

Читать  
онлайн  
Read  
online

Драган С.П., Оленина И.В., Богомолов А.В.

## Критерии диагностики состояния органа слуха по результатам исследования акустического рефлекса

ФГБУ «Государственный научный центр Российской Федерации – Федеральный медицинский биофизический центр имени А.И. Бурназяна» Федерального медико-биологического агентства, 123098, Москва, Россия

**Введение.** Актуальность исследования обусловлена потребностью в физиологически адекватных критериях диагностики состояния органа слуха персонала, подвергающегося кумулятивному воздействию высокоинтенсивного импульсного низкочастотного шума.

**Цель исследования** – теоретико-экспериментальное обоснование критериев диагностики состояния органа слуха по результатам исследования акустического рефлекса.

**Материалы и методы.** С помощью двухмикрофонной техники акустических измерений проведены экспериментальные исследования акустического рефлекса у представителей опытной (подвергающейся кумулятивному воздействию высокоинтенсивного импульсного низкочастотного шума,  $n = 5$ ) и контрольной (не подвергавшейся такому воздействию,  $n = 12$ ) групп. Всего в течение 6 сут было проведено 256 измерений (191 – у представителей контрольной группы и 65 – у представителей опытной группы) до воздействия (фон) и в конце рабочего дня. Обработка результатов измерений проводилась с применением методов математической статистики. Использовали тесты для определения выбросов в наборе данных, рассчитывали оценки коэффициента вариации, стандартного отклонения и границ 99% доверительного интервала изменения исследуемых показателей.

**Результаты.** Исследование влияния высокоинтенсивного импульсного шума на орган слуха показало, что при незначительных изменениях порога акустического рефлекса были зафиксированы существенные изменения коэффициента сходства в опытной группе по сравнению с контрольной, что свидетельствовало о его диагностической информативности. В дальнейшем для установления новых гигиенических нормативов, регламентирующих нагрузку высокоинтенсивного импульсного шума, необходимы более масштабные исследования порога акустического рефлекса и коэффициента сходства как наиболее информативных и чувствительных методов оценивания неблагоприятного действия.

**Ограничения исследования** определяются его преимущественным применением при скрининговых медицинских обследованиях персонала, подвергающегося кумулятивному воздействию высокоинтенсивного импульсного низкочастотного шума.

**Заключение.** Полученные результаты демонстрируют потенциальные возможности исследования порога акустического рефлекса как объективного подхода к раннему выявлению и прогнозированию негативных изменений состояния органа слуха персонала, подвергающегося кумулятивному воздействию высокоинтенсивного импульсного низкочастотного шума.

**Ключевые слова:** состояние органа слуха; критерии диагностики состояния органа слуха; акустический рефлекс; скрининговая диагностика органа слуха; двухмикрофонная техника измерений

**Соблюдение этических стандартов.** Исследование одобрено локальным этическим комитетом ФГБУ «Государственный научный центр Российской Федерации – Федеральный медицинский биофизический центр им. А.И. Бурназяна» ФМБА России.

**Для цитирования:** Драган С.П., Оленина И.В., Богомолов А.В. Критерии диагностики состояния органа слуха по результатам исследования акустического рефлекса. *Гигиена и санитария*. 2023; 102(3): 247–251. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2023-102-3-247-251> <https://elibrary.ru/mlwdyu>

**Для корреспонденции:** Драган Сергей Павлович, доктор техн. наук, зав. отд. неионизирующих излучений ФГБУ ГНЦ РФ – ФМБЦ имени А.И. Бурназяна ФМБА России, 123098, Москва. E-mail: s.p.dragan@rambler.ru

**Участие авторов:** Драган С.П. – концепция и дизайн исследования, сбор материала и обработка данных, статистическая обработка, написание текста; Оленина И.В. – сбор материала и обработка данных, написание текста; Богомолов А.В. – обработка данных, написание текста, редактирование. Все соавторы – утверждение окончательного варианта статьи, ответственность за целостность всех частей статьи.

**Конфликт интересов.** Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов в связи с публикацией этой статьи.

**Финансирование.** Исследование не имело финансовой поддержки.

Поступила: 01.10.2022 / Принята к печати: 08.12.2022 / Опубликовано: 20.04.2023

Sergey P. Dragan, Irina V. Olenina, Aleksey V. Bogomolov

## Criteria for diagnosing the state of the hearing organ based on the results of the study of acoustic reflex

State Scientific Center of the Russian Federation – Burnazyan Federal Medical Biophysical Center FMBA of Russia, Moscow, 123098, Russian Federation

**Introduction.** This study is relevant due to the practice's need for physiologically adequate criteria for diagnosing the state of the hearing organ of personnel exposed to the cumulative effects of high-intensity pulsed low-frequency noise.

