

# Оценка воздействия специального звукового сигнала на функциональное состояние органа слуха (экспериментальное исследование)

**В.В. Дворянчиков**<sup>1</sup>, <http://orcid.org/0000-0002-0925-7596>, 3162256@mail.ru

**М.С. Кузнецов**<sup>2</sup>, <http://orcid.org/0000-0002-5057-3486>, mskuznecov2@mail.ru

**С.М. Логаткин**<sup>3</sup>, <http://orcid.org/0000-0002-9954-2787>, logatkin.stanislav@yandex.ru

**А.Е. Голованов**<sup>2</sup>, <http://orcid.org/0000-0001-7277-103X>, lor\_vma@mail.ru

<sup>1</sup> Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт уха, горла, носа и речи; 190013, Россия, Санкт-Петербург, ул. Бронницкая, д. 9

<sup>2</sup> Военно-медицинская академия имени С.М. Кирова; 194044, Россия, Санкт-Петербург, ул. Академика Лебедева, д. 6

<sup>3</sup> Государственный научно-исследовательский испытательный институт военной медицины; 195043, Россия, Санкт-Петербург, ул. Лесопарковая, д. 4

## Резюме

**Введение.** Внедрение специальных акустических средств в систему обеспечения безопасности делает актуальным проведение медико-биологических исследований по оценке влияния их воздействия на органы слуха.

**Цель.** Изучить характеристики специального звукового сигнала и его воздействие на орган слуха экспериментальной биологической модели.

**Материалы и методы.** Исследование проведено на 6 самцах (12 ушей) морских свинок (*Cavia porcellus*) массой 200–250 г в возрасте 4 нед. Для генерации акустического сигнала использовался комплект специального звукового оборудования. Исследование проводили в помещении площадью около 47 м<sup>2</sup>. Время однократного воздействия на экспериментальных животных составляло 3 мин при уровне звука 127–128 дБА. До воздействия и в разные сроки после воздействия (через 24 и 72 ч) оценивалась отоскопическая картина, проводилось исследование рефлекса Прейера и отоакустической эмиссии на частоте продукта искажения.

**Результаты и обсуждение.** Специальный звуковой сигнал характеризовался отчетливо выраженными частотными составляющими и может быть отнесен к тональным шумам. После акустического воздействия специального звукового сигнала у экспериментальных животных наблюдалась нормальная отоскопическая картина. Восстановление рефлекса Прейера произошло через 24 ч после воздействия. Восстановление показателей ОАЭЧПИ до фоновых значений на частотах с 1,5 до 3,3 кГц произошло через 24 ч после акустического воздействия, на частоте 4,2 кГц имело значимую тенденцию к восстановлению.

**Выводы.** При кратковременном (в течение трех минут) однократном воздействии специального звукового сигнала с уровнем звука от 127 до 128 дБА на биологические модели (морские свинки) возникновения патологии органа слуха не выявлено. С учетом большей устойчивости людей к акустическим воздействиям по сравнению с морскими свинками это в равной степени может быть распространено и на человека.

**Ключевые слова:** специальные акустические средства, звуковой сигнал, морская свинка, орган слуха, воздействие, отоакустическая эмиссия на частоте продукта искажения, рефлекс Прейера

**Для цитирования:** Дворянчиков В.В., Кузнецов М.С., Логаткин С.М., Голованов А.Е. Оценка воздействия специального звукового сигнала на функциональное состояние органа слуха (экспериментальное исследование). *Медицинский совет.* 2022;16(20):16–21. <https://doi.org/10.21518/2079-701X-2022-16-20-16-21>.

**Конфликт интересов:** авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

# Evaluation of the impact of a special sound signal on the functional state of the hearing organ (experimental study)

**Vladimir V. Dvoryanchikov**<sup>1</sup>, <http://orcid.org/0000-0002-0925-7596>, 3162256@mail.ru

**Maxim S. Kuznetsov**<sup>2</sup>, <http://orcid.org/0000-0002-5057-3486>, mskuznecov2@mail.ru

**Stanislav M. Logatkin**<sup>3</sup>, <http://orcid.org/0000-0002-9954-2787>, logatkin.stanislav@yandex.ru

**Andrey E. Golovanov**<sup>2</sup>, <http://orcid.org/0000-0001-7277-103X>, lor\_vma@mail.ru

<sup>1</sup> Saint Petersburg Research Institute of Ear, Throat, Nose and Speech; 9, Bronnitskaya St., St Petersburg, 190013, Russia

<sup>2</sup> Military Medical Academy named after S.M. Kirov; 6, Academician Lebedev St., St Petersburg, 194044, Russia

<sup>3</sup> State Scientific Research Testing Institute of Military Medicine; 4, Lesoparkovaya St., St Petersburg, 195043, Russia

## Abstract

**Introduction.** The integration of special acoustic means into the safety system makes it relevant to conduct biomedical research to evaluate the impact of their effects on the hearing organs.

