

## ОТОРИНОЛАРИНГОЛОГИЯ

УДК: 616.28-008:14-072.7-085.37

### ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ СЛУХОВЫХ АППАРАТОВ ПРИ ГЛУБОКОЙ ТУГОУХОСТИ: ОТ АУДИОЛОГИЧЕСКОГО ПРОФИЛЯ К ИНДИВИДУАЛИЗИРОВАННЫМ НАСТРОЙКАМ

Абдукаюмов А.А., Наджимутдинова Н.Ш., Махмудов М.У., Маджитова Д.Ш.,  
Абдукамилова М.М. Каримов Ж.С.  
Республиканский специализированный научно-практический медицинский центр  
педиатрии, г.Ташкент

#### ХУЛОСА

**Тадқиқот мақсади.** Мактаб ёшидаги сенсоневрал эшитиш сусайиши бўлган болаларда эшитишни протезлаш самарадорлигини ошириши ва нутқни қабул қилишни яхшилаш мақсадида эшитиш аппаратларини танлаш ва индивидуал созлаш протоколларини ишлаб чиқиш ҳамда асослаб бериш.

**Материаллар ва усуллар.** 8-13 ёшли, икки томонлама юқори даражаси сенсоневрал эшитиш сусайиши (70-90 дБ) бўлган 115 нафар бола текширилди. Барча иштирокчиларда юқори қувватли рақамли қулоқ орти (BTE) эшитиш аппаратлари билан бинаурал протезлаш амалга оширилди. Созлаш жараёни индивидуал аудиограмма асосида DSLv5 ёки NAL-NL2 методикаси бўйича бажарилди. Зарур ҳолларда частотали компрессия, шовқинни сусайтириши ва йўналтирилган микрофон функциялари фаоллаштирилди. Самарадорлик нутқни эшитиш ва тушуниш даражаси орқали баҳоланди, эҳтиёжга кўра қайта калибровка қилинди.

**Натижалар.** Болаларнинг кўпчилигида (52,2%) эшитиш пастлашининг енгил пасаётган (полого нисходящая) конфигурацияси аниқланди; 26,1% да – текис, 14,8% да – кескин пасаётган тур кузатилди. Частотали компрессия 17 болада қўлланилди ва уларнинг 76% да самарали бўлди. Асосий фаоллаштирилган функциялар: қайтиш алоқасини бартараф этиш (100%), шовқинни сусайтириши (77,4%) ва йўналтирилган микрофонлар (60,9%). 32,2% болада кўшимча созлаш талаб этилди. Индивидуал ёндашув эшитиш ва нутқни қабул қилишни яхшилади ҳамда аппаратдан фойдаланишни қулай қилди.

**Хулоса.** Индивидуал бинаурал эшитиш протезлаш ва замонавий алгоритмларни танлаб қўллаш ҳамда мунтазам аудиологик назорат орқали болаларда эшитиш ва нутқни тушуниш даражаси сезиларли равишда ошади. Энг яхши натижалар кўп соҳали мутахассислар ҳамкорлиги ва режали назорат созлашлар орқали қўлга киритилади.

#### SUMMARY

**Objective of the study.** To develop and justify a protocol for selecting and individually adjusting hearing aids in schoolchildren with sensorineural hearing loss to enhance the effectiveness of hearing rehabilitation and improve speech perception in specialized boarding schools.

**Materials and methods.** A total of 115 children aged 8-13 years with bilateral profound sensorineural hearing loss (70-90 dB) were examined. Digital behind-the-ear (BTE) hearing aids with binaural fitting were used. Adjustments were performed using the DSLv5 or NAL-NL2 methods, taking into account the individual audiogram. Features such as frequency compression, noise reduction, and directional microphones were activated. Effectiveness was assessed by speech intelligibility, with recalibration performed if necessary.

**Results.** Most children (52.2%) had a gently sloping descending audiogram, 26.1% had a flat audiogram, and 14.8% had a steeply sloping audiogram. Frequency compression was applied in 17 children and was effective in 76% of cases. The main activated features were feedback suppression (100%), noise reduction (77.4%), and directional microphones (60.9%). Re-adjustment was required for 32.2% of the children. The individualized approach improved speech perception and comfort in wearing the hearing aids.

**Conclusion.** Individualized binaural hearing aid fitting with selective use of modern algorithms and regular audiological monitoring provides clinically significant improvement in audibility and speech intelligibility in children. Optimal results are achieved through interdisciplinary support and scheduled follow-up adjustments.

