

УДК 612.821

## ВЛИЯНИЕ МАСКЕРА НА ЛОКАЛИЗАЦИЮ ДВИЖУЩЕГОСЯ СИГНАЛА В ГОРИЗОНТАЛЬНОЙ ПЛОСКОСТИ

© 2023 г. М. Ю. Агаева<sup>1</sup>, \*, Н. И. Никитин<sup>1</sup>

<sup>1</sup>ФГБУН Институт физиологии имени И.П. Павлова РАН, Санкт-Петербург, Россия

\*E-mail: agamu\_1@mail.ru

Поступила в редакцию 28.12.2022 г.

После доработки 15.03.2023 г.

Принята к публикации 10.05.2023 г.

Исследовано влияние маскера на локализацию движущегося сигнала в условиях маскировки. Эксперименты проводились в анэхоидной камере. Звуковые сигналы предъявлялись от громкоговорителей, расположенных на полукружной дуге в горизонтальной плоскости. В качестве сигнала и маскера использовались две независимые (некоррелированные) шумовые посылки с частотной полосой от 5 до 18 кГц и длительностью 1 с. Маскер подавался от неподвижного громкоговорителя, находящегося справа от испытуемого под углом 15 град. Сигнал перемещался по дуге слева от испытуемого по двум траекториям: ближней к маскеру (–18...–52 град) и дальней (–52...–86 град). Движущийся сигнал включался с задержкой, величина которой составляла 0–40 и 1200 мс. Испытуемые оценивали начальное и конечное положение движущегося сигнала. Данные локализации движущегося сигнала в условиях маскировки сравнивались с пространственными оценками того же сигнала при его изолированном предъявлении (без маскера). Показано, что вероятность локализации движущегося сигнала проявляет слабую зависимость от величины задержки между маскером и сигналом. Предъявление маскера вызывает смещение воспринимаемого положения начала и конца траектории движения сигнала. Величина и знак смещения зависят от направления движения сигнала. Начальные точки воспринимаемого движения сигнала смещаются по направлению движения сигнала, конечные точки — в обратном направлении.

**Ключевые слова:** маскировка, локализация, движущийся источник звука.

**DOI:** 10.31857/S0131164623700327, **EDN:** WWGGXS

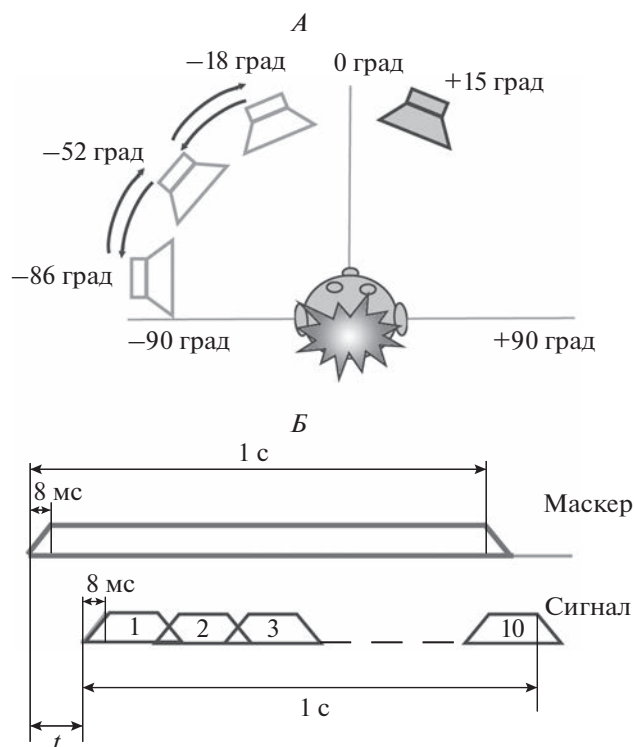
В повседневной жизни слушатели локализуют источник звука на фоне посторонних мешающих звуков. Влияние этих помех зависит от пространственных, временных и спектральных характеристик звуковых сигналов. В обычном помещении мешающими (маскирующими) звуками являются собственные отражения сигнала (эхо) от поверхностей замкнутого пространства. Невзирая на посторонние звуки, слуховая система проявляет способность локализовать полезный сигнал на фоне помехи.