**Objective.** To study the characteristics of a special sound signal and its effect on the hearing organ of an experimental biological model.

**Materials and methods.** The study was conducted on 6 males (12 ears) guinea pigs (*Cavia porcellus*) weighing 200–250 grams at the age of 4 weeks. A set of special audio equipment was used to generate an acoustic signal. The study was conducted in a room with an area of about 47 m<sup>2</sup>. The time of a single exposure to experimental animals was 3 minutes at a sound level of 127–128 dBA. Before exposure and at different times after exposure (after 24 and 72 hours), the otoscopic picture was evaluated, a Preyer's reflex and distortion-product otoacoustic emissions (DPOAEs) was carried out.

**Results.** The special sound signal was characterized by distinct frequency components and can be attributed to tonal noises. After acoustic exposure to a special sound signal, a normal otoscopic picture was observed in experimental animals. Restoration of the Preyer's reflex occurred 24 hours after exposure. The restoration of the DPOAEs to background values at frequencies from 1.5 to 3.3 kHz occurred 24 hours after acoustic exposure, at a frequency of 4.2 kHz there was a significant tendency to recovery.

**Conclusions.** With a short-term (within three minutes) single exposure to a special sound signal with a sound level of 127 to 128 dBA on biological models (guinea pigs), no pathology of the hearing organ was detected. Given the greater resistance of humans to acoustic effects, compared to guinea pigs, this can equally be extended to humans.

**Keywords:** special acoustic means, sound signal, guinea pig, hearing organ, impact, distortion-product otoacoustic emissions, Preyer's reflex

**For citation:** Dvoryanchikov V.V., Kuznetsov M.S., Logatkin S.M., Golovanov A.E. Evaluation of the impact of a special sound signal on the functional state of the hearing organ (experimental study). *Meditsinskiy Sovet*. 2022;16(20):16–21. (In Russ.) <https://doi.org/10.21518/2079-701X-2022-16-20-16-21>.

**Conflict of interest:** the authors declare no conflict of interest.

## ВВЕДЕНИЕ

В последнее десятилетие XXI в. применяются устройства, основанные на принципе использования акустической энергии, – специальные акустические средства (САС) [1–3]. Известно, что акутравматическое воздействие в зависимости от его интенсивности может приводить к патологическим изменениям как в звукопроводящем, так и звуковоспринимающем отделе слухового анализатора [4–6]. Актуальным научным направлением является оценка медико-биологического эффекта воздействия САС на организм экспериментальных животных, в частности на слуховой анализатор [7].

Морская свинка (*Cavia porcellus*) является одним из самых универсальных модельных объектов, применяемых в экспериментальной медицине при исследовании шумового травматизма, как в работах середины XX в., так и в трудах современных авторов [8, 9]. Это обусловлено преимущественно особенностями ее слухового восприятия, включающего частотный диапазон человека [10]. В литературе широко представлены акустические стимулы, применяемые при создании моделей акустической травмы с использованием этих животных, которые отличаются по спектру, интенсивности и продолжительности [11–15]. Изучается и вопрос применения комбинированного (шумо-вибрационного) воздействия [16]. Однако медико-биологической оценке специальных акустических сигналов (меняющейся тональности) уделяется все же мало внимания [17]. Необходимость данных исследований обусловлена наличием повышенной индивидуальной чувствительности отдельных людей к действию шума и недостаточной изученностью допустимого уровня

экспозиции акустического воздействия САС, превышение которого может способствовать развитию грубой морфологической патологии и необратимых нарушений функции органа слуха различной степени выраженности.

**Цель.** Изучить характеристики специального звукового сигнала и его воздействие на орган слуха экспериментальной биологической модели.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Исследование проведено на 6 самцах (12 ушей) морских свинок (*Cavia porcellus*) массой 200–250 г в возрасте 4 нед., поставленных из филиала «Электрогорский» ФГБУН НЦБМТ ФМБА России (Московская область, Россия). Выбор указанных параметров животных обусловлен современными научными принципами по подбору моделей для экспериментальных исследований [18].

Этические принципы обращения с лабораторными животными были соблюдены в соответствии с Приказом Минздрава РФ от 12.08.1977 г. №755 «Правила проведения работ с использованием экспериментальных животных» и Европейской конвенцией о защите позвоночных животных, используемых для экспериментов или в иных научных целях от 18.03.1986 г. Исследование одобрено комитетом по этике биомедицинских исследований Государственного научно-исследовательского испытательного института военной медицины о соответствии планируемого экспериментального исследования гуманистическим и этическим нормам (протокол №15 от 17 декабря 2021 г.).

