

Дискуссия

УДК 613.693;616.28

¹Иванов А.И., ²Корсун О.Н., ¹Меркулова А.Г., ¹Булгакова М.В., ²Нахаев М.З.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВЗАИМОСВЯЗИ ХАРАКТЕРИСТИК РЕЧИ И СОСТОЯНИЯ СЛУХА У ЛЕТНОГО СОСТАВА С НЕЙРОСЕНСОРНОЙ ТУГОУХОСТЬЮ: ПИЛОТНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ

¹ФГБНУ «НИИ медицины труда», пр-т Буденного, д. 31, Москва, Россия, 105275

²ФГУП «ГосНИИАС», ул. Викторенко, д. 7, Москва, Россия, 125319

В работе предложен новый методический подход к анализу взаимосвязи профессионального нарушения слуха в форме нейросенсорной тугоухости (НСТ) и изменений характеристик речи на примере пилотов гражданской авиации. Для анализа используется степень корреляционной связи между значениями порогов слуха по данным аудиограммы и речевой передаточной функции диктора в идентичных спектральных областях. Исследование проведено с участием 29 пилотов с клинически подтвержденным диагнозом НСТ. Полученные результаты не отрицают возможность развития специфических изменений речи у взрослых пациентов с длительным выраженным нарушением слуха.

Сформулированы основные направления повышения валидности предложенного методического подхода изучения влияния нарушений слуха на характеристики речи пациентов.

Работа выполнена при поддержке РФФИ, грант РФФИ 15–08–05833.

Ключевые слова: слух; нейросенсорная тугоухость; речь; аудиограмма; речевая передаточная функция по частоте.

¹Ivanov A.I., ²Korsun O.N., ¹Merkulova A.G., ¹Bulgakova M.V., ²Nakhaev M.Z. **Experimental study of relations between speech characteristics and hearing state in pilots with neurosensory deafness: pilot research**

¹FSBSI «Research Institute of Occupational Health», 31, Pr-t Budennogo, Moscow, Russia, 105275

²FSUE «State scientific research Institute of aviation systems», 7, ul. Viktorenko, Moscow, Russia, 125319

The authors suggest new methodic approach to analysis of relations between occupational hearing disorders (neurosensory deafness) and changed speech characteristics, as exemplified by civil aviation pilots. Analysis uses degree of correlation between parameters of hearing thresholds on audiogram and speech transfer function of speaker in identical spectral area. The study was conducted with participation of 29 pilots with clinically confirmed neurosensory deafness. The results obtained do not decline possible specific speech changes in adults with prolonged severe hearing disorder.

The authors formulated main directions to increase validity of the methodic approach suggested for studying influence of hearing disorders on patients' speech characteristics.

The work was conducted with support of RFFI, grant RFFI 15–08–05833.

Key words: hearing; neurosensory deafness; speech; audiogram; speech transfer function by frequency.

Одним из профессионально вредных факторов в трудовой деятельности летного состава является воздействие интенсивного авиационного шума, длительное воздействие которого может приводить к развитию профессионального заболевания органа слуха — двусторонней нейросенсорной тугоухости (НСТ), являющейся одной из старейших проблем медицины труда. В течение последнего десятилетия в России НСТ профессионального генеза выявляется у работников большинства отраслей экономики, однако наиболее важной проблема последствий воздействия производственного шума остается в гражданской авиации [1,3].

В современных условиях проблема профессиональной патологии слуха у летного состава приобретает

новое звучание в связи с внедрением бортовых систем речевого управления, использующих автоматическое распознавание речи, основанное на анализе ее спектральных характеристик, надежность и эффективность которого во многом определяется характеристиками речи диктора. Показано, что выраженные нарушения слуха в виде НСТ, в том числе и у летного состава, сопровождаются изменением характеристик речи: увеличением вариабельности длительности произнесения слов, громкости речи, что отрицательно отражается на надежности ее автоматического распознавания. Изменение спектральных характеристик речи при нарушениях слуховой функции является мало исследованным, описание этих изменений носит в основном

качественный характер как со стороны анализа степени нарушения слуха, так и спектрального состава речи. [2].

Факт изменения спектральных характеристик речи у детей, страдающих серьезными нарушениями слуха, доказан, однако для взрослых лиц такая зависимость не является очевидной. В данном исследовании предпринята попытка количественного установления наличия связи между нарушением слуха и изменением характеристик речи взрослых дикторов, страдающих НСТ.