Маскировкой называется явление, заключающееся в ухудшении восприятия одного стимула (сигнала) в присутствии другого стимула (маскера) [1–3]. Частным случаем маскировки является эффект предшествования, выражающийся в способности слушателя локализовать источник сигнала на фоне многократных отражений этого сигнала (реверберации) в помещении. В его основе лежит выделение дирекционной информации от первых звуковых волн, идущих прямо от источника звука (прямой звук) при одновременном подавлении дирекционной информации об отра-

женных звуковых волнах (эхо-сигналах), которые приходят с некоторой задержкой [4, 5]. Отличительной особенностью эффекта предшествования является наличие взаимной корреляции прямого и отраженного сигналов, степень которой может широко варьировать в реальных условиях [6].

Изучению маскировки для движущегося источника звука посвящено небольшое число работ. В работах [7, 8] исследовали пороги обнаружения сигнала в условиях маскировки. В исследовании Я.А. Альтмана и др. [7] было показано, что маскировка движущегося сигнала заметно слабее маскировки неподвижного. В то же время [8] не было найдено различий в обнаружении движущегося и неподвижного сигнала в условиях маскировки.

Два других исследования были посвящены изучению локализации движущегося сигнала в условиях маскировки. Работа Е.А. Петропавловской и Я.А. Альтмана [9] проведена в условиях последовательной маскировки при предъявлении неподвижного маскера (шума) и последующего предъявления движущейся серии щелчков через



**Рис. 1.** Схематическое представление звуковой стимуляции.

*А* — расположение источников звука относительно испытуемого для движущегося сигнала и неподвижного маскира. Белые громкоговорители соответствуют начальным и конечным точкам движения сигнала. Стрелки показывают направление движения. Серый громкоговоритель справа — положение неподвижного источника маскира. *Б* — схема маскира и сигнала. Цифры на схеме сигнала шумовые посылки, создающие движение сигнала.

головные телефоны (дихотическая стимуляция). Показано, что эффект маскировки проявляется в подавлении начального участка движения сигнала, а также в смещении субъективной траектории движения сигнала. Степень смещения субъективной траектории возрастала с увеличением интенсивности маскира.

В другой работе [10] рассматривалась локализация движущегося сигнала в условиях эффекта предшествования в свободном звуковом поле. Для создания эффекта предшествования в качестве сигнала и маскира использовались одинаковые (полностью коррелированные) шумовые посылки. Движущийся сигнал предъявлялся с задержкой относительно начала действия неподвижного маскира на величину 0–40 мс. При коротких задержках до 3 мс испытуемые не могли локализовать движущийся сигнал при отчетливой локализации маскира. При задержках больше 3 мс наблюдалось субъективное уменьшение траектории движения сигнала вне зависимости от направле-

ния движения и расположения траектории сигнала. Уменьшение траектории возникало за счет смещения начальных точек по направлению движения, а конечных против направления движения.

В целом взаимодействие полезного сигнала и маскира в условиях локализации движущегося источника звука остается малоизученным. Целью настоящей работы было изучение эффектов маскировки движущегося сигнала в условиях, когда сигнал и маскир совпадают по амплитудно-частотной характеристике (одинаковы по звучанию), но различаются по временной форме. Временные различия задавались путем использования в качестве сигнала и маскира некоррелированных звуковых посылок. Оценивали зависимость характеристик локализации от пространственного разнесения сигнала и маскира, временной задержки между ними и направления движения сигнала.

## МЕТОДИКА

Эксперименты проводили на 10 испытуемых (9 женщин и 1 мужчина) с нормальным слухом в возрасте от 20 до 42 лет. Перед экспериментом испытуемые проходили стандартную процедуру тональной аудиометрии. Различия в порогах слышимости, измеренные у каждого испытуемого на двух ушах, не превышали 5 дБ.

Эксперименты проводили в анэхоидной камере размером  $3 \times 3 \times 4.5$  м. В камере находилась полукружная поворотная дуга радиусом 1 м, на которой располагались 49 громкоговорителей (*Visaton SC 5.9*, Германия) с близкими частотными характеристиками. Различия амплитудно-частотных характеристик громкоговорителей не превышали  $\pm 4$  дБ в полосе 0.2–18 кГц. Угловое расстояние между соседними громкоговорителями составляло 3.75 градусов. Дугу устанавливали в горизонтальной плоскости.

Испытуемого располагали в кресле таким образом, чтобы плоскость дуги совпадала с междушной линией испытуемого (0 град по углу элевации). Центральный громкоговоритель находился по средней линии головы (0 град по азимуту), а два крайних громкоговорителя находились прямо напротив правого (+90 град) и левого (–90 град) ушей слушателя (рис. 1, *А*). Голову испытуемого фиксировали с помощью специального головного держателя (*Philadelphia*, Тайвань).