Длительность карантина (акклиматизационного периода) составила 14 дней. В течение карантина проводили ежедневный осмотр каждого животного на предмет оцен-

ки поведения и общего состояния. Дважды в день оценивали состояние животных в клетках (на предмет заболеваемости и возможной смертности).

Основным критерием включения животных в исследование явились: нормальная эндоскопическая картина барабанных перепонок, положительный рефлекс Прейера, прохождение теста отоакустической эмиссии на частоте продукта искажения (ОАЭЧПИ). Животные, не соответствующие нужным критериям, были исключены из исследования в течение карантина.

Для генерации акустического сигнала был использован комплект звукового оборудования (в составе акустического излучателя «АИ-300», и блока усиления и сопряжения «БУС-24», и пульта управления «ПУ-02», Россия). Исследование проводили в помещении площадью около 47 м<sup>2</sup>. Параметры специального звукового сигнала измеряли с помощью шумомера-виброметра, анализатора спектра 1-го класса точности типа «Экофизика-110А» (Россия). Суммарная стандартная неопределенность результатов измерения составила 0,8 дБ. Измерение уровня шума осуществлялось непосредственно в области нахождения акустически прозрачной клетки с экспериментальными животными. Время воздействия составляло 3 мин.

Отоскопию осуществляли с использованием отоскопа Riester (Германия).

Для субъективной оценки функционального состояния слухового анализатора у экспериментальных животных нами производилась оценка рефлекса Прейера по методике К.Л. Хилова и соавт. [19]. Исследование рефлекса Прейера осуществлялось с использованием портативного аудиометра Interacoustics PA-5 (Дания). Звуковой сигнал с частотой 2000 Гц и интенсивностью 90 дБ подавался на расстоянии 10 см от ушной раковины животного. Рефлекс считался положительным при движении прижатия ушных раковин в ответ на звуковую стимуляцию.

Для объективной оценки периферического отдела слухового анализатора у экспериментальных животных использовался метод ОАЭЧПИ. Исследование отоакустической эмиссии активно применяется для оценки слуха при проведении современных экспериментов на животных и создании моделей акустической травмы, что и привело нас к его выбору при проведении исследования [20, 21]. Измерение уровня ОАЭЧПИ выполнялось в условиях общей анестезии при внутривенном введении препарата тилетамин/золазепам (6 мг/кг).

Исследование ОАЭЧПИ осуществлялось с использованием системы аудиологического скрининга «Аудио-СМАРТ» (Россия). Амплитуда продукта искажения ОАЭ (дБ УЗД) фиксировалась в диапазоне частот 1,5–4,2 кГц. Изучаемые параметры амплитуды ОАЭ регистрировались традиционным образом при использовании тональных стимулов  $f_1$  и  $f_2$  ( $f_1 < f_2$ ) в стандартном соотношении  $f_2 / f_1 = 1,22$  с анализом разностного тона  $2f_1 - f_2$  при интенсивности стимуляции:  $L_1 = L_2 = 70$  дБ УЗД. Результаты были оценены по критерию: соотношение «сигнал – шум» должно быть не менее 6 дБ УЗД.

Герметичность обтюрации зондом наружного слухового прохода обеспечивалась с помощью стандартного вкладыша конической формы.

Исследование функции органа слуха проводилось до воздействия специального акустического сигнала, сразу после воздействия, а также через 24 и 72 ч после воздействия.

Статистическую обработку результатов осуществляли с использованием пакета прикладных компьютерных программ IBM SPSS Statistics 23. В связи с тем, что распределение значений показателей не соответствовало нормальному, для описания усредненных значений применяли медиану (Me), а для разброса значений – первый (Q1) и третий (Q3) квартили. Для определения значимости различий между двумя выборками парных измерений применяли Т-критерий Вилкоксона, различия считались значимыми при  $p < 0,05$ .

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

При исследовании характеристик специального звукового сигнала установлено, что максимальный уровень звукового давления лежит в  $\frac{1}{3}$  октавной полосы 3 150 Гц (127,4 дБ). Низкочастотная составляющая в структуре сигнала была незначительна. В полосах частот от 8,0 до 20 кГц зафиксированы уровни звукового давления более 90 дБ. Так как в среднечастотном диапазоне сосредоточен основной спектр звучания человеческого голоса [22], применение указанного сигнала существенно затрудняет речевое общение в зоне его действия. В целом рассматриваемый специальный звуковой сигнал может быть отнесен к тональным, поскольку в его спектре присутствуют отчетливо выраженные частотные или узкополосные составляющие<sup>1</sup>.

