3	Кожные прик-тесты Skin prick tests	Кожные прик-тесты Skin prick tests
4	Береза (49,8) Birch	Аллергены кошки (64,78) Cat allergens
5	Полынь (30,1) Wormwood	Аллергены собаки (52,11) Dog allergens
6	Луговые травы (20,1) Meadow grass allergens	Береза (47,82) Birch
7	-	Тимофеевка (20,28) Timothy grass
8	-	Полынь (23,54) Wormwood
9	-	Клещи домашней пыли (4,23) House dust mite
10	100	71

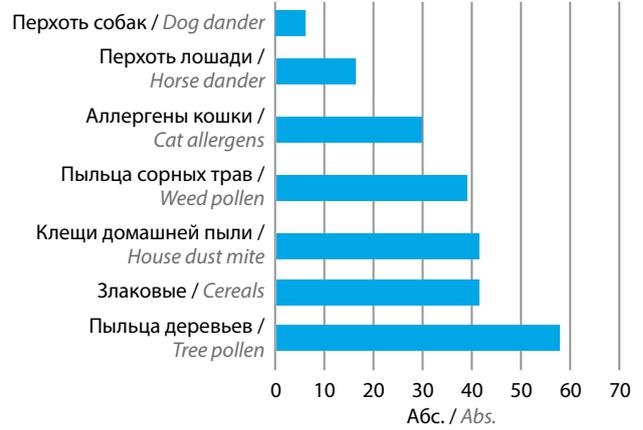


Рис. 5. Спектры наиболее распространенных аллергенов для Нижнего Новгорода

Fig. 5. Spectrum of the most common allergens for Nizhny Novgorod

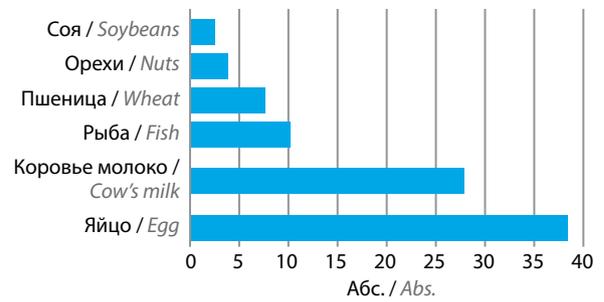


Рис. 6. Спектры наиболее распространенных аллергенов для Москвы

Fig. 6. Spectrum of the most common allergens for Moscow

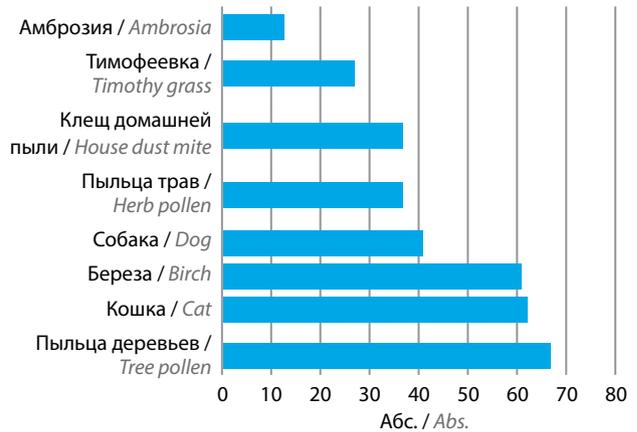


Рис. 7. Спектры наиболее распространенных аллергенов для Московской области

Fig. 7. Spectrum of the most common allergens for Moscow Oblast

Традиционно клиницисты используют кожные алергопробы с экстрактами аллергенов и определение уровня sIgE в сыворотке крови в сочетании с данными клинического анамнеза для диагностики сенсибилизации. Однако эти методы не способны достоверно и безопасно определить ко-сенсибилизацию к нескольким аллергенам [56].