**Стимулы.** Звуковым сигналом служил широкополосный шум с полосой 5–18 кГц, синтезированный цифровым способом с частотой дискретизации 44.1 кГц. Формировали две независимые шумовые посылки (коэффициент корреляции 0.0003). Посылки подавали на два отдельных канала, один которых использовали для предъявления неподвижного маскира, другой — для фор-

мирования движущегося сигнала. Длительность обоих сигналов составляла 1 с.

Неподвижный маскер предъявлялся от источника звука, расположенного под углом 15 град справа относительно средней линии головы испытуемого. Движущийся сигнал перемещался по дуге длиной 34 град. Сигнал предъявлялся с левой стороны и перемещался в двух направлениях: слева—направо (приближался к маскеру) и справа—налево (удалялся от маскера) по двум траекториям. Ближняя к маскеру траектория располагалась в пределах от –18 до –52 град, дальняя — от –52 до –86 град (рис. 1, А). В работе были проанализированы данные локализации для 4 условий, которые включали в себя две траектории движения сигнала и два направления его движения.

Движущийся сигнал включали с задержкой относительно включения маскера (рис. 1, Б). Величина задержки составляла: 0, 1, 2, 3, 5, 8, 10, 12, 18, 25, 40 и 1200 мс.

Движение сигнала создавали путем последовательного переключения 10 громкоговорителей. На каждый из громкоговорителей подавали сигнал длительностью 100 мс с фронтами нарастания—спада 8 мс. Звук плавно переходил с одного громкоговорителя на другой без слышимых разрывов за счет одновременного затухания сигнала на предыдущем громкоговорителе и его нарастания на последующем.

Интенсивность маскера составляла 44 дБ УЗД (уровня звукового давления), движущегося сигнала — 35 дБ УЗД. Акустические измерения проводили с помощью аппаратуры Брюэль и Кьер (Дания) в точке расположения центра головы испытуемого.

Для количественной оценки эффектов маскировки проводили две контрольные серии экспериментов. В одной из них испытуемые определяли положение начальной и конечной точек траектории движения сигнала при его изолированном предъявлении (без маскера). Во втором эксперименте определяли локализацию неподвижных источников звука, расположенных под углами, соответствующими положениям начальных и конечных точек движущегося сигналов (–86, –52, –18 град) и положению маскера (+15 град).

Дополнительные эксперименты проводили на тех же испытуемых, которые принимали участие в экспериментах с маскировкой. Данные контрольных экспериментов служили в качестве исходных для сравнительного анализа эффектов взаимодействия сигнала и маскера.

*Процедура эксперимента.* Каждый стимул, в основных сериях состоящий из маскера и сигнала с определенной задержкой предъявляли по 2 раза (1 проба), после чего регистрировали ответ испытуемого. Ответы регистрировали при помощи графического планшета *Genius G-pen 450* (Тай-

вань), на рабочей поверхности которого была схематически изображена дуга. После прослушивания звуковых стимулов испытуемый должен был спроецировать на схему дуги воспринимаемое положение начальной и конечной точки траектории движения сигнала и затем отметить их на ней. Угловые координаты выбранных точек определяли с помощью специально разработанной компьютерной программы. В основных экспериментальных сериях испытуемые могли слышать либо сигнал и маскер, либо только маскер. Испытуемого просили отмечать положение второго (задержанного) сигнала, если он его слышит. В случае если испытуемый слышал только маскер, он должен был указать положение маскера.

В начале каждой серии проводили тренировку, во время которой испытуемому предъявляли стимулы с более широким набором задержек: 1, 2, 3, 5, 8, 12, 18, 25, 40, 74, 150, 300, 600 и 1200 мс. Тренировку всегда начинали с максимальной задержки 1200 мс. Все испытуемые при такой задержке слышали два последовательно звучащих стимула: первый — справа от средней линии головы, второй — слева. Затем задержку последовательно уменьшали до 0 мс. После тренировки переходили к основной части эксперимента, в которой временные задержки составляли 0, 1, 2, 3, 5, 8, 12, 18, 25, 40 и 1200 мс. Каждую из использованных задержек в пределах одной серии повторяли 12 раз. Таким образом, для каждой задержки, траектории и направления для каждого испытуемого было проведено 24 пробы. Стимулы с разными задержками чередовали в псевдослучайном порядке. Положение сигнала в пределах одной серии не меняли.