**The aim of the study** was the theoretical and experimental substantiation of the criteria for diagnosing the state of the hearing organ according to the results of the study of the acoustic reflex.

**Materials and methods.** Using the two-microphone technique of acoustic measurements, experimental studies of changes in the acoustic reflex were carried out in representatives of the experimental (subjected to cumulative effects of high-intensity pulsed low-frequency noise,  $n=5$ ) and control (not subjected to such effects,  $n=12$ ) groups. A total of 256 measurements were made within 6 days (191 in the control group and 65 in the experimental group) before exposure (background) and at the end of the working day. The measurement results were processed using methods of mathematical statistics: tests to determine outliers in the data set, estimates of the coefficient of variation, standard deviation, and boundaries of the 99% confidence interval of changes in the studied indicators were calculated.

**Results.** Studies of the effect of high-intensity impulse noise on the organ of hearing showed that with minor changes in the threshold of the acoustic reflex, significant changes in the similarity coefficient were recorded in the experimental group, compared with the control group, which indicates its diagnostic informativeness. In the future, to establish new hygienic standards for regulation the load of high-intensity impulse noise, more extensive studies of the acoustic reflex threshold and the similarity coefficient are needed, as the most informative and sensitive methods for assessing adverse effects.

*The limitations of the study are determined by its focus on use in screening medical examinations of personnel exposed to the cumulative effects of high-intensity low-frequency impulse noise.*

**Conclusion.** *The obtained results demonstrate the potential for studying the acoustic reflex threshold as an objective approach to early detection and prediction of negative changes in the state of the hearing organ of personnel exposed to the cumulative effect of high-intensity low-frequency impulse noise.*

**Keywords:** *the state of the organ of hearing; criteria for diagnosing the state of the organ of hearing; acoustic reflex; screening diagnostics of the organ of hearing; two-microphone measuring technique*

**Compliance with ethical standards.** *The study was approved by the local ethics committee of the State Scientific Center of the Russian Federation – Burnazyan Federal Medical Biophysical Center FMBA of Russia.*

**For citation:** Dragan S.P., Olenina I.V., Bogomolov A.V. Criteria for diagnosing the state of the hearing organ based on the results of the study of acoustic reflex. *Gigiena i Sanitariya (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2023; 102(3): 247–251. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2023-102-3-247-251> <https://elibrary.ru/mlwdyy> (In Russian)

**For correspondence:** *Sergei P. Dragan*, MD, PhD, DSci., head of the Department of Non-ionizing radiation of the State Scientific Center of the Russian Federation – Burnazyan Federal Medical Biophysical Center FMBA of Russia, 123098, Moscow. E-mail: [s.p.dragan@rambler.ru](mailto:s.p.dragan@rambler.ru)

#### Information about the authors:

Dragan S.P., <https://orcid.org/0000-0003-1576-3759> Olenina I.V., <https://orcid.org/0000-0003-0297-5779> Bogomolov A.V., <https://orcid.org/0000-0002-7582-1802>

**Contributions:** *Dragan S.P.* – the concept and design of the study, the collection of material and data processing, statistical processing, writing the text; *Olenina I.V.* – collection of material and data processing, writing the text; *Bogomolov A.V.* – data processing, writing and editing text. *All authors* are responsible for the integrity of all parts of the manuscript and approval of the manuscript final version.

**Conflict of interest.** The authors declare no conflict of interest.

**Acknowledgment.** The study had no sponsorship.

Received: October 10, 2022 / Accepted: March 24, 2023 / Published: April 20, 2023

## Введение

Приоритеты медико-санитарного сопровождения персонала, подвергающегося кумулятивному воздействию высокоинтенсивного импульсного низкочастотного шума (ВИНШ), традиционно связываются с обеспечением безопасности, сохранением профессионального здоровья и продлением профессионального долголетия [1, 2].

Установлено, что медико-биологические эффекты воздействия ВИНШ во многом сходны с воздействием постоянного шума [3]. Однако импульсный шум оказывает специфическое влияние на слуховую систему: потери слуха при этом развиваются быстрее. В [4–7] представлены результаты исследований, свидетельствующие о том, что после 3–4 лет работы в условиях воздействия ВИНШ у человека развивается сенсоневральная (нейросенсорная) тугоухость и формируются начальные признаки недостаточности кровоснабжения мозга, а через 5–7 лет работы в таких условиях наряду с усугублением тугоухости развивается дисциркуляторная энцефалопатия. По результатам комплексного изучения состояния внутримозговой гемодинамики мужчин, подвергавшихся воздействию ВИНШ в течение 3–10 лет, установлено, что нарушения обусловлены не только возрастом обследуемых, но и стажем работы в условиях воздействия ВИНШ [8, 9].