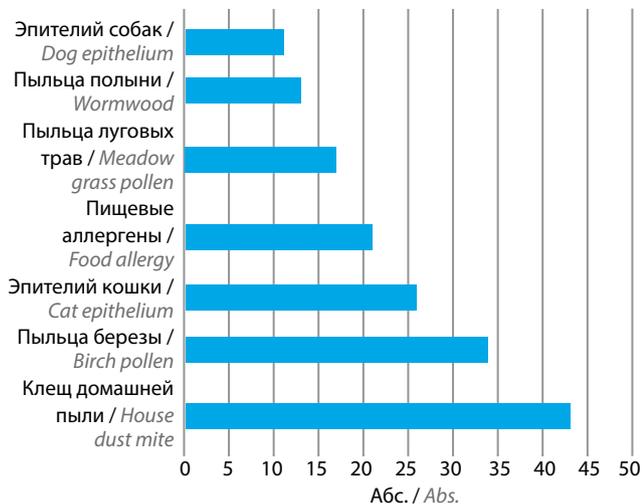


Рис. 8. Спектры наиболее распространенных аллергенов для Республики Алтай

Fig. 8. Spectrum of the most common allergens for Altai Republic



Рис. 9. Спектры наиболее распространенных аллергенов для Республики Коми

Fig. 9. Spectrum of the most common allergens for Komi Republic

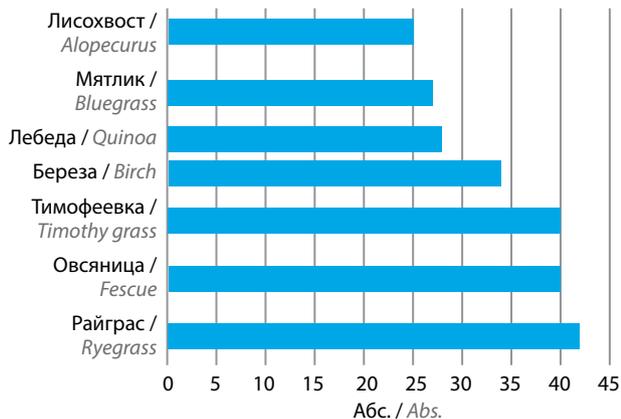


Рис. 10. Спектры наиболее распространенных аллергенов для Республики Башкортостан

Fig. 10. Spectrum of the most common allergens for Bashkortostan Republic

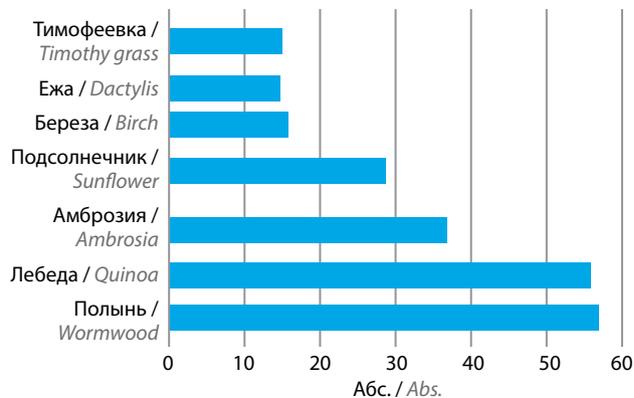


Рис. 11. Спектры наиболее распространенных аллергенов для Оренбургской области

Fig. 11. Spectrum of the most common allergens for Orenburg Oblast

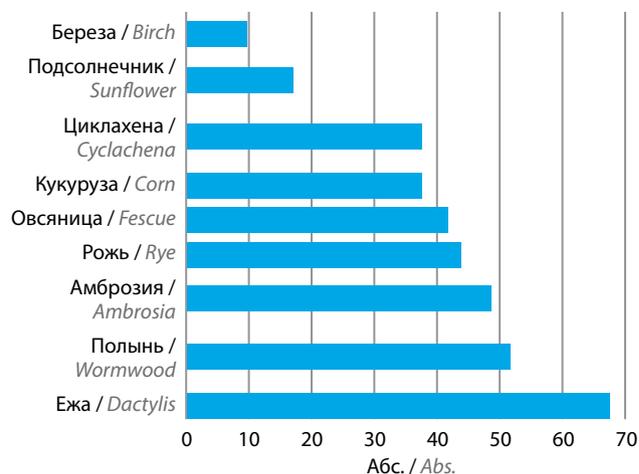


Рис. 12. Спектры наиболее распространенных аллергенов для Республики Дагестан

Fig. 12. Spectrum of the most common allergens for Dagestan Republic

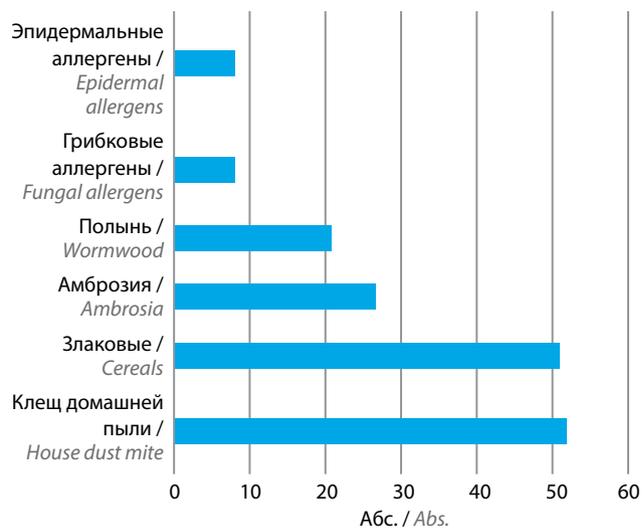


Рис. 13. Спектры наиболее распространенных аллергенов для Чеченской Республики

Fig. 13. Spectrum of the most common allergens for Chechen Republic

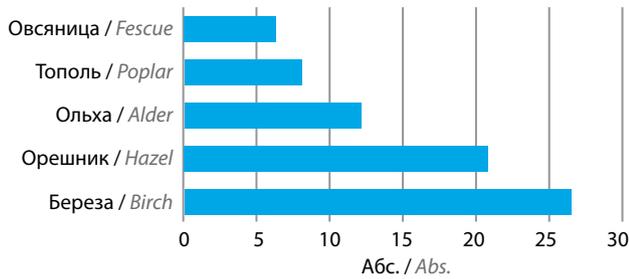


Рис. 14. Спектры наиболее распространенных аллергенов для Перми  
Fig. 14. Spectrum of the most common allergens for Perm