В контрольных сериях изолированный сигнал повторяли 20 раз в псевдослучайном порядке для каждого расположения и направления движения. Маскер также повторяли 20 раз в псевдослучайном порядке для каждого расположения.

Эксперимент состоял из 8 основных серий, по две на каждое расположение и направление движения тестового сигнала, и двух контрольных. Порядок серий также был псевдослучайным.

*Анализ данных.* По аналогии со статьей [10] для количественного анализа пространственных эффектов взаимодействия сигнала и маскера была рассчитана разность локализационных оценок испытуемых, полученных при совместном предъявлении сигнала и маскера и при изолированном предъявлении. С целью унификации размерности были рассчитаны относительные единицы смещения траектории за счет начальных и конечных точек, поскольку относительный сдвиг не зависит от длины субъективной траектории, которая могла варьировать у разных испытуемых:

$$X_{1n} - X_{2n} = \Delta X_n, \text{ для начальных точек, } (1)$$

$$X_{1k} - X_{2k} = \Delta X_k, \text{ для конечных точек, } (2)$$

где  $X_1$  — локализация испытуемыми движущегося сигнала при его изолированном предъявлении для начальных (н) и конечных (к) точек в градусах.  $X_2$  — локализация сигнала в присутствии маскера.  $\Delta X$  — сдвиг начальных и конечных точек воспринимаемого движения сигнала под действием маскера. Разности вычисляли для каждой траектории и двух направлений движения для каждого испытуемого в отдельности:

$$\Delta X / (X_{1n} - X_{1k}) = X_0, (3)$$

где величина  $X_0$ , рассчитанная для начальных и конечных точек, показывает выраженность субъективного сдвига относительно длины субъективной траектории.

Статистическую оценку данных проводили посредством дисперсионного четырех факторного анализа с факторами: *Направление движения* (к маскеру, от маскера), *Локализация* (начальные, конечные точки), *Траектория* (ближайшая к маскеру, дальняя от маскера), *Задержка* (0, 1, 2, 3, 5, 8, 12, 18, 25, 40 и 1200 мс).

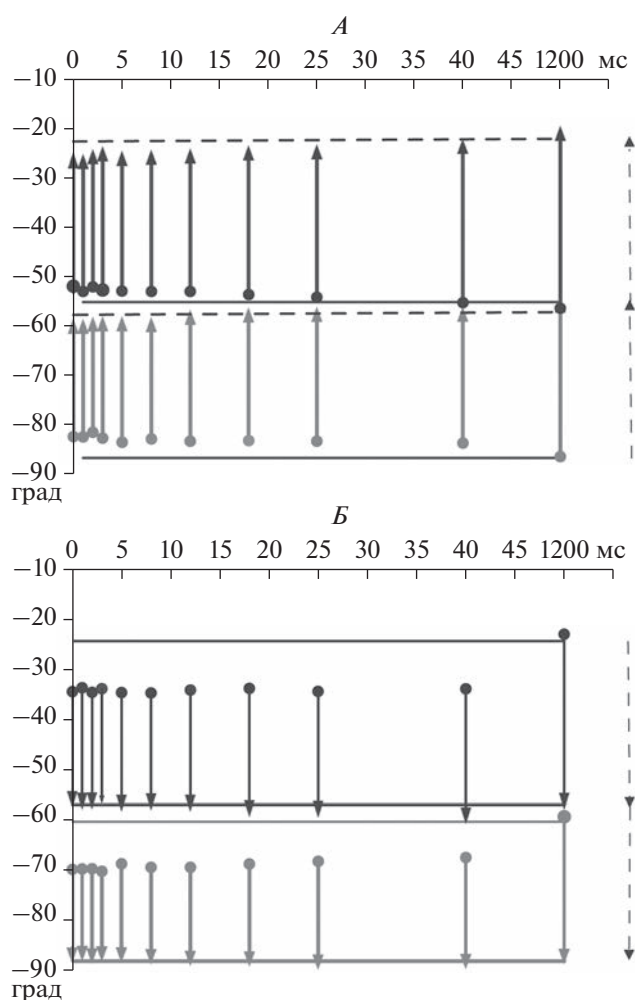
Статистическую оценку данных проводили посредством дисперсионного трех факторного анализа для эхо-сигналов и двухфакторного анализа для прямого сигнала с уровнем значимости  $p < 0.05$ .