В клинической практике для количественной оценки слуха используется стандартизированный метод аудиометрии, позволяющий определить изменение слуховых порогов для фиксированных звуковых частот. Исследуют пороги слуха в диапазоне от 125 до 8000 Гц при воздушном проведении и от 250 до 4000 Гц при костном проведении (при разнице между соседними частотами в одну октаву). В зависимости от характера нарушения слуха вид аудиограммы существенно изменяется.

Для пациентов с НСТ характерно прогрессивное снижение слуха с увеличением частоты звуковых стимулов, наиболее выраженное в области речевых частот (1–4 кГц). Анализ аудиограммы позволяет количественно оценить состояние слуха пациента на исследуемых частотах.

Количественная оценка изменений спектральных характеристик речи является более сложной нетривиальной задачей. Также как и аудиограмма, эта оценка должна быть привязана к некоторому эталону. В качестве эталона могут использоваться стандартные слова, произносимые диктором с нормальным слухом, не страдающим какими-либо дефектами речи. В работе [4] для задач анализа характеристик речи предложено понятие речевой передаточной функции по частоте (РПФЧ), основанное на классическом определении из теории автоматического управления [5]. Для формирования образа слова (матрицы параметрического портрета) используется методика вычисления параметров речевого сигнала, включающая следующую процедуру оценки спектральной плотности и параметров речи. Вначале речевой фрагмент делится на кадры длительностью 20–40 мс и взвешивается при помощи функции окна Хэмминга. После этого вычисляется модуль Фурье-образа анализируемого сигнала с помощью процедуры быстрого преобразования Фурье. При этом весь диапазон частот, ограниченный частотой Найквиста, делится на заданное количество полос (20–40) и для каждой полосы вычисляется средняя амплитуда. Далее выполняется вычисление РПФЧ между двумя дикторами, речь одного из которых принимается в качестве эталонной. Полученная функция отражает соотношение интенсивности речевого сигнала эталонного и тестируемого дикторов на заданных частотах квантования.

Материал и методики. К исследованию были привлечены 29 мужчин-пилотов гражданской авиации с

нарушением слуха в форме нейросенсорной тугоухости различной степени выраженности. Клиническое обследование пилотов и запись образцов речи выполнены на базе отделения оториноларингологии клиники ФГБНУ «НИИ МТ» в специальной шумоизолированной камере с шумовым фоном не более 40–50 дБ.

Обследование пациентов включало: сбор анамнеза с учетом данных условий труда, профмаршрута и медицинской документации; осмотр ЛОР-органов, отоскопия при помощи отоскопа фирмы Welch Allyn Company (США); определение восприятия шепотной речи; камертональное обследование; аудиометрическое исследование в диапазоне 125–16000 Гц на клиническом аудиометре SD-50 (Германия, Siemens).

По данным ЛОР-обследования давалось заключение о типе и степени нарушения слуховой функции.

Запись образцов речи пилотов выполнялась на стандартном переносном компьютере VAIO VGN-SZ7RXN/C с микрофоном компьютерной аудиогарнитуры Sennheiser 350. В качестве тестовых использовались слова из авиационной лексики — «пилотаж», «масштаб», «навигация», которые произносились дикторами изолированно с паузами между словами 10–15 секунд для исключения влияния контекста. Порядок произнесения слов был случайным. Записывалось по 50 реализаций каждого слова. Для каждого слова вычислялась речевая передаточная функция.

В качестве эталона использовалась речь диктора с нормальными функциями слуха и речи. По каждому слову для него вычисляется средняя суммарная матрица параметрического портрета по всем имеющимся N реализациям (ф-ла 1):

$$x = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N \{x_{ij}\}_k; i = 1 \dots N_t; j = 1 \dots N_f, (1)$$

где N_t — число интервалов, на которые разделена рассматриваемая реализация (в нашем случае 17), N_f — число спектральных полос (в нашем случае 35).

Для тестируемого диктора вычисляется такая же суммарная матрица, как и для эталонного. Далее передаточная функция вычисляется на основе теоремы Винера-Хинчина (ф-ла 2) [5].

$$|W(f)| = \frac{s_y(f)}{s_x(f)} \quad (2)$$

где $S_x(f)$ — спектральная плотность входного воздействия,

$S_y(f)$ — спектральная плотность выходного воздействия.