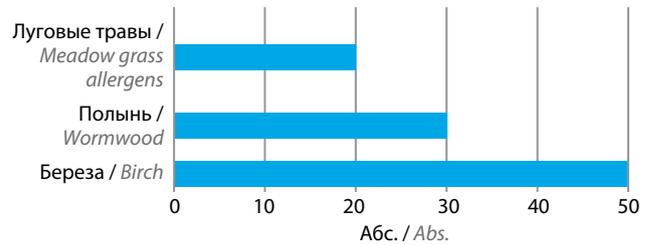


Рис. 16. Спектры наиболее распространенных аллергенов для Республики Саха (Якутия)  
Fig. 16. Spectrum of the most common allergens for Sakha Republic (Yakutia)

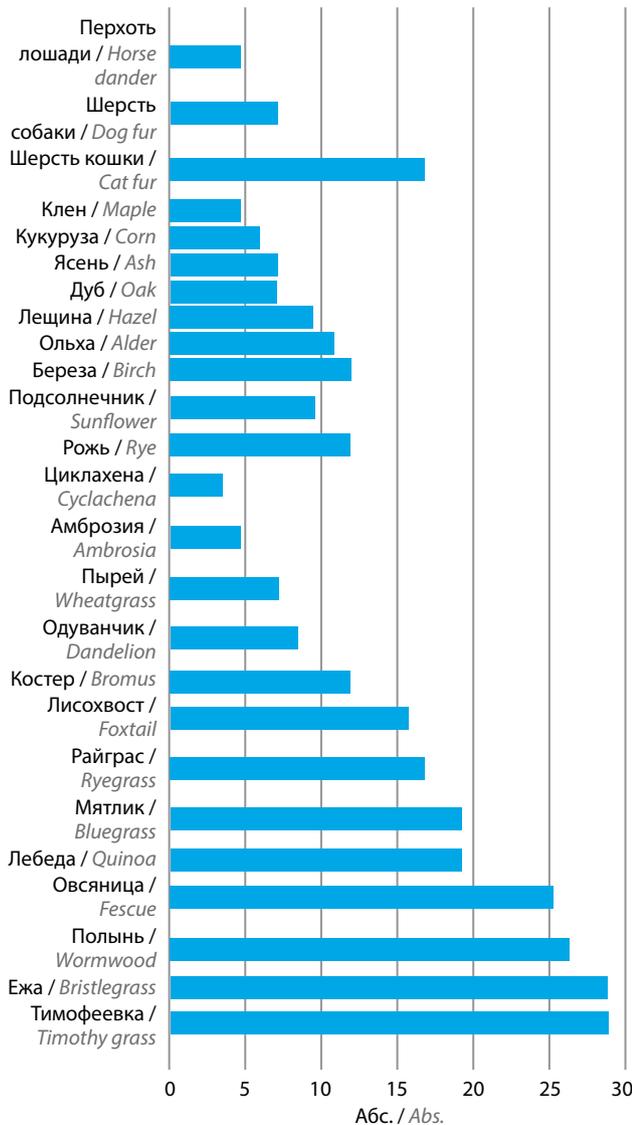


Рис. 15. Спектры наиболее распространенных аллергенов для Курской области  
Fig. 15. Spectrum of the most common allergens for Kursk Oblast

### Заключение

Высокая распространенность АЗ делает актуальным вопрос не просто симптоматического лечения

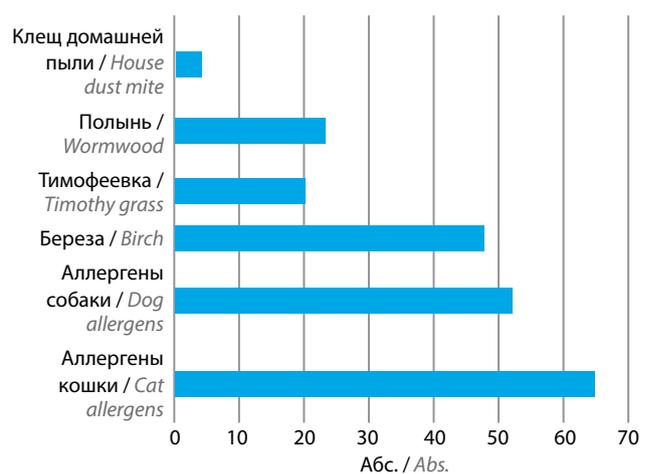


Рис. 17. Спектры наиболее распространенных аллергенов для Магнитогорска  
Fig. 17. Spectrum of the most common allergens for Magnitogorsk

пациентов, но и индивидуального подхода к ведению больных с помощью правильного подбора аллергенспецифической иммунотерапии. Для реализации этой цели важнейшим этапом является точное определение этиологии гиперсенсibilизации, причем с учетом особенностей профиля аллергенов в каждом регионе страны.