Высокий риск развития профессионально обусловленных заболеваний у персонала, подвергающегося кумулятивному воздействию ВИНШ, свидетельствует о необходимости совершенствования гигиенического нормирования и научного обоснования предельно допустимых уровней ВИНШ.

Для защиты персонала от воздействия ВИНШ разработан комплекс мер, основанных на защите расстройств. В настоящее время границы зон безопасности персонала в условиях воздействия ВИНШ наиболее часто определяют исходя из условия непревышения дозы ВИНШ критической величины, называемой порогом дозы. Порог дозы ВИНШ определяют согласно требованиям санитарных норм: уровень звука в течение восьмичасовой рабочей смены не должен превышать 85 дБА (3600 Па<sup>2</sup>/с). Другим применяемым на практике критерием определения границ зоны безопасности в соответствии с санитарным законодательством считают пиковое звуковое давление, измеренное по шкале С. Его величина не должна превышать 137 дБС. В доступной литературе результаты научного обоснования этих критериев отсутствуют.

В настоящее время одним из критериев оценки воздействия сверхнормативного звука является метод тональной аудиометрии. Воздействие ВИНШ ведёт к утомлению слу-

хового анализатора, которое характеризуется снижением порога чувствительности слуха более чем на 15 дБ в течение 2–3 мин после воздействия [2, 3, 5]. Однако из-за длительности процедуры метод тональной аудиометрии практически невозможно использовать при скрининговых обследованиях персонала, подвергающегося воздействию ВИНШ.

*Цель работы* – теоретико-экспериментальное обоснование критериев диагностики состояния органа слуха по результатам исследования акустического рефлекса для применения при скрининговых обследованиях персонала, подвергающегося воздействию ВИНШ.

## Материалы и методы

Одним из наиболее информативных методов исследования барабанной перепонки для объективной диагностики нарушений слуха является акустическая рефлексометрия, предполагающая регистрацию реакции на звуковую стимуляцию по результатам измерения акустического импеданса в герметизированном наружном слуховом проходе (НСП) [6, 10, 11]. Исследование акустического рефлекса (АР) подразумевает установление изменения напряжения стремени или барабанной мышцы в ответ на акустическое раздражение этого же (ипсилатеральное исследование) или противоположного (контралатеральное исследование) уха. АР характеризует реакцию противодействия нервной системы сильному звуку, формируемую для защиты преддверно-улиткового органа от акустических перегрузок. АР характеризуется порогом, определяемым самой низкой интенсивностью звукового сигнала, который вызывает непроизвольное сокращение барабанной или стремени мышцы. Этот порог зависит от индивидуальных особенностей и типа стимула. У взрослого человека с нормальным слухом для стимула в виде чистого тона частотой 1 кГц порог АР находится в диапазоне 80–85 дБ. Реакция барабанной перепонки (порог АР) определяется при помощи зондирующего тестового сигнала, используемого для регистрации изменений импеданса НСП.

С увеличением уровня звукового давления стимулирующего сигнала частотная зависимость коэффициента поглощения акустических колебаний органом слуха ( $\alpha$ ) изменяется. Таким образом, имеется возможность производить прямые измерения АР в интересах ранней диагностики состояния органа слуха.

В ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России разработана методика диагностики состояния органа слуха по измерению порога АР и создан аппаратно-программный комплекс для ипсилатерального измерения АР, основан-

ный на определении резонансной частоты НСП при помощи модифицированного метода двух микрофонов [10]. Метод двухмикрофонной техники измерения, алгоритм определения акустических характеристик НСП, условия формирования зондирующего и стимулирующего сигналов представлены в [11–14].

Метод исследования – серия наблюдений с измерениями АР. Методика измерения АР заключается в следующем. Испытуемого усаживают на стул, в его НСП устанавливают ушной вкладыш, герметично сочленённый с концом волновода (рис. 1). Реакция барабанной перепонки на стимулирующий сигнал измеряется в пять шагов. Программа формирует ступенчато возрастающий стимулирующий сигнал одновременно с зондирующим сигналом, используемым для регистрации изменений импеданса.

Зондирующий звуковой сигнал в частотном диапазоне от 265 до 598 Гц, образованный набором тональных сигналов с шагом по частоте 37 Гц, поступает в громкоговоритель с выхода генератора сигналов звуковой частоты. Одновременно с зондирующим подаётся стимулирующий сигнал на частоте 1 кГц. Амплитуда стимулирующего сигнала изменяется ступенчато от 75 до 95 дБ с шагом 5 дБ. Длительность каждого шага составляет 5 с. Процедура измерения АР на одном ухе занимает менее одной минуты, затем устройство устанавливают в другое ухо и выполняют те же действия.