Для принятого способа формирования параметрического портрета его элементы являются оценками спектральных плотностей. Поэтому далее для каждой из 35 частотных полос вычисляется передаточная функция как 20 десятичных логарифмов отношения усредненной матрицы первого и второго дикторов, тем самым на выходе данные представляются в децибелах. Полученная величина обозначается как речевая передаточная функция по частоте (РПФЧ).

Полученные параметры — данные аудиограммы и РПФЧ — могут количественно характеризовать состояние слуха и речи пациента.

Целью данного исследования явилось определение взаимосвязи патологического состояния слуха пациентов и возможных изменений спектральных характеристик их речи.

Методы исследования. Анализ проведен методом определения корреляционных отношений величины изменения порогов слуха (аудиограмма) и значений РПФЧ на идентичных значениях частот. В качестве меры связи этих параметров использовались значения коэффициента корреляции Пирсона.

Результаты экспериментального исследования и их обсуждение. Аудиограммы практически всех пациентов с НСТ имели схожий вид, характерный для данной патологии — незначительное снижение слуха в области низких речевых частот до 500 Гц с последующей резкой деградацией слуха, достигающей максимального значения в области 4000 Гц симметрично для правого и левого уха. Характер изменений был однотипным для воздушной и костной проводимости.

Типичная форма кривой РПФЧ у пациентов с НСТ имеет небольшой прирост в области низких частот (125 Гц) с переходом в снижение в области частот 250–500 Гц и с последующим повышением до максимальных значений на частоте 4000 Гц.

По отношению к аудиограммам характер кривых РПФЧ отличается разнообразием, среди которого можно условно выделить несколько типов:

1. «Зеркальный» — снижению слуховой чувствительности в области высоких частот (2–8 кГц) соответствует пропорциональное повышение интенсивности речевого сигнала в этой частотной области (рис. 1).

2. «Стертый» — снижению слуховой чувствительности в области высоких частот соответствует повышение интенсивности речевого сигнала, не привязанное строго к частотному диапазону (рис. 2).

3. «Стохастический» — колебания значений речевой передаточной функции носят случайный характер, независимый от параметров аудиограммы (рис. 3).

Характер кривых РПФЧ также несколько различался в зависимости от используемого тестового слова — «пилотаж», «масштаб» или «навигация». Для тестовых слов «пилотаж», «масштаб» кривые речевых передаточных функций имели схожий вид и близкие амплитудные значения. Речевые передаточные функции тестового слова «навигация» имели высокую вариативность между дикторами, часто значительно отличались от РПФЧ для тестовых слов «пилотаж» и «масштаб».

Для установления степени связи изменений характеристик речи при нарушении слуховой функции определены значения коэффициента корреляции Пирсона для параметров аудиограмм воздушной проводимости и РПФЧ. Значения коэффициента корреляции Пирсона имели как отрицательные, так и положительные значения. Отрицательное значение коэффициента корреляции трактовалось как повышение интенсивности речевого сигнала при снижении слуха в данной спектральной области; положительный коэффициент корреляции указывал на обратное отношение между исследуемыми параметрами. Однако статистически достоверный уровень связи отмечался только для отрицательных значений, т. е. для ситуаций, когда снижению слуха на определенной частоте соответствовало повышение интенсивности речевого сигнала в данной спектральной области. Значение коэффициента корреляции в этих случаях составляло от $-0,71$ до $-0,85$, что