Безусловно, даже в случае высокоточных тестов сохраняются различия в оценке связывания IgE с линейными и конформационными эпитопами аллергена, при этом имеющиеся данные свидетельствуют о том, что IgE к линейным эпитомам несет больший риск побочных эффектов. Однако доля нежелательных явлений и ошибочных результатов при диагностике аллергии с помощью АЧ значительно ниже по сравнению с теми способами, которыми мы пользуемся сейчас.

Дальнейшему пониманию конкретных компонентов, связанных с аллергическими реакциями, будет способствовать использование мультиплексных анализов в научных исследованиях. Активно проводится поиск новых материалов для повышения чувствительности. Актуален вопрос высокой стоимости

АЧ, особенно в том случае, если каждый из них будет содержать все возможные аллергены. Для решения этой проблемы возможна разработка аллергопанелей,

чувствительных к профилю аллергенов в каждом отдельном регионе, что существенно снизит экономическую нагрузку на их производство.

## ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

1. Гушин И.С. Аллергия – поздний продукт эволюции иммунной системы. *Иммунология* 2019;40(2):43–57. DOI: 10.24411/0206-4952-2019-12007  
Gushchin I.S. Allergy – late product of the immune system evolution. *Immunologiya = Immunology* 2019;40(2):43–57. (In Russ.). DOI: 10.24411/0206-4952-2019-12007.]
2. Ruby P., Holgate S.T., Canonica G.W. et al. WAO white book on allergy. World Allergy Organization, 2013. 242 p.
3. van de Veen W., Akdis M. Mechanisms of immune regulation in allergy. *EAACI Global Atlas of Allergy* 2014:90–1. DOI:10.1111/imr.12555
4. Tulaeva I., Kratzer B., Campana R. et al. Preventive allergen-specific vaccination against allergy: mission possible? *Front Immunol* 2020;11:1368. DOI: 10.3389/fimmu.2020.01368
5. Тимошенко Д.О., Кофиади И.А., Гудима Г.О. и др. Эпигенетика бронхиальной астмы. *Иммунология* 2021;42(2):93–101. DOI: 10.33029/0206-4952-2021-42-2-93-101  
Timoshenko D.O., Kofiadi I.A., Gudima G.O. et al. Epigenetics of bronchial asthma. *Immunologiya = Immunology* 2021;42(2):93–101. (In Russ.). DOI: 10.33029/0206-4952-2021-42-2-93-101
6. Seité S., Taieb C., Lazic Strugar T. et al. Self-reported allergies in Russia and impact on skin. *SAGE Open Med* 2020;8:2050312120957916. DOI: 10.1177/2050312120957916
7. Гушин И.С. Сомнения и надежды в учении об аллергии. *Иммунология* 2023;44(4):471–80. DOI: 10.33029/0206-4952-2023-44-4-471-480  
Gushchin I.S. Doubts and hopes of allergology. *Immunologiya = Immunology* 2023;44(4):471–80. (In Russ.). DOI: 10.33029/0206-4952-2023-44-4-471-480
8. Федеральные клинические рекомендации по диагностике аллергических заболеваний. 2015. Российская ассоциация аллергологов и клинических иммунологов (РААКИ). URL: [https://raaci.ru/dat/pdf/klinicheskie\\_rekomendacii\\_po\\_diagnostike\\_az.pdf](https://raaci.ru/dat/pdf/klinicheskie_rekomendacii_po_diagnostike_az.pdf).  
Federal clinical guidelines for the diagnosis of allergic diseases. 2015. Russian Association of Allergists and Clinical Immunologists (RAACI). (In Russ.). URL: [https://raaci.ru/dat/pdf/klinicheskie\\_rekomendacii\\_po\\_diagnostike\\_az.pdf](https://raaci.ru/dat/pdf/klinicheskie_rekomendacii_po_diagnostike_az.pdf).
9. Ansotegui I.J., Melioli G., Canonica G.W. et al. IgE allergy diagnostics and other relevant tests in allergy, a World Allergy Organization position paper. *World Allergy Organ J* 2020;13(2):100080. DOI: 10.1016/j.waojou.2019.100080
10. Khokha R.N. Diagnostics of allergies: realities and prospects. Part 1. *Journal of the Grodno State Medical University* 2020;18(3):329–34. DOI:10.25298/2221-8785-2020-18-3-329-334