В результате на каждом уровне стимулирующего сигнала для каждого уха получают значения акустических характеристик НСП. Поскольку изменение состояния барабанной перепонки, то есть проявление АР, вызывает изменение резонансной частоты НСП, в качестве контролируемых параметров определены резонансные частоты, на которых отмечаются максимальные значения коэффициента поглощения энергии акустических колебаний органом слуха ( $\alpha$ ).

## Результаты

Характерные графики частотно-зависимого коэффициента поглощения акустических колебаний ( $\alpha$ ) НСП испытуемого после воздействия ВИНШ представлены на рис. 2 (см. на вклейке). Параметры воздействия: пиковое давление (148 дБ), максимум спектральной плотности на частоте 150 Гц, время воздействия (40 с).

На рис. 2 отражены результаты измерения до воздействия, сразу после воздействия, через 2 ч после воздействия и через 1 сутки после воздействия.

Наиболее значимые изменения коэффициента поглощения НСП испытуемого после воздействия ВИНШ зарегистрированы на левом ухе. Пороги АР изменились незначительно, а вид кривых, то есть значения коэффициентов поглощения ( $\alpha$ ) и резонансные частоты, заметно отличаются от фона. Так, коэффициент поглощения ( $\alpha$ ) в фоне изменялся в диапазоне 0,91–0,92, а после воздействия ВИНШ – в диапазоне 0,8–0,6. Резонансные частоты НСП сразу после воздействия с ростом уровня стимулирующего сигнала изменились более чем на 50 Гц.

Изменения состояния барабанной перепонки, проявляющиеся в виде изменения резонансных частот на левом ухе, сохранились и спустя сутки после воздействия ВИНШ, а на правом ухе не сохранились. Таким образом, реакция органа слуха на воздействие ВИНШ проявляется не только в увеличении порога АР, но и в самой форме кривой поглощения. Для учёта этого явления был разработан дополнительный критерий сходства кривой поглощения НСП, зарегистрированной в фоне и в разные сроки после воздействия ВИНШ (сразу после воздействия, через 2 и 24 ч).

Ранее нами был предложен критерий количественной оценки порога АР по фиксации изменения резонансной частоты НСП на 5 Гц при увеличении уровня звукового давления стимулирующего сигнала. Для определения погрешности метода и всего измерительного устройства в определении резонансных частот проведено исследование на модельном устройстве, имитирующем геометрические и



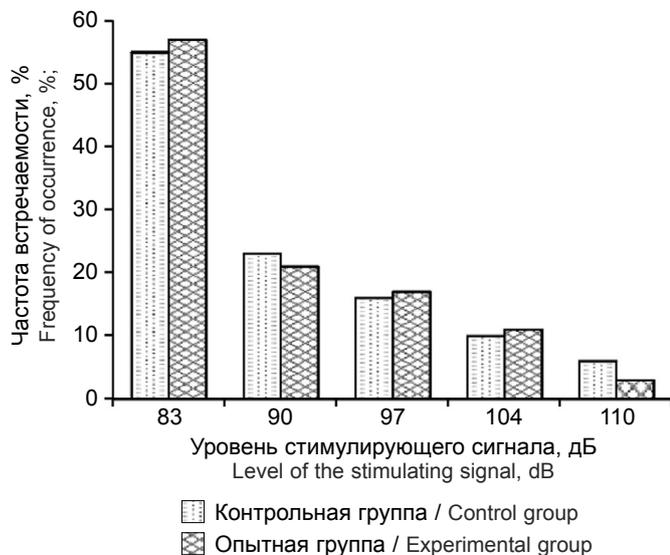
Рис. 1. Прибор для измерения акустического рефлекса.

Fig. 1. Device for measuring the acoustic reflex.

акустические характеристики НСП. Была изготовлена модель НСП среднестатистического человека в виде трубки длиной 3 см с внутренним диаметром 0,8 см. Её резонансные частоты и коэффициент поглощения соответствовали усреднённым акустическим характеристикам НСП человека и составляли 477 Гц при коэффициенте вариации 0,66%. Коэффициент вариации определён как отношение стандартного отклонения из ряда измеренных резонансных частот на пяти уровнях стимулирующего сигнала к среднему значению резонансных частот. Коэффициент поглощения составил  $\alpha = 0,93$  при коэффициенте вариации 0,87%. В результате многократных и ежедневных измерений акустических характеристик в течение длительного недельного срока (как в начале, так и в конце рабочего дня) диапазон изменения резонансной частоты модели НСП человека составил 0,66 Гц. Установлено, что измерительная система функционирует достаточно стабильно и точно. Поэтому в качестве границ 99%-го доверительного интервала изменения порога АР у человека принята величина, равная трём стандартным (средним квадратическим) отклонениям ( $\sigma$ ), то есть 2 Гц ( $2 \text{ Гц} \approx 3 \cdot 0,66 \text{ Гц}$ ).