Субъективно специальный звуковой сигнал воспринимался как меняющийся по уровню звука и тональности с определенной периодичностью. При анализе сигнала на компьютерном осциллографе отмечен его пульсирующий характер с частотой изменения амплитуды сигнала 10 раз в секунду. В течение 70 мс сигнал шел с амплитудой 5 В, далее наблюдалось ее уменьшение до 0,7 В на протяжении 30 мс. В дальнейшем такая цикличность изменения уровня сигнала повторялась. Известно, что ухо человека способно определять число звуковых сигналов при частоте их следования более 35 мс. При меньших интервалах времени чередующиеся отдельные звуковые сигналы не дифференцируются и воспринимаются как непрерывный звук [23]. В связи с этим столь выраженное изменение амплитуды звукового сигнала ухом человека воспринимается не в полной мере, хотя наличие самой пульсации с частотой 10 Гц воспринимается достаточно отчетливо.

Воздействие сигнала с уровнем звука 127–128 дБ (с частотной коррекцией «А») на начальном этапе опыта вызывало беспокойство у животных, сопровождавшееся

<sup>1</sup> ГОСТ 12.1.003–2014. Система стандартов безопасности труда. Шум. Общие требования безопасности. Дата введения: 01.11.2015 г. Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200118606>.

периодическим перемещением их в клетке. По этой причине при планировании воздействия специального звукового сигнала в отношении правонарушителей целесообразно учитывать эффект неожиданности и возможность появления панических реакций [24].

При эндоскопическом осмотре барабанных перепонок экспериментальных животных после акустического воздействия патологических изменений не наблюдалось. Вместе с тем отмечался отрицательный рефлекс Прейера, восстановление которого произошло через 24 ч после воздействия.

При анализе данных ОАЭЧПИ после воздействия специального акустического сигнала отмечалось снижение ее уровня на всех исследуемых частотах, которое было статистически значимо на трех из них (1,5; 2,1; 4,2 кГц). Это свидетельствует об угнетении функциональной активности волосковых клеток Кортиева органа. Данный феномен описан как «постстимуляционное утомление» или «временный сдвиг порогов» слуховой чувствительности. По литературным данным, он может сохраняться до 16 ч [25].

Восстановление порогов слуха до фоновых значений на частотах с 1,5 до 3,3 кГц произошло уже через 24 ч после акустического воздействия. На частоте 4,2 кГц восстановление порогов слуха до исходных значений не произошло и к третьим суткам эксперимента, но имело положительную динамику (табл.).

В связи с наличием нормальной эндоскопической картины и положительной динамикой восстановления порогов слуха по данным субъективных и объективных методов исследования морфологическое исследование Кортиева органа не проводилось.

Следует отметить, что уровень звука 127 дБА при экспозиции 3 мин эквивалентен по энергии действию постоянного шума за 8-часовой рабочий день 105 дБА. В соответствии с федеральным законом от 23.06.2014 г. №160-ФЗ «О специальной оценке условий труда» и соответствующей методикой, разработанной Минтруда России, он относится к подклассу 3.3 (вредные условия труда 3-й степени)<sup>2</sup>. В свою очередь, подкласс 3.3 характеризует условия труда, при которых на работника воздействуют вредные и (или) опасные производственные факторы, уровни воздействия которых способны вызвать стойкие функциональные изменения в организме работника, приводящие к появлению и развитию профессиональных заболеваний легкой и средней степени тяжести (с потерей профессиональной трудоспособности) в период трудовой деятельности. Но это применительно к ежедневной работе на протяжении трудовой деятельности, да и то при условии обязательного применения средств индивидуальной защиты слуха. Применение САС, очевидно, носит достаточно редкий характер, и человек едва ли будет подвергнут такому воздействию более одного раза.

Исходя из такой особенности применения САС и полученных результатов исследования на биологиче-

● **Таблица.** Динамика показателей отоакустической эмиссии на частоте продукта искажения у морских свинок при действии специального звукового сигнала в течение трех минут (n = 12)

● **Table.** Dynamic indicators of DPOAE in guinea pigs under the action of a special sound signal for 3 minutes (n = 12)

Частота, кГц	Значение ОАЭ до и после воздействия сигнала, дБ			
	До	После	1-е сут.	3-и сут.
1,5	9,8 (7,4; 14,0)	<b>4,7*</b> (-2,3; 7,1) p = 0,019	9,3 (6,3; 14,8) p = 0,937	15,5 (10,7; 16,2) p = 0,266
2,1	10,8 (7,8; 15,4)	<b>0*</b> (-2,7; 1,62) p = 0,005	14,0 (6,4; 23,8) p = 0,347	9,2 (1,8; 15,1) p = 0,433
3,3	9,6 (6,9; 16,8)	4,5 (0,2; 15,3) p = 0,155	9,25 (-0,2; 13,1) p = 0,239	9,4 (1,2; 17,3) p = 0,754
4,2	13,2 (2,8; 16,5)	<b>0*</b> (0; 5,1) p = 0,021	<b>3,6*</b> (-8,9; 8,9) p = 0,005	6,3 (0; 13,7) p = 0,136

\* p при сравнении со здоровыми животными (до воздействия), критерий Вилкоксона.