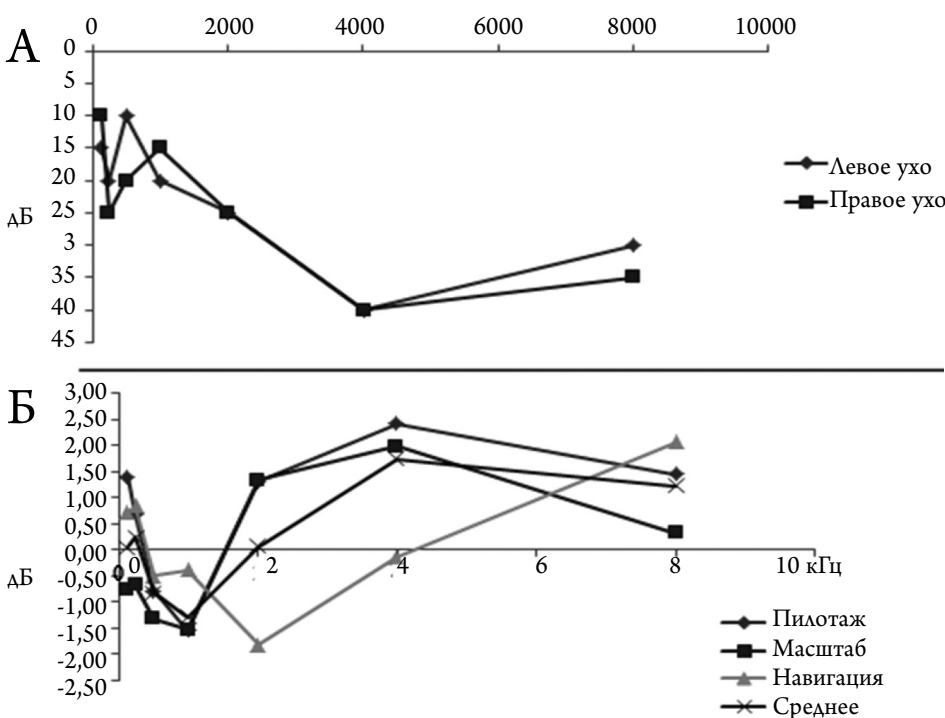


Рис. 1 – Аудиограмма (А) и речевые передаточные функции (Б) пациента Г-ко

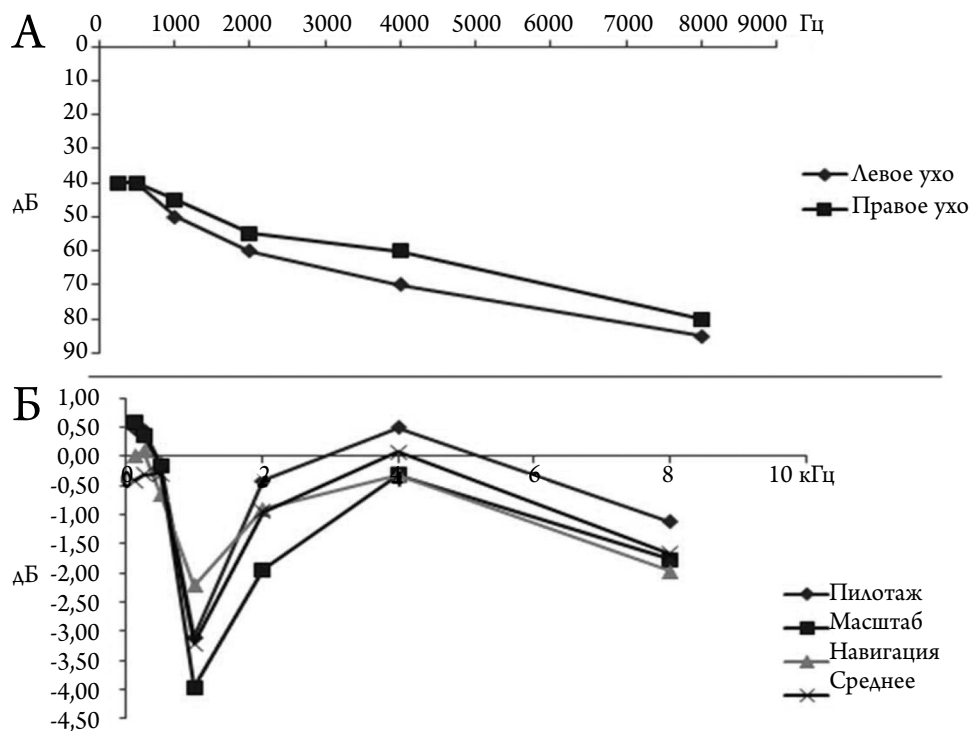


Рис. 2 – Аудиограмма (А) и речевые передаточные функции (Б) пациента Сер-ва

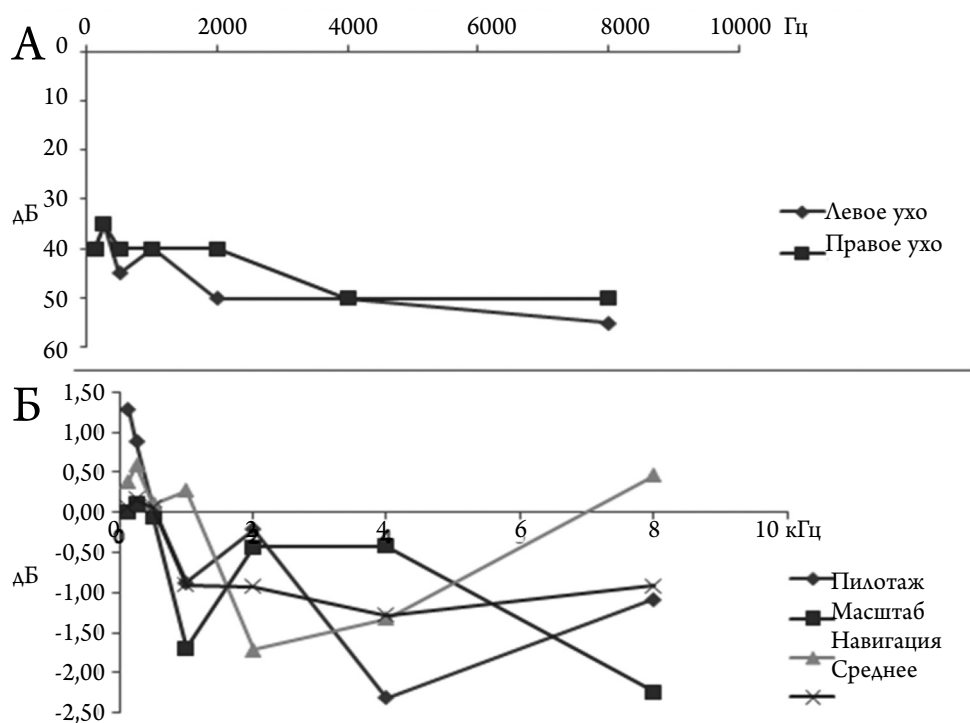


Рис. 3 – Аудиограмма (А) и речевые передаточные функции (Б) пациента Сух-ко

соответствовало уровню статистической значимости $p < 0,05-0,02$. Достоверный характер связи отмечен у 20,7% пациентов (6 из 29 человек). В этой группе у трех пациентов имелась достоверная связь РПФЧ с аудиограммами как правого, так и левого уха, в остальных случаях достоверный уровень связи выявлялся только с аудиограммой одного уха.

Установлено значительное различие результатов в зависимости от используемого тестового слова. При использовании тестового слова «пилотаж» достоверная отрицательная корреляционная связь параметров

РПФЧ и аудиограммы имела место у 6 пациентов. Из этих пациентов дополнительно у 1 пациента имелась достоверная связь параметров РПФЧ и аудиограммы при использовании тестового слова «масштаб» и у 1 пациента — при использовании тестового слова «навигация».

Предпринята попытка установления влияния возраста и степени нарушения слуха на частоту возникновения изменений характеристик речи. С этой целью проанализированы степень снижения слуха на частоте 4000 Гц и возраст в группах пациентов с достоверной