**Keywords:** sensorineural hearing loss, hearing aids, frequency compression, noise reduction, individual fitting.

*Калит сўзлар: сенсоневрал эшитиш сусайиши, эшитиш аппарати, частотали компрессия, шовқинни сусайтириши, индивидуал созлаш.*

Сенсоневральная тугоухость у детей остаётся одной из наиболее значимых проблем оториноларингологии и аудиологии. По данным ВОЗ, около 34 млн детей в мире имеют нарушения слуха [2]. В Узбекистане ежегодно выявляются сотни новых случаев двусторонней тугоухости у дошкольников и школьников, причём нередко первичная аудиологическая помощь оказывается уже в школьном возрасте, в том числе в интернатах. Ранняя диагностика и своевременное слухопротезирование критичны для речевого и когнитивного развития, академической успеваемости и социальной адаптации. Однако даже при наличии аппаратов результаты часто субоптимальны из-за некорректного подбора модели, недостаточной настройки, отсутствия системного контроля и сопровождения [3,7].

У школьников эффективность слухопротезирования напрямую зависит от условий образовательной среды (шум, реверберация) и от наличия расширенных функций устройств (направленные микрофоны, шумоподавление, беспроводные системы)[5,6]. В специализированных школах-интернатах нередко отсутствуют стандартизированные алгоритмы подбора и регулярной верификации, что приводит к дискомфорту, свисту, «плохому звуку» и недоступности высокочастотных элементов речи; при крутонисходящих аудиограммах без частотного понижения дети теряют фонемы /с/, /ш/, /ф/ [1]. Актуальна разработка системного, доказательного подхода к выбору и индивидуальной настройке слуховых аппаратов у школьников с уже установленной тугоухостью, включающего регулярную оценку эффективности и междисциплинарное сопровождение[4]. Цель статьи – предложить такой протокол и обозначить клинические решения, повышающие реальную слышимость и учебные исходы.

#### ЦЕЛЬ ИССЛЕДОВАНИЯ

Разработать и обосновать системный, доказательный протокол подбора и индивидуальной настройки слуховых аппаратов у школьников с сенсоневральной тугоухостью, направленный на повышение эффективности слухопротезирования, оптимизацию восприятия речи и улучшение образовательных результатов в условиях специализированных школ-интернатов.

#### МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Обследовано 115 детей (8-13 лет) с двусторонней сенсоневральной тугоухостью глубокой степени (пороговые показатели которых варьируют в пределах 70-90 дБ). Все дети обучаются в специализированных школах-интернатах для слабослышащих. Гендерная характеристика группы: мальчиков 58 (50,4%), девочек 57 (49,6%) – распределение полов практически равномерное. У большинства детей отмечалась отно-

сительно одинаковая потеря слуха на оба уха (симметричная тугоухость).

Подбор слуховых аппаратов осуществлялся на основании результатов аудиологического обследования каждого ребенка. Слухопротезирование детей проводилось по следующим критериям:

- Выбор типа и модели слухового аппарата - учитывался возраст ребенка и степень тугоухости; предпочтение отдавалось современным цифровым заушным аппаратам достаточной мощности.
- Первичное протезирование (программирование устройства) – слуховой аппарат настраивался по аудиограмме ребенка с использованием прескриптивных формул и многоканальной компрессии.
- Верификация и корректировка настройки - проверялась слышимость и разборчивость речи с аппаратом, при необходимости параметры уточнялись.
- Применение специальных алгоритмов обработки сигнала - по показаниям активировались функции частотной компрессии, подавления обратной связи, шумоподавления, направленных микрофонов.
- Обучение и рекомендации по использованию - ребенку и его родителям разъяснялись правила пользования приборами, установлен режим ношения и контроля работы аппаратов.

**Выбор слухового аппарата.** Для детей выбран заушный тип слухового аппарата (BTE – Behind-The-Ear) как наиболее безопасный и удобный в детском возрасте. Заушные аппараты прочны и позволяют регулярно менять ушной вкладыш по мере роста ушной раковины, не заменяя сам прибор. Индивидуальные ушные вкладыши изготавливались по слепку уха каждого ребенка; в раннем возрасте вкладыши приходится заменять часто (около 3-4 раз в год) из-за быстрого роста уха. При двусторонней потере слуха всем детям проведено бинауральное протезирование – подбор парных аппаратов на оба уха для объемного восприятия звука и лучшей разборчивости речи в шуме.