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В условиях маскировки ответы испытуемых группировались в основном в области расположения сигнала и редко в области расположения маскера. Шесть из десяти испытуемых отчетливо локализовали начало и конец движущегося сигнала. Четверо других испытуемых в отдельных пробах на коротких задержках (до 18 мс) воспринимали сигнал и маскер как единый звуковой образ, локализующийся в области расположения маскера.

Оценка вероятности локализации сигнала показала, что даже при самых коротких задержках между сигналом и маскером локализация сигнала остается достаточно высокой (выше 80%). С увеличением величины задержки количество проб, в которых слушатели могли локализовать движущийся сигнал, постепенно возрастало. При задержках более 25 мс все испытуемые демонстрировали 100%-ную локализацию сигнала.

На рис. 2 представлены средне-групповые данные по локализации начальных и конечных точек траектории движения сигнала для двух направлений движения сигнала (обозначены стрелками) и двух траекторий — ближней и дальней. Для сравнения на рис. 2 показана локализация начальных и конечных точек движущегося сигнала при его изолированном предъявлении (ли-



**Рис. 2.** Воспринимаемая траектория движения сигнала при маскировке.

*А* — движение сигнала к маскеру. *Б* — движение сигнала от маскера. Черные линии — движение сигнала по ближней к маскеру траектории (от  $-52$  до  $-18$  град), серые линии — движение по дальней траектории (от  $-86$  до  $-52$  град). Горизонтальные непрерывные линии — воспринимаемое положение начала траектории движения для изолированного предъявления сигнала, пунктирные линии — положение конца траектории движения изолированного сигнала. Вертикальные пунктирные линии — физическая траектория движения сигнала. По оси ординат — локализация сигнала в град. По оси абсцисс — величина задержки в мс.

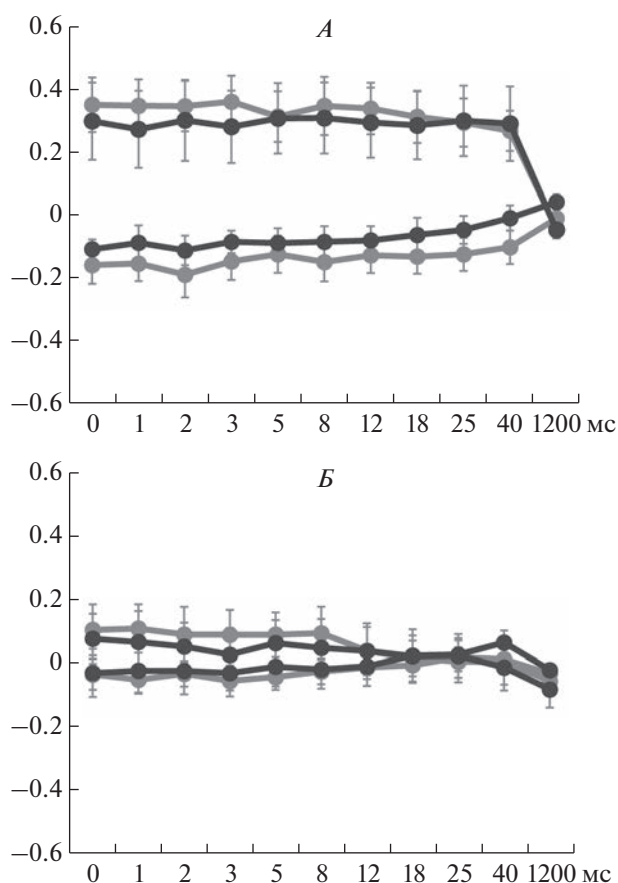
нии). Как видно из рис. 2, *Б* при движении сигнала в сторону удаления от маскера наблюдается сужение траектории за счет сильного смещения начальных точек по направлению движения. Сдвиг начальных точек в среднем не превышал 10 град. Сдвиг конечных точек был незначителен и наблюдался при коротких задержках до 8 мс. На задержках более 8 мс конечные точки локализовались вблизи тех же значений, что и при изолированном действии движущегося сигнала. При

движении сигнала в сторону маскера наблюдается небольшое сужение траектории за счет слабого смещения начальных точек по направлению движения сигнала и незначительного смещения конечных точек против хода движения.