11. Балаболкин И.И., Мачарадзе Д.Ш. Кожные пробы: показания и противопоказания. *Вопросы современной педиатрии* 2013;12(3):31–7. DOI: 10.15690/vsp.v12i3.678  
Balabolkin I.I., Macharadze D.Sh. Skin tests: indications and contraindications. *Voprosy sovremennoy pediatrii = Current Pediatrics* 2013;12(3):31–7. (In Russ.). DOI: 10.15690/vsp.v12i3.678
12. Huang H.J., Campana R., Akinfenwa O. et al. Microarray-based allergy diagnosis: quo vadis? *Front Immunol* 2021;11:594978. DOI: 10.3389/fimmu.2020.594978
13. Brunetto B., Tinghino R., Braschi M.C. et al. Characterization and comparison of commercially available mite extracts for *in vivo* diagnosis. *Allergy* 2010;65(2):184–90. DOI: 10.1111/j.1398-9995.2009.02150.x
14. Елисютина О.Г., Шершакова Н.Н., Смирнов В.В. и др. Новые подходы к аллерген-специфической иммунотерапии (АСИТ): разработка рекомбинантной вакцины от аллергии на пыльцу березы. *Иммунология* 2022;43(6):621–31. DOI: 10.33029/0206-4952-2022-42-6-621-631  
Elisyutina O.G., Shershakova N.N., Smirnov V.V. et al. New approaches to allergenspecific immunotherapy (ASIT): development of a recombinant vaccine against birch pollen allergy. *Immunologiya = Immunology* 2022;43(6):621–31. (In Russ.). DOI: 10.33029/0206-4952-2022-42-6-621-631
15. Ковалева Е.В., Рыбалкин С.П., Шангараева В.А. и др. Изучение репродуктивной токсичности рекомбинантной аллерговакцины для лечения аллергии на пыльцу березы и перекрестные аллергены. *Иммунология*. 2023;44(6):721–30. DOI: 10.33029/0206-4952-2023-44-6-721-730  
Kovaleva E.V., Rybalkin S.P., Shangaraeva V.A. et al. Study of reproductive toxicity of the recombinant allergy vaccine for the treatment of allergy to birch pollen and cross-related allergens. *Immunologiya = Immunology* 2023;44(6):721–30. (In Russ.). DOI: 10.33029/0206-4952-2023-44-6-721-730
16. Dramburg S., Hilger C., Santos A.F. et al. EAACI molecular allergology user's guide 2.0. *Pediatr Allergy Immunol* 2023;34 Suppl. 28:e13854. DOI: 10.1111/pai.13854
17. Skrindo I., Lupinek C., Valenta R. et al. The use of the MeDALL-chip to assess IgE sensitization: a new diagnostic tool for allergic disease? *Pediatr Allergy Immunol* 2015;26(3):239–46. DOI: 10.1111/pai.12366
18. Hiller R., Laffer S., Harwanegg C. et al. Microarrayed allergen molecules: diagnostic gatekeepers for allergy treatment. *FASEB J* 2002;16(3):414–6. DOI: 10.1096/fj.01-0711fj
19. Lupinek C., Wollmann E., Baar A. et al. Advances in allergen-microarray technology for diagnosis and monitoring of allergy: the MeDALL allergen-chip. *Methods* 2014;66(1):106–19. DOI: 10.1016/j.ymeth.2013.10.008
20. Hamilton R. Microarray technology applied to human allergic disease. *Microarrays (Basel)* 2017;6(1):3. DOI: 10.3390/microarrays6010003
21. Canonica G.W., Ansotegui I.J., Pawankar R. et al. A WAO – ARIA – GA<sup>2</sup>LEN consensus document on molecular-based allergy diagnostics. *World Allergy Organ J* 2013;6(1):17. DOI: 10.1186/1939-4551-6-17
22. Matricardi P.M., Kleine-Tebbe J., Hoffmann H.J. et al. EAACI molecular allergology user's guide. *Pediatr Allergy Immunol* 2016;27(Suppl. 23):1–250. DOI: 10.1111/pai.12563
23. Wide L., Bennich H., Johansson S.G.O. Diagnosis of allergy by an *in-vitro* test for allergen antibodies. *Lancet* 1967;2(7526):1105–7. DOI: 10.1016/s0140-6736(67)90615-0
24. Popescu F.D., Vieru M. Precision medicine allergy immunoassay methods for assessing immunoglobulin E sensitization to aeroallergen molecules. *World J Methodol* 2018;8(3):17–36. DOI: 10.5662/wjm.v8.i3.17
25. Lis K., Bartuzi Z. Selected technical aspects of molecular allergy diagnostics. *Curr Issues Mol Biol* 2023;45(7):5481–93. DOI: 10.3390/cimb45070347
26. Maesa J.M., Dobrzynska A., Baños-Álvarez E. et al. ImmunoCAP ISAC in food allergy diagnosis: a systematic review