В исследованном диапазоне уровней стимулирующего сигнала фиксировали три состояния порога АР испытуемого: «норма» (в диапазоне до 85 дБ), «высокий порог АР» (выше 85 дБ), «отсутствие АР» (в диапазоне исследуемых уровней стимулирующего сигнала). Поскольку и значительное повышение порога АР, и его отсутствие в исследуемом диапазоне уровней звукового давления (85–95 дБ) следует рассматривать как выраженную реакцию органа слуха человека на ВИНШ, эти два состояния объединены в группу «отклонение от нормы».

Критерий сходства кривой поглощения НСП, зарегистрированной в фоне и в разные сроки после воздействия, определён для резонансных частот. Критерий сходства определяется для каждого уха и для каждой отдельной процедуры измерения и включает значения пяти резонансных частот НСП, зарегистрированных при пяти уровнях стимулирующего сигнала (75; 80; 85; 90 и 95 дБ). Коэффициент сходства определяется величиной коэффициента вариации, то есть отношения стандартного отклонения резонансных частот к их среднему значению. Далее вычисляется соотношение коэффициента сходства, зарегистрированное в разные сроки после воздействия, к собственному фоновому значению. Если это соотношение больше 2 или меньше 0,5, то считается, что в органе слуха произошли существенные изменения.



**Рис. 3.** Соотношение порога акустического рефлекса в опытной и контрольной группах.

**Fig. 3.** The ratio of the threshold of the acoustic reflex in the experimental and control groups.

Исследование порога и коэффициента сходства АР проведено у работников, подвергавшихся воздействию ВИНШ ( $n = 5$ , опытная группа), и у представителей контрольной группы, не подвергавшихся такому воздействию ( $n = 12$ ). В опытную группу включены мужчины, средний возраст которых составлял  $34,2 \pm 4,4$  года, в контрольную – мужчины в возрасте  $34,9 \pm 3,8$  года. В анамнезе всех обследованных лиц отсутствовала информация о перенесённых воспалительных заболеваниях среднего уха, не было диагноза «тугоухость». Общий стаж профессиональной деятельности у представителей опытной группы составлял 17–19 лет, у представителей контрольной группы – 17–20 лет.

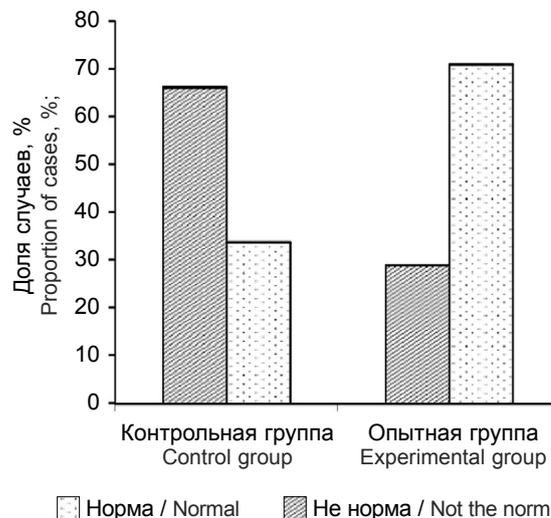
Обследование проводили на протяжении шести суток в динамике рабочего дня: до воздействия (фон) и в конце рабочей смены. У каждого работника проведено по 24 измерения (на левом и правом ухе). Всего проведено 256 измерений (191 измерение у представителей контрольной группы и 65 измерений – у представителей опытной группы).

На рис. 3 приведены гистограммы распределения порогов АР у представителей контрольной и опытной групп в динамике наблюдения. Различие средних значений порогов АР в контрольной и опытной группах отсутствует, а более 50% находится в границах нормы.

Результаты измерения параметров ВИНШ, проведённого на рабочем месте персонала, свидетельствуют о том, что нормируемые показатели акустического воздействия превышены только в течение одного дня, когда пиковый уровень по шкале С составил 140 дБС (при норме 137 дБС), а доза импульсного шума составила  $3,89 \cdot 10^3$  Па<sup>2</sup>/с (при норме  $3,6 \cdot 10^3$  Па<sup>2</sup>/с). В остальные дни пиковый уровень по шкале С и доза импульсного шума не превышали нормативных значений.

Анализ данных по критерию сходства (изменение коэффициента вариации по сравнению с фоновыми значениями) свидетельствует о существенной разнице между контрольной и опытной группами (рис. 4).