*Максимальная выходная мощность (МРО)* подбиралась в соответствии со степенью тугоухости: для порогов 70–90 дБ использованы аппараты глубокой и высокой мощности с запасом усиления. Важно, что МРО каждого устройства программировался на уровень ниже порога дискомфорта, чтобы защитить ребенка от слишком громких звуков. Все подобранные модели – цифровые многоканальные приборы с широкой динамической компрессией (WDRC), охватывающие как можно более широкий диапазон частот (в среднем от 250 Гц до 8000 Гц) для обеспечения

слышимости всех важных звуков речи.

*Первичное протезирование и настройка.* После выбора устройства проводилось первичное программирование слухового аппарата на основе аудиограммы ребенка. Настройка осуществлялась с помощью компьютерного интерфейса и специализированного программного обеспечения производителя аппарата. В качестве целевых параметров усиления задавались значения по одной из одобренных прескриптивных методик: формула DSL v5 (Designed by DSL, Канада) или NAL-NL2 (National Acoustic Laboratories, Австралия). Эти формулы рассчитывают необходимое усиление по частотам, чтобы речь стала хорошо слышна и разборчива, не вызывая при этом дискомфорта. В программном обеспечении аппарата устанавливались индивидуальные настройки: усиление слабых, средних и громких звуков в каждом частотном канале, пороги срабатывания компрессии, а также максимальный выходной уровень (МРО).

*Верификация и корректировка настройки.* После программирования обязательно проводилась проверка эффективности настройки. Объективно оценивали пороги слышимости и разборчивость речи с включенными аппаратами.

*Специальные алгоритмы обработки сигнала.* Современные слуховые аппараты обладают рядом цифровых функций, значительно повышающих эффективность их использования у детей. В процессе настройки рассматривалась целесообразность активации следующих алгоритмов:

*Частотное понижение (частотная компрессия).* Этот алгоритм смещает высокочастотные компоненты звука в более низкий диапазон, где слух у ребенка сохранен лучше. Частотное понижение применяется при резко выраженной высокочастотной потере (когда обычное усиление не дает слышимости отдельных фонем, например свистящих звуков /с/, /ш/). Аппарат обнаруживает высокочастотный сигнал (выше заданного порога, например >4–5 кГц) и трансформирует его спектр вниз – либо копируя спектральные фрагменты в низкую область, либо сжимая спектр (компрессируя) до более низких частот. В результате высокочастотные звуки становятся слышны ребенку, хотя и с искаженным тембром, что тем не менее улучшает различение речевых нюансов.

*Шумоподавление.* Данная функция автоматически уменьшает усиление на тех частотах, где аппарат обнаруживает преимущественно фоновый шум, с целью повысить комфорт звучания и разборчивость речи. Устройство анализирует входной сигнал и различает речь и постоянные неречевые шумы. В шумной обстановке (классная комната, улица) при включенном шумоподавлении усиление нежелательных шумов (гул, шорох) частично снижается, тогда как речь (например, голос учителя) остается усиленной. В некоторых источниках отмечалось, что детям не следует включать шумоподавление (чтобы они

слышали максимум звуков), но новые исследования показывают: умеренное подавление шума не снижает разборчивость речи, а делает общее звучание комфортнее. В данной работе большинству детей было активировано адаптивное шумоподавление глубокой степени, достаточное для сглаживания фонового шума без пропуска важных речевых сигналов.

*Адаптивная направленность микрофонов.* В обычном режиме оба микрофона слухового аппарата всенаправленные (улавливают звук 360°). Функция направленных микрофонов позволяет аппарату фокусироваться на звуке, исходящем спереди, и подавлять шумы с других направлений. При активации адаптивной направленности электроника сравнивает сигналы двух микрофонов и вычитает помехи (например, шум классной комнаты позади ребенка), усиливая преимущественно речь спереди. Это повышает разборчивость речи в шумной обстановке, особенно актуально для школьников на уроках (улучшается отношение сигнал/шум для голоса учителя). Опасения, что направленные микрофоны мешают ребенку слышать важные звуки сзади, на практике не оправдались: современные системы достаточно «умные» и приносят больше пользы, чем неудобств. В нашей группе адаптивные направленные микрофоны были включены у большинства детей школьного возраста в учебное время, тогда как для самых младших (8–9 лет) в бытовых ситуациях сохранялся всенаправленный режим. В итоге дети лучше слышали преподавателя и одноклассников перед собой, не отвлекаясь на шум позади.