связью значений РПФЧ и аудиограммы и пациентов без таковой (табл.).

Таблица

Степень снижения слуха и возраст пациентов с установленной связью значений РПФЧ и аудиограммы (группа 1) и пациентов с отсутствием связи указанных параметров (группа 2)

Показатель	Группа 1 (n=6) $\bar{x} \pm \sigma$	Группа 2 (n=23) $\bar{x} \pm \sigma$
Снижение слуха правого уха на частоте 4000 Гц, дБ	58,0 $\pm$ 10,4	61,6 $\pm$ 8,6
Снижение слуха левого уха на частоте 4000 Гц, дБ	61,0 $\pm$ 7,4	61,4 $\pm$ 10,9
Возраст пациентов, лет	60,5 $\pm$ 4,4	57,0 $\pm$ 5,3

В обеих группах отмечено значительное снижение слуха на исследованной частоте, что характерно для данного заболевания. Однако степень нарушения слуха в группах достоверно не различалась, в группе 1 у пациентов с установленной связью значений РПФЧ и аудиограммы она была даже несколько ниже. Различия возраста пациентов 1 и 2 групп не достигало статистически значимого уровня, но средний возраст пациентов группы 1 был заметно (на 3,5 года) выше по сравнению со средним возрастом пациентов группы 2. Полученные данные косвенно указывают на значение временного фактора в развитии изменений характеристик речи при нарушении слуха, более вероятной является связь этих изменений с характером развития и длительностью заболевания.