В контрольной группе изменения критерия сходства АР по сравнению с фоновыми значениями зарегистрированы у 30% обследованных, в опытной группе изменения критерия сходства АР зарегистрированы у 66,2%.



**Рис. 4.** Соотношение критерия сходства по изменению коэффициента вариации резонансных частот НСП в опытной и контрольной группах.

**Fig. 4.** The ratio of the similarity criterion for the change in the coefficient of variation of the resonant frequencies of the external auditory canal in the experimental and control groups.

## Обсуждение

Полученные результаты подтвердили информативность увеличения порога АР для выявления негативного воздействия сверхнормативных акустических колебаний на орган слуха. Методика диагностики состояния органа слуха по результатам исследования АР обеспечивает сокращение времени исследования АР с повышением его информативности и безопасности по сравнению с широко распространённой тональной аудиометрией. Разработанный диагностический критерий, учитывающий сходство резонансных частот со значениями, зарегистрированными в фоне (до воздействия стимулирующего сигнала), повышает информативность диагностики. Это способствует развитию технологий диагностики состояния органа слуха для решения задач медицины труда и гигиены труда.

Ограничения исследования определяются его ориентированностью на применение при скрининговых медицинских обследованиях персонала, подвергающегося кумулятивному воздействию высокоинтенсивного импульсного низкочастотного шума.

## Заключение

Представленные результаты пилотного исследования демонстрируют потенциал метода исследования порога АР и критерия сходства, определяемых с помощью двухмикروفонной техники акустических измерений, как нового объективного подхода к выявлению и прогнозированию динамики развития негативных изменений состояния органа слуха персонала, подвергающегося воздействию ВИНШ.

В дальнейшем при установлении новых гигиенических нормативов, регламентирующих условия труда персонала при кумулятивном воздействии ВИНШ, необходимы более масштабные исследования порога АР и коэффициента сходства – наиболее информативных и чувствительных критериев диагностики состояния органа слуха персонала при проведении скрининговых медицинских обследований.