- of diagnostic test accuracy. *Clin Exp Allergy* 2021;51(6):778–89. DOI: 10.1111/cea.13871
27. Melioli G., Bonifazi F., Bonini S. et al. The ImmunoCAP ISAC molecular allergology approach in adult multi-sensitized Italian patients with respiratory symptoms. *Clin Biochem* 2011;44(12):1005–11. DOI: 10.1016/j.clinbiochem.2011.05.007
  28. Lupinek C., Marth K., Niederberger V. et al. Analysis of serum IgE reactivity profiles with microarrayed allergens indicates absence of *de novo* IgE sensitizations in adults. *J Allergy Clin Immunol* 2012;130(6):1418–20.e4. DOI: 10.1016/j.jaci.2012.06.028
  29. Cabrera-Freitag P., Goikoetxea M.J., Beorlegui C. et al. Can component-based microarray replace fluorescent enzymeimmunoassay in the diagnosis of grass and cypress pollen allergy? *Clin Exp Allergy* 2011;41(10):1440–6. DOI: 10.1111/j.1365-2222.2011.03818.x
  30. Heffler E., Puggioni F., Peveri S. et al. Extended IgE profile based on an allergen macroarray: a novel tool for precision medicine in allergy diagnosis. *World Allergy Organ J.* 2018;11(1):7. DOI: 10.1186/s40413-018-0186-3
  31. Kochuyt A.M., Van Hoeyveld E.M., Stevens E.M. Prevalence and clinical relevance of specific immunoglobulin E to pollen caused by sting-induced specific immunoglobulin E to cross-reacting carbohydrate determinants in *Hymenoptera* venoms. *Clin Exp Allergy* 2005;35(4):441–7. DOI: 10.1111/j.1365-2222.2005.02217.x
  32. Malandain H., Giroux F., Cano Y. The influence of carbohydrate structures present in common allergen sources on specific IgE results. *Eur Ann Allergy Clin Immunol* 2007;39(7):216–20. PMID: 18236996
  33. Mari A. IgE to cross-reactive carbohydrate determinants: analysis of the distribution and appraisal of the *in vivo* and *in vitro* reactivity. *Int Arch Allergy Immunol* 2002;129(4):286–95. DOI: 10.1159/000067591
  34. Altmann F. Coping with cross-reactive carbohydrate determinants in allergy diagnosis. *Allergo J Int* 2016;25(4):98–105. DOI: 10.1007/s40629-016-0115-3
  35. Platteel A.C.M., van der Pol P., Murk J.L. et al. A comprehensive comparison between ISAC and ALEX2 multiplex test systems. *Clin Chem Lab Med* 2022;60(7):1046–52. DOI: 10.1515/cclm-2022-0191
  36. Нерелиус Ш., Андерссон М., Сегаард Л. и др. Сравнительное исследование Allergy Explorer (ALEX) и платформ ImmunoCAP. Российский аллергологический журнал 2020;17(1):66–84. DOI:10.36691/RAJ.2.020.17.1.007  
Nerelius C., Andersson M., Sogaard L. et al. Comparative study of Allergy Explorer (ALEX) versus ImmunoCAP platforms. *Rossiyskiy allergologicheskiy zhurnal = Russian Journal of Allergy* 2020;17(1):66–84. (In Russ.). DOI:10.36691/RAJ.2.020.17.1.007
  37. Gattinger P., Huang H.J., Valenta R., Vrtala S. Response to González-Pérez et al. *J Invest Dermatol* 2022;142(3 Pt A):723–6. DOI: 10.1016/j.jid.2021.09.006
  38. González-Pérez R., Poza-Guedes P., Pineda F. et al. Atopic dermatitis and frequency of Der p 11 binding as a major allergen revisited. *J Invest Dermatol* 2022;142(3 Pt A):721–3. DOI: 10.1016/j.jid.2021.05.037
  39. Murrison L.B., Brandt E.B., Myers J.B. et al. Environmental exposures and mechanisms in allergy and asthma development. *J Clin Invest* 2019;129(4):1504–15. DOI: 10.1172/JCI124612
  40. Luo W., Wang D., Zhang T. et al. Prevalence patterns of allergen sensitization by region, gender, age, and season among patients with allergic symptoms in mainland China: A four-year multicenter study. *Allergy* 2021;76(2):589–93. DOI: 10.1111/all.14597
  41. Krishna M.T., Mahesh P.A., Vedanthan P. et al. An appraisal of allergic disorders in India and an urgent call for action. *World Allergy Organ J* 2020;13(7):100446. DOI: 10.1016/j.waojou.2020.100446
  42. Kiewiet M.B.G., Lupinek C., Vrtala S. et al. A molecular sensitization map of European children reveals exposome- and climate-dependent sensitization profiles. *Allergy* 2023;78(7):2007–18. DOI: 10.1111/all.15689
  43. Трофименко С.Л., Ракова К.А. Заболеваемость поллинозом в Ростове-на-Дону. Российская ринология 2015;23(1):36–9. DOI: 10.17116/rosrino201523136-39  
Trofimenko S., Rakova K. Pollen allergy in Rostov-on-Don. *Rossiyskaya rinologiya = Russian Rhinology* 2015;23(1):36–9. (In Russ.). DOI: 10.17116/rosrino201523136-39
  44. Лебеденко А.А., Семерник О.Е., Янченко В.В. и др. Спектр пылевой сенсибилизации у детей с аллергическими заболеваниями, проживающими на территории Ростовской области. Медицинский вестник Юга России 2023;14(1):50–5. DOI: 10.21886/2219-8075-2023-14-1-50-55  
Lebedenko A.A., Semernik O.E., Yanchenko V.V. et al. The spectrum of pollen sensitization in children with allergic diseases living in the Rostov region. *Meditinskii vestnik yuga Rossii = Medical Herald of the South of Russia* 2023;14(1):50–5. (In Russ.). DOI: 10.21886/2219-8075-2023-14-1-50-55
  45. Шамгунова Б.А., Чуйков Д.А., Замяткова Л.В. Клинико-эпидемиологическая характеристика поллинозов у взрослого населения Астраханской области. Астраханский медицинский журнал 2010;4:73–8.  
Shamgunova B., Chuykova D., Zaklyakova L. Clinical and epidemiological characteristics of hay fever in adults of Astrakhan region. *Astrakhanskiy meditsinskiy zhurnal = Astrakhan Medical Journal* 2010;4:73–8. (In Russ.).
  46. Нилова М.Ю., Туш Е.В., Елисеева Т.И. и др. Структура сенсибилизации к аэроаллергенам у детей с атопической бронхиальной астмой. Аллергология и иммунология в педиатрии 2019;2(57):17–23. DOI: 10.24411/2500-1175-2019-00008  
Nilova M., Tush E., Eliseeva T. et al. Structure of sensitization to aeroallergens in children with atopic bronchial asthma. *Allergologiya y immunologiya v pediatrii = Allergy and Immunology in Pediatrics* 2019;2(57):17–23. (In Russ.). DOI: 10.24411/2500-1175-2019-00008
  47. Смолкин Ю.С., Масальский С.С., Зайцева Г.В. и др. Спектр аллергической сенсибилизации у детей с атопическим дерматитом в первые 2 года жизни по результатам кожных проб. Вопросы питания 2022;91(6):50-60. DOI: 10.33029/0042-8833-2022-91-6-50-60  
Smolkin Yu.S., Masalskiy S.S., Zaytseva G.V., Smolkina O.Yu. Allergic sensitization in children with atopic dermatitis in the first 2 years of life according to the results of skin tests. *Voprosy pitaniia = Problems of Nutrition* 2022;91(6):50–60. DOI: 10.33029/0042-8833-2022-91-6-50-60. (In Russ.).
  48. Elisyutina O., Lupinek C., Fedenko E. et al. IgE-reactivity profiles to allergen molecules in Russian children with and without symptoms of allergy revealed by micro-array analysis. *Pediatr Allergy Immunol* 2021;32(2):251–63. DOI: 10.1111/pai.13354
  49. Шахова Н.В., Камалтынова Е.М., Лобанов Ю.Ф. и др. Распространенность аллергической и неаллергической бронхиальной астмы и спектр сенсибилизации среди детей дошкольного возраста, проживающих в городских условиях Алтайского края: популяционное одномоментное исследование. Российский вестник перинатологии и педиатрии 2019;64(1):88–93. DOI: 10.21508/1027-4065-2019-64-1-88-93  
Shakhova N.V., Kamaltynova E.M., Lobanov Yu.F. et al. The prevalence of allergic and non-allergic bronchial asthma and the spectrum of sensitization among children of preschool age living in urban areas of the Altai Territory: a momentary population study. *Rossiyskiy vestnik perinatologii i pediatrii = Russian Bulletin of Perinatology and Pediatrics* 2019;64(1):88–93. (In Russ.). DOI: 10.21508/1027-4065-2019-64-1-88-93
  50. Вахнина О.А., Зайнуллина К.С. Этиологический спектр пылевых аллергенов у больных поллинозом в Республике Коми. Практическая медицина 2012;6(61):69–72.