ской модели можно прогнозировать, что его однократное воздействие на орган слуха человека не приведет к развитию грубой морфологической патологии. Однако это не исключает наличие жалоб на ощущение звона и заложенности в ушах и задержку сроков восстановления временного сдвига порогов слуха у лиц, обладающих повышенной индивидуальной чувствительностью к действию шума.

## ВЫВОДЫ

Исследованный специальный звуковой сигнал характеризуется наличием отчетливо выраженных частотных составляющих и может быть отнесен к тональным шумам. Он носит пульсирующий характер с периодичностью изменения амплитуды отдельных звуковых компонентов 10 раз в секунду, что может оказать свое влияние не только на состояние органа слуха, но и на организм в целом.

В результате проведенного экспериментального исследования на биологических моделях (морские свинки) установлено, что при кратковременном (в течение трех минут) однократном воздействии специального звукового сигнала с уровнем звука от 127 до 128 дБА возникновения патологии органа слуха не выявлено. С учетом большей устойчивости людей к акустическим воздействиям по сравнению с морскими свинками это в равной степени может быть распространено и на человека.

Внезапное включение сигнала может приводить к развитию панических реакций, что должно учитываться при планировании применения специальных акустических средств.



Поступила / Received 01.08.2022  
Поступила после рецензирования / Revised 10.10.2022  
Принята в печать / Accepted 12.10.2022

<sup>2</sup> Федеральный закон РФ от 28.12.2013 г. №426 (ред. от 01.01.2021) «О специальной оценке условий труда». Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/499067392>.