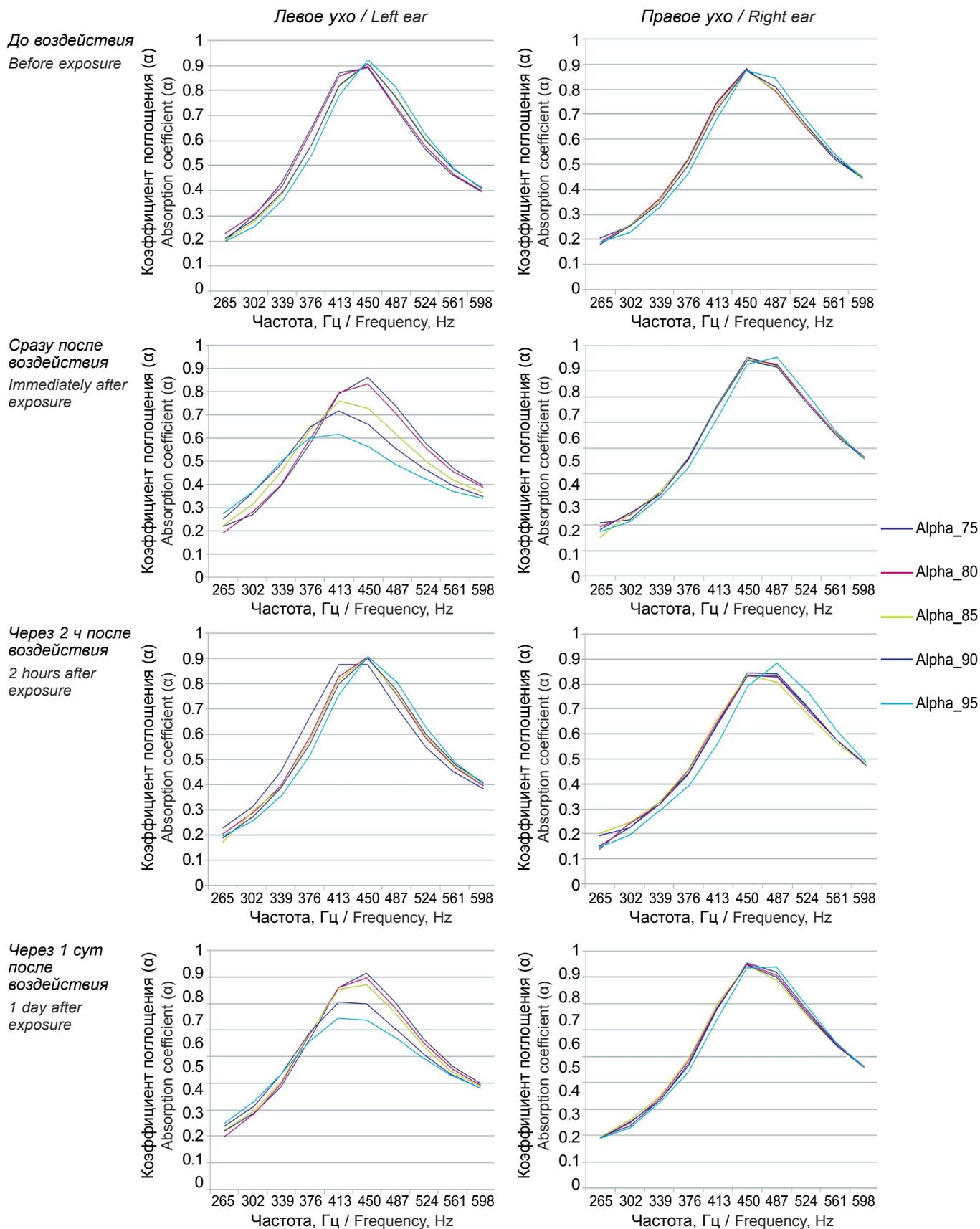
## Литература

1. Дворянчиков В.В., Ахметзянов И.М., Миронов И.В., Гаврилов Е.К., Зинкин В.Н., Гушин П.С. Основные направления профилактики шумовой патологии в Вооруженных Силах Российской Федерации. *Вестник Российской военно-медицинской академии*. 2018; (3): 26–7.
2. Коваленко И.Ю., Степанов А.В., Селезнев А.Б., Сайфуллин Р.Ф., Пономарев Д.Б. Патогенетическое обоснование формирования соматической патологии при длительном воздействии низкочастотного шума. *Вестник Российской военно-медицинской академии*. 2017; (2): 249–56.
3. Ахметзянов И.М., Гребеньков С.В., Ломов О.П. *Шум и инфразвук: гигиенические аспекты*. СПб.: Бип; 2002.
4. Васильева И.Н., Беспалов В.Г., Зинкин В.Н. Низкочастотный шум как вредный фактор, повышающий частоту хромосомных aberrаций и усиливающий клеточную гибель. *Медицина труда и промышленная экология*. 2017; (3): 22–5.
5. Сливина Л.П., Куклин Д.А., Матвеев П.В., Шешегов П.М., Зинкин В.Н. Инфразвук и низкочастотный шум как вредные производственные факторы. *Безопасность труда в промышленности*. 2020; (2): 24–7. <https://doi.org/10.24000/0409-2961-2020-2-24-30>
6. Vasilyeva I., Bepalov V., Semenov A., Baranenko D., Zinkin V. The effects of low-frequency noise on rats: evidence of chromosomal aberrations in the bone marrow cells and the release of low-molecular-weight DNA in the blood plasma. *Noise and Health*. 2017; 19(87): 79–5. <https://doi.org/10.4103/nah.NAH-39-16>
7. Zinkin V., Vasilyeva I., Bepalov V., Osetrov A. High-intensity low-frequency acoustic vibrations have the critical effect on the lungs. *Akustika*. 2019; 32: 5–4.
8. Зинкин В.Н., Шешегов П.М. Механизмы действия авиационного шума на профессиональную работоспособность и надежность. *Noise Theory and Practice*. 2021; 7(2): 165–18.
9. Иванов Н.И., Зинкин В.Н., Сливина Л.П. Биомеханические механизмы действия низкочастотных акустических колебаний на человека. *Российский журнал биомеханики*. 2020; (2): 216–6. <https://doi.org/10.15593/RZhBiomeh/2020.2.09>
10. Богомолов А.В., Драган С.П., Оленина И.В. Аппаратно-программный комплекс для ипсилатерального измерения порога акустического рефлекса. *Приборы и техника эксперимента*. 2021; (4): 95–15. <https://doi.org/10.31857/S0032816221040029>
11. Драган С.П., Богомолов А.В., Котляр-Шапилов А.Д., Кондратьева Е.А. Метод импедансометрического исследования акустического рефлекса. *Медицинская техника*. 2017; (1): 52–4.
12. Богомолов А.В., Драган С.П. Новый подход к исследованию импедансных характеристик барабанной перепонки. *Доклады Академии наук*. 2015; 464(1): 105. <https://doi.org/10.7868/S0869565216180250>
13. Драган С.П., Богомолов А.В., Котляр-Шапилов А.Д., Кондратьева Е.А. Экспериментальное исследование проявлений акустического рефлекса при контралатеральной звуковой стимуляции. *Доклады Академии наук*. 2016; 468(6): 705. <https://doi.org/10.7868/S0869565216180250>
14. Драган С.П., Богомолов А.В. Метод неинвазивной диагностики состояния барабанной перепонки с использованием зондирующих полигармонических звуковых сигналов. *Медицинская техника*. 2016; (6): 21–3.