- Vahnina O.A., Zainullina K.S. Etiological spectrum of pollen allergens in patients with pollinosis in the Komi Republic. *Prakticheskaya meditsina = Practical Medicine* 2012; 6(61):69–72. (In Russ.).
51. Мачарадзе Д.Ш. Некоторые особенности распространенности респираторной аллергии на юге России. *Российский аллергологический журнал* 2019;18:23–8. DOI: 10.36691/RJA17  
Macharadze D. Some features of the prevalence of respiratory allergy in southern Russia. *Rossiyskiy allergologicheskiy zhurnal = Russian Journal of Allergy* 2019;18:23–8. (In Russ.). DOI: 10.36691/RJA17
52. Гушин М.О. О сенсибилизации детей школьного возраста к пылевым зернам растений Пермского края. В кн.: Молодая наука – практическому здравоохранению: материалы 92-й итоговой научно-практической конференции студентов, ординаторов, аспирантов, молодых ученых (до 35 лет) ПГМУ имени академика Е.А. Вагнера, Пермь, 15–16 апреля 2019 года. Пермь: Пермский государственный медицинский университет имени академика Е.А. Вагнера, 2019; с. 133–4. Gushchin M.O. On sensitization of school-age children to pollen grains of plants in the Perm region. In: *Young Science in practical healthcare: proceedings of the 92<sup>nd</sup> final Scientific and practical Conference of students, residents, postgraduates, young scientists (under 35 years old) Russian State Medical University named after Academician E.A. Wagner, Perm, April 15–16, 2019. Perm: Perm State Medical University named after Academician E.A. Wagner, 2019; p. 133–4. (In Russ.).*
53. Яковлева М.В., Лыкина Т.А. Факторы сенсибилизации при аллергическом рините в Курском регионе. В кн.: Молодежная наука и современность: материалы 75-й Всероссийской научной конференции студентов и молодых ученых с международным участием, посвященной 75-летию КГМУ. Курск: КГМУ, 2010; с. 46–7. Yakovleva M.V., Lykina T.A. Sensitization factors when rhinitis is included in Kursk region. In: *Materials of the 75<sup>th</sup> All-Russian Scientific Conference of students and young scientists with international participation: Youth science and modernity, dedicated to the 75<sup>th</sup> anniversary of KSMU. Kursk: KSMU, 2010; p. 46–7. (In Russ.).*
54. Иванова О.Н. Анализ показателей заболеваемости аллергическим ринитом среди детей Республики Саха (Якутия). *Вестник Северо-Восточного федерального университета им. М.К. Аммосова. Серия: Медицинские науки* 2017;3(08):12–6. Ivanova O.N. Analysis of the incidence of allergic rhinitis among children in the Sakha Republic (Yakutia). *Vestnik Severo-Vostochnogo federalnogo universiteta im. M.K. Ammosova. Seria meditsinskie nauki = Bulletin of the Northeastern Federal University named after M.K. Ammosov. Medical Sciences Series* 2017;3(08):12–6. (In Russ.).
55. Андропова Е.В., Лепешкова Т.С. Особенности сенсибилизации у детей раннего возраста с аллергическим ринитом, проживающих в городах Магнитогорск и Белорецк. *Аллергология и иммунология в педиатрии* 2022;4:14–21. DOI: 10.53529/2500-1175-2022-4-14-21  
Andronova E.V., Lepeshkova T.S. Sensitization peculiarities for children with allergic rhinitis living in Magnitogorsk and Beloretsk cities. *Allergologia y immunologiya v pediatrii = Allergology and Immunology in Pediatrics* 2022;4:14–21. (In Russ.). DOI: 10.53529/2500-1175-2022-4-14-21
56. Valenta R., Karaulov A., Niederberger V. et al. Allergen extracts for *in vivo* diagnosis and treatment of allergy: is there a future? *J Allergy Clin Immunol Pract* 2018;6(6):1845–55.e2. DOI: 10.1016/j.jaip.2018.08.032