После окончательной настройки детям, родителям и педагогам давались подробные рекомендации по эксплуатации слуховых аппаратов. Оговаривался режим ношения: аппарат должен использоваться ребенком постоянно в период бодрствования (не менее 8–10 часов в день), особенно во время учебных занятий. Детям показывали, как надевать и снимать аппарат, основы ухода за ним (чистка от ушной серы, хранение). Очень важна мотивация ребенка: чтобы предотвратить нежелание пользоваться аппаратом, проводилась разъяснительная работа. С сурдопедагогами и психологами обсуждали тактику преодоления возможного сопротивления – например, постепенное приучение маленького ребенка к аппаратам через игровую форму и похвалу за каждый час в аппарате.

#### РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Исследуемая группа включала практически равное число мальчиков и девочек в возрасте от 8 до 13 лет; при этом набор был сформирован ровно, без заметного преобладания какой-либо возрастной подгруппы. На каждую отдельную возрастную категорию (8, 9, 10, 11, 12 и 13 лет) приходилось примерно по 15–20% выборки (по 18–20 детей каждого возраста). Таким образом, исходная группа была однородна по полу и возрасту, что исключает влияние этих факторов на результаты протезирования.

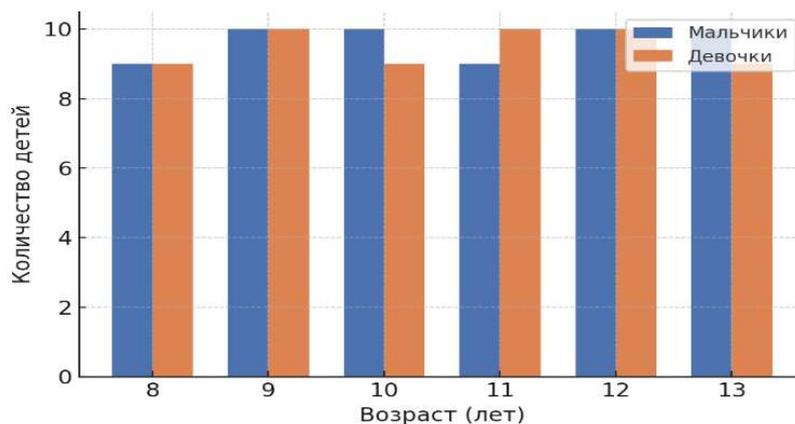


Рис. 1. Распределение обследованных детей (n=115) по возрастным группам и полу.

У всех 115 детей диагностирована сенсоневральная тугоухость глубокой степени, однако конфигурация (тип аудиограммы) варьировала.

В таб. 1 представлены данные о распределении типов слуховой потери в выборке. Большинство детей (около половины группы) имели полую нисходящую аудиограмму – плавное снижение слуха на высоких частотах при относительно равномерной чувствительности в низкочастотной области. Почти треть (26%) имели практически равномерную (гори-

зонтальную) потерю слуха на всём диапазоне частот. У значимого числа детей – крутонисходящая конфигурация: слух относительно лучше на низких частотах, но резко ухудшается на высоких (у таких пациентов пороги на высоких частотах близки к 90 дБ и хуже). Небольшая часть детей имела нетипичные варианты аудиограмм (например, восходящая конфигурация с большей потерей на низких частотах, либо изрезанный профиль); их суммарная доля составила около 7%.

Таблица 1

Распределение типов аудиограмм (конфигурации потери слуха) у детей

Конфигурация аудиограммы	Число детей (n=115)	% от выборки
Крутонисходящая (резкое падение на ВЧ)	17	14,8%
Полого нисходящая (умеренное падение)	60	52,2%
Равномерная (горизонтальная)	30	26,1%
Другая / атипичная	8	7,0%
Всего	115	100%

Функция частотного понижения (компрессии) – одна из ключевых технологий, применяемых при резко выраженной высокочастотной потере слуха, когда стандартное усиление не обеспечивает разборчи-

вость отдельных фонем. В рамках данного исследования функция частотной компрессии была активирована у 17 детей (14,8%) с крутонисходящим типом аудиограммы.

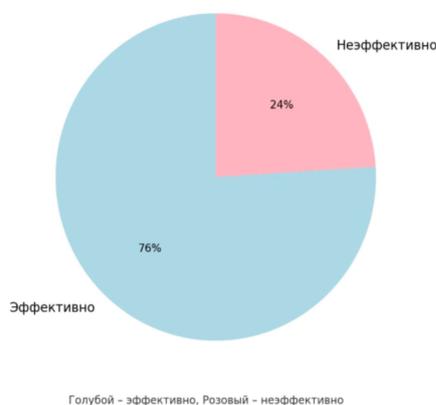


Рис. 2. Результат использования алгоритма частотной компрессии (доля детей с улучшением разборчивости речи).