Выводы:

1. Полученные результаты отражают возможность развития специфических изменений речи при выраженном продолжительном снижении слуха у взрослых пациентов.
2. Полученные результаты могут быть связаны как с большой лабильностью речи пациентов (состояние верхних дыхательных путей, артикуляционного аппарата, эмоциональное состояние), так и с недостатками использованной методики.
3. Проведенное исследование позволяет сформулировать основные направления необходимости применения предложенного методического подхода изучения влияния нарушений слуха на характеристики речи пациентов: обоснование требований к характеристикам речи и слуха «эталонного» диктора для определения речевых передаточных функций пациентов, увеличение точек квантования аудиограмм пациентов для повышения статистической достоверности результатов исследования, формирование набора тестовых слов с различным формантным составом для выявления специфических изменений речи.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Денисов Э.И., Ильяева Е.Н. Шум и риск потери слуха // Профессиональный риск для здоровья работников (Руко-

водство) / Под ред. Н.Ф. Измерова и Э.И. Денисова. — М.: Тривант, 2003. — С. 114–124.

2. Иванов А.И., Корсун О.Н., Большакова В.А., Меркулова А.Г. Исследование характеристик речи дикторов пилотов с нарушениями слуха в интересах создания системы речевого управления бортовым оборудованием летательных аппаратов // Мед труда и пром. экология. — 2014. — № 11. — С. 40–45.

3. Ильяева Е.Н., Пиктушанская Т.Е. Особенности развития НСТ у работников летного состава гражданской авиации и шахтеров-угольщиков // Мед. труда и пром. экология. — 2009. — № 11. — С. 27–36.

4. Корсун О.Н., Нахаев М.З. Понятие речевой передаточной функции диктора и экспериментальная оценка ее свойств // Вестник компьютерных и информационных технологий. — 2016. — № 10. — С. 11–16.

5. Справочник по теории автоматического управления // Под ред. А.А. Красовского. М.: Наука, 1987. — 711 с.

REFERENCES

1. Denisov E.I., Il'kaeva E.N. Noise and risk of hearing loss. In: N.F. Izmerov, E.I. Denisov, eds. Occupational risk for workers' health (Manual). — Moscow: Trovant, 2003. — P. 114–124 (in Russian).

2. Ivanov A.I., Korsun O.N., Bol'shakova V.A., Merkulova A.G. Studies of speech characteristics of speakers in pilots with hearing disorders for creating system of voice-activated control of board equipment of aircrafts // Industr. med. — 2014. — 11. — P. 40–45 (in Russian).

3. Il'kaeva E.N., Piktushanskaya T.E. Features of neurosensory deafness in civil aviation pilots and in coal miners // Industr. med. — 2009. — 11. — P. 27–36 (in Russian).

4. Korsun O.N., Nakhaev M.Z. Concept of speech transfer function of speaker and experimental evaluation of its properties // Vestnik komp'yuternykh i informatsionnykh tekhnologiy. — 2016. — 10. — P. 11–16 (in Russian).

5. A.A. Krasovskiy, ed. Manual on theory of automated control. — Moscow: Nauka, 1987. — 711 p. (in Russian).

Поступила 28.11.2016

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Иванов Александр Иванович (Ivanov A.I.),
вед. науч. сотр. ФГБНУ «НИИ МТ», д-р мед. наук. E-mail: manaton2011@yandex.ru.

Корсун Олег Николаевич (Korsun O.N.),
нач. лаб. ФГУП «ГосНИИАС», д-р техн. наук. E-mail: marmotto@rambler.ru.

Меркулова Анастасия Геннадьевна (Merkulova A.G.),
мл. науч. сотр. ФГБНУ «НИИ МТ». E-mail: merkoulova@gmail.com.

Булгакова Мария Викторовна (Bulgakova M.V.),
зав. лор. отд. ФГБНУ «НИИ МТ». E-mail: andrianova_doc@mail.ru.

Нахаев Магомед Замирбагович (Nakhaev M.Z.),
инж. лаб. ФГУП «ГосНИИАС», магистр. E-mail: maga2894@gmail.com.