**Вклад авторов**

К.А. Рябова, А.В. Караулов: разработка концепции исследования, анализ литературы, написание статьи;  
Е.М. Козлов, Д.Р. Трифонова, А.Р. Галашин, А.А. Дубовец, О.А. Белик, А.Р. Левшина, И.В. Евсегнеева: анализ литературы, написание и редактирование статьи.

**Authors' contribution**

K.A. Riabova, A.V. Karaulov: development of the study concept, literature analysis, writing of the article;  
E.M. Kozlov, D.R. Trifonova, A.R. Galashin, A.A. Dubovets, O.A. Belik, A.R. Levshina, I.V. Evsegneeva: literature analysis, writing and editing of the article.

**ORCID авторов / ORCID of authors**

К.А. Рябова / K.A. Riabova: <https://orcid.org/0000-0003-0520-0936>  
Е.М. Козлов / E.M. Kozlov: <https://orcid.org/0000-0001-6244-1088>  
Д.Р. Трифонова / D.R. Trifonova: <https://orcid.org/0009-0002-4305-0529>  
А.Р. Галашин / A.R. Galashin: <https://orcid.org/0000-0001-9214-5351>  
А.А. Дубовец / A.A. Dubovets: <https://orcid.org/0000-0002-9804-4364>  
О.А. Белик / O.A. Belik: <https://orcid.org/0009-0002-1865-5024>  
А.Р. Левшина / A.R. Levshina: <https://orcid.org/0000-0002-9315-3801>  
И.В. Евсегнеева / I.V. Evsegneeva: <https://orcid.org/0000-0002-6624-1363>  
А.В. Караулов / A.V. Karaulov: <https://orcid.org/0000-0002-1930-5424>

**Конфликт интересов.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Conflict of interests.** Authors declare no conflict of interests.

**Финансирование.** Исследование выполнено при поддержке гранта Российского научного фонда №23-75-30016 «Аллергочип РФ».

**Funding.** The study was supported by the Russian Science Foundation through the grant No.23-75-30016 “Allergochip RF”.

Статья поступила: 20.05.2024. Принята в печать: 25.02.2025. Опубликовано онлайн: 00.00.2025.

Article received: 20.05.2024. Accepted for publication: 25.02.2025. Published online: 00.00.2025.