## Список литературы / References

1. Быстров Б.В., Муравьев В.Н., Пироженко В.А. О новых физических принципах защиты кораблей и объектов морской экономической деятельности от подводных диверсий. *Вопросы оборонной техники. Серия 16: технические средства противодействия терроризму*. 2013;(1–2):71–74. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=21252421>. Bistrov B.V., Muraviev V.N., Pirozhenko V.A. About new physical principles of ships and economic sea objects protection against underwater diversion. *Military Engineer. Scientific and Technical Journal. Counter-terrorism technical devices. Issue 16*. 2013;(1–2):71–74. (In Russ.) Available at: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=21252421>.
2. Altmann J. Acoustic Weapons – A Prospective Assessment. *Sci Glob Sec*. 2001;9(3):165–234. Available at: [https://scienceandglobalsecurity.org/archive/2001/11/acoustic\\_weapons\\_-\\_a\\_prospect.html](https://scienceandglobalsecurity.org/archive/2001/11/acoustic_weapons_-_a_prospect.html).
3. Яремчук С.Д., Ганченко П.В. Анализ развития радиочастотного и акустического оружия за рубежом. *Вопросы оборонной техники. Серия 16: технические средства противодействия терроризму*. 2019;(5–6):96–104. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=38245982>. Yaremchuk S.D., Ganchenko P.V. Analysis of radio frequency and acoustic weapons development in other countries. *Military Engineer. Scientific and Technical Journal. Counter-terrorism technical devices. Issue 16*. 2019;(5–6):96–104. (In Russ.) Available at: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=38245982>.
4. Дайхес Н.А., Аденинская Е.Е., Мачалов А.С. Экспертная значимость профиля аудиометрической кривой при диагностике потери слуха, вызванной шумом. *Российская оториноларингология*. 2019;18(3):27–32. <https://doi.org/10.18692/1810-4800-2019-3-27-32>. Daihes N.A., Adeninskaya E.E., Machalov A.S. Expert significance of the audiometric curve profile in the diagnosis of noise-induced hearing loss. *Rossiiskaya Otorinolaringologiya*. 2019;18(3):27–32. (In Russ.) <https://doi.org/10.18692/1810-4800-2019-3-27-32>.
5. Гюсан А.О., Ураскулова Б.Б., Узденова Х.А. Эпидемиология и структура травматических повреждений уха в Карачаево-Черкесской Республике. *Российская оториноларингология*. 2020;20(5):13–18. <https://doi.org/10.18692/1810-4800-2021-5-13-18>. Gyusan A.O., Uraskulova B.B., Uzdanova H.A. Epidemiology and structure of traumatic injuries of ear in the Karachay-Cherkessk republic. *Rossiiskaya Otorinolaringologiya*. 2021;20(5):13–18. (In Russ.) <https://doi.org/10.18692/1810-4800-2021-5-13-18>.
6. Дворянчиков В.В., Кузнецов М.С., Глазников Л.А., Морозова М.В., Гофман В.Р., Фаткина И.А. Использование задержанной вызванной отоакустической эмиссии в качестве скринингового метода оценки слуха после воздействия шума высокой интенсивности. *Российская оториноларингология*. 2021;20(4):21–26. <https://doi.org/10.18692/1810-4800-2021-4-21-26>. Dvoryanchikov V.V., Kuznetsov M.S., Glaznikov L.A., Morozova M.V., Gofman V.R., Fatkina I.A. Use of transient evoked otoacoustic emissions as a hearing screen after high-intensity noise exposure. *Rossiiskaya Otorinolaringologiya*. 2021;20(4):21–26. (In Russ.) <https://doi.org/10.18692/1810-4800-2021-4-21-26>.
7. Sherry C., Cook M., Brown C. *An Assessment of the Effects of Four Acoustic Energy Devices on Animal Behavior*. Texas: Brooks Air Force Base. TX: Air Force Research Laboratory; 2000. 80 p. Available at: [https://archive.org/details/DTIC\\_ADA385802/mode/zip](https://archive.org/details/DTIC_ADA385802/mode/zip).
8. Ундриц В.Ф., Темкин Я.С., Нейман Л.В. (ред.). *Руководство по клинической аудиологии*. М.: Медицина; 1962. 324 с. Undric V.F., Temkin Ya.S., Neyman L.V. (eds.). *Guide to clinical audiology*. Moscow: Medicine; 1962. 324 p. (In Russ.)
9. Young Y.H. Inner ear test battery in guinea pig models – a review. *Acta Otolaryngol*. 2018;138(6):519–529. Available at: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/00016489.2017.1419576?journalCode=ioto20>.
10. Stebbins W.C., Moody D.B., Serafin J.V. Some principal issues in the analysis of noise effects on hearing in experimental animals. *Am J Otolaryngol*. 1982;3(4):295–304. Available at: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0196070982800690?via%3Dihub>.
11. Gittleman S.N., Le Prell C.G., Hammill T.L. Octave band noise exposure: Laboratory models and otoprotection efforts. *J Acoust Soc Am*. 2019;146(5):3800. <https://doi.org/10.1121/1.5133393>.
12. Liang Y., Zhang S., Zhang X. Effect of sildenafil on morphology to noise – induced hearing loss in guinea pigs. *Lin Chung Er Bi Yan Hou Tou Jing Wai Ke Za Zhi*. 2015;29(13):1216–1220. Available at: <https://www.semantic-scholar.org/paper/%5BEffect-of-sildenafil-on-morphology-to-hearing-loss-Liang-Zhang/ddf5baa62c6489fa9c0640c2cf299f6071ac6a>.
13. Hu B.H., Guo W., Wang P.Y., Henderson D., Jiang S.C. Intense noise-induced apoptosis in hair cells of guinea pig cochlea. *Acta Otolaryngol*. 2000;120(1):19–24. <https://doi.org/10.1080/000164800750044443>.
14. Kanagawa E., Sugahara K., Hirose Y., Mikuriya T., Shimogori H., Yamashita H. Effects of substance P during the recovery of hearing function after noise-induced hearing loss. *Brain Res*. 2014;1582:187196. <https://doi.org/10.1016/j.brainres.2014.07.024>.
15. Naert G., Padelou M.P., Le Prell C.G. Use of the guinea pig in studies on the development and prevention of acquired sensorineural hearing loss, with an emphasis on noise. *J Acoust Soc Am*. 2019;146:3743. <https://doi.org/10.1121/1.5132711>.