После включения алгоритма все дети прошли проверку разборчивости речи с аппаратом и без него.

У 13 из 17 детей ( $\approx 76\%$ ), отмечено улучшение слышимости высокочастотных компонентов речи и, как

следствие, повышение разборчивости слов. У этих пациентов частотная компрессия оставлена постоянно активной. В 4 случаях (24%) значимого улучшения не наблюдалось или дети жаловались на искажение звуков (субъективно «неестественный тембр»). У этих 4 детей алгоритм пришлось отключить, вернувшись к обычному усилению высоких частот. Таким образом, частотная компрессия оказалась эффективной примерно для трех из четырех детей, имеющих

тяжелые высокочастотные потери слуха, однако у оставшейся четверти данная технология не принесла пользы.

В процессе индивидуальной настройки детям, участвовавшим в исследовании, активировались различные алгоритмы обработки сигнала. Применение тех или иных функций зависело от конфигурации аудиограммы, наличия специфических жалоб, условий школьной среды и когнитивной зрелости ребёнка.

Таблица 2

Распределение по наиболее часто включаемым функциям

Функция слухового аппарата	Кол-во детей (n=115)	% от выборки
Частотная компрессия	17	14,8%
Подавление обратной связи	115	100%
Адаптивное шумоподавление	89	77,4%
Направленные микрофоны	70	60,9%
Адаптивная регулировка громкости	28	24,3%

Подавление обратной связи – функция, активированная у всех 115 детей. Она позволила устранить свист, возникающий при неплотной посадке вкладыша, избыточном усилении или неподходящих акустических условиях. Использование этой технологии значительно повысило комфорт прослушивания и позволило использовать более высокие уровни усиления без риска появления свиста.

Адаптивное шумоподавление использовалось у 89 детей (77,4%). Данная функция особенно эффективна в условиях школьного класса, где присутствует постоянный фоновый шум. Алгоритм анализирует звуковое окружение, отличает речь от шума и избирательно ослабляет фоновые компоненты, улучшая разборчивость речи. Умеренное шумоподавление не снижает слышимость речи, но делает звучание более комфортным, снижает утомляемость и улучшает концентрацию внимания.

Направленные микрофоны активировались у 70 детей (60,9%) – преимущественно у школьников старшего возраста (10–13 лет), которые большую часть времени проводят в организованной учебной обстановке. Адаптивные микрофоны позволяют усилить сигнал, исходящий спереди (например, голос учителя), и подавлять шумы сзади и сбоку. Это особенно важно при фронтальном расположении преподавателя и помогает детям лучше понимать речь в классе.

Адаптивная регулировка громкости использовалась у 28 детей (24,3%). Она была активна преимущественно в первые недели использования аппаратов, когда детям требовалась постепенная адаптация к новому звуковому опыту. При активированной функции аппарат автоматически увеличивал усиление по мере привыкания ребёнка, что снижало риск отторжения и жалоб на резкие звуки.

Таким образом, подход к включению дополнительных функций был строго индивидуализирован. Некоторые алгоритмы (обратная связь, шумоподавление) стали базовыми, тогда как другие (частотная

компрессия) использовались точно, по аудиологическим и социальным показаниям. Это подтверждает необходимость гибкой тактики при настройке слуховых аппаратов у детей.

Анализ показал, что повторные обращения потребовались 37 детям (32,2% от всей группы). Чаще всего причины были связаны с техническими особенностями посадки вкладыша, субъективным восприятием звука или непереносимостью определённых параметров усиления.

Типичные жалобы включали:

- Постоянный свист (обратная связь): 20 детей
- Искажение высоких звуков при частотной компрессии: 4 ребёнка
- Слишком громкие / резкие звуки: 7 детей
- Отказ носить аппарат без конкретной жалобы: 6 детей