## References

1. Dvoryanchikov V.V., Akhmetzyanov I.M., Mironov I.V., Gavrilov E.K., Zinkin V.N., Gushchin P.S. The main directions of prevention of noise pathology in the armed forces. *Vestnik Rossiyskoy voenno-meditsinskoy akademii*. 2018; (3): 26–7. (in Russian)
2. Kovalenko I.Yu., Stepanov A.V., Seleznev A.B., Sayfullin R.F., Ponomarev D.B. Pathogenetic rationale for the formation of somatic pathology with prolonged exposure to low-frequency noise. *Vestnik Rossiyskoy voenno-meditsinskoy akademii*. 2017; (2): 249–56. (in Russian)
3. Akhmetzyanov I.M., Greben'kov S.V., Lomov O.P. *Noise and Infrasound: Hygienic Aspects [Shum i infpazvuk: gigiyenicheskie aspekty]*. St. Petersburg: Bip; 2002. (in Russian)
4. Vasil'eva I.N., Bepalov V.G., Zinkin V.N. Low-frequency noise as a hazard increasing occurrence of chromosomal aberrations and promoting cell death. *Meditsina truda i promyshlennaya ekologiya*. 2017; (3): 22–5. (in Russian)
5. Slivina L.P., Kuklin D.A., Matveev P.V., Sheshegov P.M., Zinkin V.N. Infrasound and low-frequency noise as harmful production factors. *Bezopasnost' truda v promyshlennosti*. 2020; (2): 24–7. <https://doi.org/10.24000/0409-2961-2020-2-24-30> (in Russian)
6. Vasilyeva I., Bepalov V., Semenov A., Baranenko D., Zinkin V. The effects of low-frequency noise on rats: evidence of chromosomal aberrations in the bone marrow cells and the release of low-molecular-weight DNA in the blood plasma. *Noise and Health*. 2017; 19(87): 79–5. <https://doi.org/10.4103/nah.NAH-39-16>
7. Zinkin V., Vasilyeva I., Bepalov V., Osetrov A. High-intensity low-frequency acoustic vibrations have the critical effect on the lungs. *Akustika*. 2019; 32: 5–4.
8. Zinkin V.N., Sheshegov P.M. Mechanisms of action of aircraft noise on professional performance and reliability. *Noise Theory and Practice*. 2021; 7(2): 165–18. (in Russian)
9. Ivanov N.I., Zinkin V.N., Slivina L.P. Biomechanical mechanisms of action of low-frequency acoustic vibrations on a person. *Rossiyskiy zhurnal biomekhaniki*. 2020; (2): 216–6. <https://doi.org/10.15593/RZhBiomeh/2020.2.09> (in Russian)
10. Bogomolov A.V., Dragan S.P., Olenina I.V. A hardware-software complex for ipsilateral measurements of the acoustic reflex threshold. *Pribory i tekhnika eksperimenta*. 2021; (4): 95–15. <https://doi.org/10.31857/S0032816221040029> (in Russian)
11. Dragan S.P., Bogomolov A.V., Kotlyar-Shapiro A.D., Kondrat'eva E.A. A method for investigation of the acoustic reflex on the basis of impedance measurements. *Biomed. Eng*. 2017; 51(1): 72–6. <https://doi.org/10.1007/s10527-017-9687-6>
12. Bogomolov A.V., Dragan S.P. A new approach to the study of impedance characteristics of tympanic membrane. *Doklady Biochemistry and Biophysics*. 2015; 464(1): 269–71. <https://doi.org/10.1134/S1607672915050014>
13. Dragan S.P., Bogomolov A.V., Kotlyar-Shapiro A.D., Kondrat'eva E.A. Experimental study of displays in contralateral acoustic reflex auditory stimulation. *Doklady Biochemistry and Biophysics*. 2016; 1(468): 224–4. <https://doi.org/10.1134/S1607672916030182>
14. Dragan S.P., Bogomolov A.V. A method of non-invasive diagnostics of the condition of the tympanic membrane using probing polyharmonic sound signals. *Meditsinskaya tekhnika*. 2016; (6): 21–3. (in Russian)

**К статье С.П. Драган и соавт.  
To the article by Sergey P. Dragan et al.**



**Рис. 2.** Измерение порога АР в динамике обследования. Alpha\_75 ... alpha\_95 – уровни стимулирующего сигнала (дБ).

**Fig. 2.** Measurement of the acoustic reflex threshold over the course of the examination. Alpha\_75 ... alpha\_95 – levels in dB of the stimulating signal.