16. Хныченко Л.К., Петрова Н.Н., Ильинская Е.В., Танчук А.Е. Антисурдитантное свойство структурного аналога таурина. *Обзоры по клинической фармакологии и лекарственной терапии*. 2018;16(2):25–32. <https://doi.org/10.17816/RCF16225-32>. Hnychenko L.K., Petrova N.N., Il'sinskaya E.V., Tanchuk A.E. Antisurdant properties of the structural analogue of taurin. *Reviews on Clinical Pharmacology and Drug Therapy*. 2018;16(2):25–32. (In Russ.) <https://doi.org/10.17816/RCF16225-32>.
17. Левченко О.Е., Курдил Н.В., Луценко О.Г., Падалка В.Н. Медицинские аспекты современного нелетального оружия: травмирующие факторы нового типа (подготовлено по материалам управления по нелетальному оружию (Joint non-lethal weapons Directorate) Министерства обороны США, Вирджиния, 2011). *Медицина неотложных состояний*. 2016;(2):30–38. Режим доступа: [https://cyberleninka.ru/article/n/meditsinskie-aspekty-sovremennogo-neletalnogo-oruzhiya-travmiruyuschie-factory-novogo-tipa-podgotovleno-po-materialam-upravleniya-po](https://cyberleninka.ru/article/n/meditsinskie-aspekty-sovremennogo-neletalnogo-oruzhiya-travmiruyuschie-factory-novogo-tipa-podgotovleno-po-materialam-upravleniya-po-Levchenko-O.E.,Kurdil'-N.V.,Lucenko-O.G.,Padalka-V.N.Medical-aspects-of-modern-non-lethal-weapons-traumatic-factors-of-a-new-type-prepared-according-to-the-materials-of-the-Office-of-Non-lethal-Weapons-Joint-non-lethal-weapons-Directorate-of-the-US-Department-of-Defense,Virginia,2011.Emergency-Medicine.2016;(2):30-38.(In-Russ.)Available-at:https://cyberleninka.ru/article/n/meditsinskie-aspekty-sovremennogo-neletalnogo-oruzhiya-travmiruyuschie-factory-novogo-tipa-podgotovleno-po-materialam-upravleniya-po).
18. Акимов М.А., Акимов Д.Ю. Морские свинки в доклинических исследованиях, оптимальные характеристики тест-системы. *Лабораторные животные для научных исследований*. 2021;(1):78–85. <https://doi.org/10.29296/10.29296/2618723X-2021-01-08>. Akimov M.A., Akimov D.Yu. Guinea pig in preclinical studies, optimal characteristics of the test system. *Laboratory Animals for Science*. 2021;(1):78–85. (In Russ.) Available at: <https://doi.org/10.29296/10.29296/2618723X-2021-01-08>.
19. Хиллов К.Л., Преображенский Н.А. *Отосклероз*. Л.: Медицина; 1965. 240 с. Hilov K.L., Preobrazhenskij N.A. *Otosclerosis*. Leningrad: Meditsina; 1965. 240 p. (In Russ.)
20. Журавский С.Г., Паневин А.А. Отоакустическая эмиссия как метод оценки функционального состояния слухового анализатора. *Международный вестник ветеринарии*. 2017;(1):92–98. Режим доступа: [https://vivariy.com/media/ck\\_uploads/2017/05/29/uidjpt.pdf](https://vivariy.com/media/ck_uploads/2017/05/29/uidjpt.pdf). Zhuravskij S.G., Panevin A.A. Otoacoustic emission: a method for assessment of the functional status of the auditory analyzer. *International Journal of Veterinary Medicine*. 2017;(1):92–98. (In Russ.) Available at: [https://vivariy.com/media/ck\\_uploads/2017/05/29/uidjpt.pdf](https://vivariy.com/media/ck_uploads/2017/05/29/uidjpt.pdf).
21. Овсянников В.Г., Золотова Т.В., Лобзина Е.В., Дубинская Н.В. Патологические изменения во внутреннем ухе при экспериментальном моделировании сенсоневральной тугоухости у животных. *Кубанский научный медицинский вестник*. 2018;25(3):82–87. <https://doi.org/10.25207/1608-6228-2018-25-3-82-87>. Ovsyannikov V.G., Zolotova T.V., Lobzina E.V., Dubinskaya N.V. Pathological changes in the inner ear in experimental modeling of sensorineural hearing loss in animals. *Kuban Scientific Medical Bulletin*. 2018;25(3):82–87. (In Russ.) <https://doi.org/10.25207/1608-6228-2018-25-3-82-87>.
22. Бобошко М.Ю., Риехакайнен Е.И. Речевая аудиометрия в клинической практике. СПб.: Диалог; 2019. 80 с. Режим доступа: <http://izddialog.ru/upload/iblock/570/57061ea15575659d3e3d25b6072268a2.pdf>. Bobosko M.Yu., Riekhakajnen E.I. *Speech audiometry in clinical practice*. St Petersburg: Dialog; 2019. 80 p. (In Russ.) Available at: <http://izddialog.ru/upload/iblock/570/57061ea15575659d3e3d25b6072268a2.pdf>.
23. Володин Э.И. *Слух и восприятие звука*. СПб.: 2004. 36 с. Режим доступа: [https://www.studmed.ru/vologdin-e-i-sluh-i-vospriyatie-zvuka\\_3dd67b58979.html](https://www.studmed.ru/vologdin-e-i-sluh-i-vospriyatie-zvuka_3dd67b58979.html). Vologdin E.I. *Hearing and perception of sound*. St Petersburg; 2004. 36 p. Available at: [https://www.studmed.ru/vologdin-e-i-sluh-i-vospriyatie-zvuka\\_3dd67b58979.html](https://www.studmed.ru/vologdin-e-i-sluh-i-vospriyatie-zvuka_3dd67b58979.html).
24. Селиванов В.В., Левин Д.П. Возможности применения акустических средств нелетального действия в операциях по правопринуждению. *Вестник Московского государственного технического университета им. Н.Э. Баумана. Серия «Машиностроение»*. 2009;(2):102–114. Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/vozmozhnosti-primeneniya-akusticheskikh-sredstv-neletalnogo-deystviya-v-operatsiyah-po-pravoprinuzhdeniyu>. Selivanov V.V., Levin D.P. The possibilities of using acoustic means of non-lethal action in law enforcement operations. *Herald of the Bauman Moscow State Technical University. Series Mechanical Engineering*. 2009;(2):102–114. (In Russ.) Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/vozmozhnosti-primeneniya-akusticheskikh-sredstv-neletalnogo-deystviya-v-operatsiyah-po-pravoprinuzhdeniyu>.
25. Ryan A.F., Kujawa S.G., Hammill T., Le Prell C., Kil J. Temporary and Permanent Noise-induced Threshold Shifts: A Review of Basic and Clinical Observations. *Otol Neurotol*. 2016;37(8):271–275. <https://doi.org/10.1097/MAO.0000000000001071>.