Таким образом, индивидуализированный подбор и настройка цифровых слуховых аппаратов у детей с сенсоневральной тугоухостью глубокой степени обеспечивают клинически значимое улучшение восприятия и разборчивости речи как в тишине, так и в шуме. Достижению целевых параметров способствует применение многоканальной компрессии и современных алгоритмов обработки сигнала – частотного понижения, шумоподавления, подавления акустической обратной связи и адаптивной направленности микрофонов – с точной привязкой к аудиограмме каждого ребёнка. При крутонисходящих аудиограммах включение частотного понижения в большинстве случаев расширяет доступность высокочастотных фонем, однако требует индивидуальной калибровки и поведенческой верификации из-за риска субъективных искажений звучания. Проблемы свиста, как правило, эффективно устраняются оптимизацией ушного вкладыша и повторной настройкой параметров усиления и МРО, что подчёркивает необходимость регулярного технического контроля. Наилучшие результаты достигаются при междисциплинарном сопровождении (сурдолог, педагог/сурдопедагог, ро-

дители), которое ускоряет адаптацию и повышает приверженность постоянному ношению аппаратов. Для поддержания и наращивания реабилитационного

эффекта требуется регулярный мониторинг и коррекция настроек не реже одного раза в шесть месяцев, а в периоды быстрого роста ребёнка чаще.

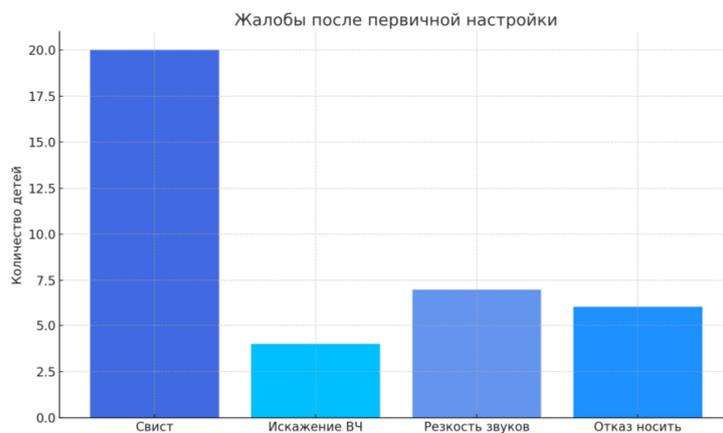


Рис. 3. Распределение жалоб.

## ВЫВОДЫ

1. Индивидуальная настройка цифровых слуховых аппаратов у детей с глубокой сенсоневральной тугоухостью значительно улучшает восприятие речи как в тихой, так и в шумной обстановке, благодаря применению современных технологий обработки звука и точной калибровке под каждого ребёнка.

2. Эффективность слуховых аппаратов достигается при комплексном междисциплинарном подходе и регулярном техническом обслуживании, что обеспечивает адаптацию ребёнка и поддержание реабилитационного эффекта на протяжении всего периода использования.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Всемирная организация здравоохранения – Всемирный доклад по проблемам слуха (World Report on Hearing, 2021). – Глобальный отчет ВОЗ, содержащий статистику распространенности тугоухости и экономические аспекты слуховой помощи.
2. Таварткиладзе Г.А. (2021) – “Нарушения слуха и глухота – глобальная проблема современного здравоохранения”, Альманах №45. – Обзор состояния проблемы потери слуха в мире и в России, цитирует данные ВОЗ и глобального бремени болезней.
3. World Health Organization – Deafness and hearing loss: Key facts (Fact Sheet, 2025). – Официальная справка ВОЗ с ключевыми фактами о глухоте и потере слуха (обновлено в 2025 г.), содержит

оценку глобальных затрат (~1 трлн \$) и эффективность вмешательств.

4. National Center for Hearing Assessment and Management (NCHAM) – Early Hearing Detection Benefits (данные цит. по Florida Dept. of Health) – Статистика о влиянии раннего слухопротезирования: экономия >\$400 тыс. на одного ребенка за счет снижения потребности в спецобразовании.
5. RosOpeka (2020) – “Экономическая эффективность инклюзивного образования и ресурсы для ее внедрения”. – Аналитическая статья об экономической целесообразности инклюзивного обучения детей с особыми потребностями; приведены доводы в пользу сокращения параллельных систем спецобразования.
6. Shehorn J., Marrone N., Muller T. (2018) – “Преимущества слуховых аппаратов с нелинейной частотной компрессией”, The Hearing Journal, 71(7):10-11. – Исследование, демонстрирующее улучшение разборчивости речи (особенно согласных звуков) при использовании технологии нелинейной частотной компрессии у пациентов с высокочастотной тугоухостью.
7. Ellis R. & Munro K. (2015) – Studies on speech recognition in noise with NLFC. – Работы, показавшие статистически значимое улучшение восприятия речи в шуме у пользователей слуховых аппаратов с функцией частотного понижения, особенно при тяжелой высокочастотной потере слуха.