### **Вклад авторов:**

Концепция и дизайн исследования – **Дворянчиков В.В.**

Написание текста – **Кузнецов М.С.**

Сбор и обработка материала – **Кузнецов М.С.**

Анализ материала – **Кузнецов М.С.**

Редактирование – **Логаткин С.М., Голованов А.Е.**

Утверждение окончательного варианта статьи – **Дворянчиков В.В.**

### **Contribution of authors:**

Study concept and design – **Vladimir V. Dvoryanchikov**

Text development – **Maxim S. Kuznetsov**

Collection and processing of material – **Maxim S. Kuznetsov**

Material analysis – **Maxim S. Kuznetsov**

Editing – **Stanislav M. Logatkin, Andrey E. Golovanov**

Approval of the final version of the article – **Vladimir V. Dvoryanchikov**

### **Информация об авторах:**

**Дворянчиков Владимир Владимирович**, д.м.н., профессор, директор Санкт-Петербургского научно-исследовательского института уха, горла, носа и речи; 190013, Россия, Санкт-Петербург, ул. Бронницкая, д. 9; 3162256@mail.ru

**Кузнецов Максим Сергеевич**, к.м.н., докторант кафедры оториноларингологии, Военно-медицинская академия имени С.М. Кирова; 194044, Россия, Санкт-Петербург, ул. Академика Лебедева, д. 6; mskuznecov2@mail.ru

**Логаткин Станислав Михайлович**, д.м.н., доцент, старший научный сотрудник, Государственный научно-исследовательский испытательный институт военной медицины; 195043, Россия, Санкт-Петербург, ул. Лесопарковая, д. 4; logatkin.stanislav@yandex.ru

**Голованов Андрей Евгеньевич**, к.м.н., доцент, врио начальника кафедры оториноларингологии, Военно-медицинская академия имени С.М. Кирова; 194044, Россия, Санкт-Петербург, ул. Академика Лебедева, д. 6; lor\_vma@mail.ru

### **Information about the authors:**

**Vladimir V. Dvoryanchikov**, Dr. Sci. (Med.), Professor, the Head of the Saint Petersburg Research Institute of Ear, Throat, Nose and Speech; 9, Bronnitskaya St., St Petersburg, 190013, Russia; 3162256@mail.ru

**Maxim S. Kuznetsov**, Cand. Sci. (Med.), Doctoral Candidate Department of Otorhinolaryngology, Military Medical Academy named after S.M. Kirov; 6, Academician Lebedev St., St Petersburg, 194044, Russia; mskuznecov2@mail.ru

**Stanislav M. Logatkin**, Dr. Sci. (Med.), Associate Professor, Senior Scientific Researcher of the State Scientific Research Testing Institute of Military Medicine; 4, Lesoparkovaya St., St Petersburg, 195043, Russia; logatkin.stanislav@yandex.ru

**Andrey E. Golovanov**, Cand. Sci. (Med.), Associate Professor, Acting Head of Department of Otorhinolaryngology, Military Medical Academy named after S.M. Kirov; 6, Academician Lebedev St., St Petersburg, 194044, Russia; lor\_vma@mail.ru