Для количественного анализа и унификации размерности были рассчитаны относительные смещения локализации начальных и конечных точек движущегося сигнала по сравнению с длиной субъективной траектории. На рис. 3, *А*, *Б* представлены средне-групповые данные, показывающие сдвиг воспринимаемого положения начальных и конечных точек в относительных единицах. Как видно из рис. 3, *А* при удалении сигнала от маскера смещение начальных точек составляла 30–40% длины траектории движения сигнала. С ростом задержки до 40 мс величина сдвига слабо уменьшалась. При задержке 1200 мс, когда сигнал включался через 200 мс после выключения маскера, величина смещения не превышала 4%. При движении сигнала в сторону маскера смещение начальных точек составляла 10–20% от величины траектории. Также как и при удалении сигнала от маскера, величина смещения слабо изменялась вплоть до задержки 25 мс, а затем плавно уменьшалась. При максимальной задержке (1200 мс) смещение локализации начала движения не превышало 4%.

На рис. 3, *Б* показано смещение конечных точек. Для конечных точек величина смещения при движении сигнала к маскеру немного больше и составляет 10% от траектории движения, а при движении от маскера не превышает 5%. До задержки 12 мс кривые идут практически параллельно, а затем сходятся и при задержке 1200 мс вне зависимости от направления движения все кривые показывают смещение в сторону маскера.

Сравнение величины смещений оценивалось дисперсионным четырехфакторным анализом. Анализ показал значимое влияние фактора *Направление движения* ( $F(1, 814) = 153.47$   $p < 0.01$ ) и фактора *Локализация* ( $F(1, 814) = 26.9$   $p = 0.01$ ), а также значимое взаимодействие этих факторов ( $F(1, 814) = 256.5$   $p < 0.01$ ). Величина смещения начальных точек была больше при движении сигнала от маскера, а конечных точек при движении в противоположную сторону. Направление сдвига локализации начальных точек совпадало с направлением движения. Для конечных точек наблюдалась обратная закономерность: они смещались против направления движения. Выявлено значимое взаимодействие факторов *Локализация* и *Направление движения* с фактором *Траектория* ( $F(1, 814) = 4.462$ ,  $p < 0.05$ ). Попарные сравнения показывают, что величина сдвига начальных точек достоверно отличалась от сдвига конечных точек для каждого направления и каждой траектории движения ( $p < 0.05$ ).



**Рис. 3.** Относительные сдвиги локализации начальной и конечной точек движения сигнала при маскировке.

*А* – начальные точки, *Б* – конечные точки. Непрерывные линии – удаление сигнала от маскера, пунктирные – приближение к маскеру. Черные линии – ближняя траектория движения сигнала, серые – дальняя. По оси ординат – относительный сдвиг в долях длины траектории движения сигнала. Отрицательные значения – сдвиг начальных и конечных точек движения сигнала в сторону маскера, положительные значения – сдвиг в обратном направлении (от маскера). Вертикальные линии – стандартная ошибка. По оси абсцисс – величина задержки в мс.

Сдвиг как начальных, так и конечных точек для дальней траектории (на рис. 3, *А*, *Б* – серые линии) при движении к маскеру достоверно отличался ( $p < 0.05$ ) от сдвига при движении от маскера. Для ближней траектории движения (рис. 3, *А*, *Б* – черные линии) достоверные отличия в зависимости от направления движения были получены только для начальных точек ( $p < 0.05$ ). При движении от маскера величина сдвигов для дальней и ближней траектории как для начальных, так и для конечных точек движения достоверно не отличалась ( $p > 0.05$ ). Движение от маскера на рис. 3, *А* и *Б* обозначено сплошными линиями. Для конечных точек линии практически совпадают (рис. 3, *Б*), для начальных точек

(рис. 3, А) кривые расположены близко или пересекаются. При движении сигнала в противоположном направлении (к маскеру) различия наблюдались только для начальных точек (рис. 3, А — пунктирные кривые).

Также значимое взаимодействие получено для факторов *Локализация* и *Направление движения* с фактором *Задержка* ( $F(1, 814) = 4.462, p < 0.05$ ). При движении сигнала к маскеру для задержек 25, 40 и 1200 мс достоверных различий не было выявлено между начальными и конечными точками ( $p > 0.05$ ), а при движении от маскера — только для задержки 1200 мс. Для остальных задержек начальные и конечные точки достоверно различались ( $p < 0.05$ ).

Результаты в целом показывают, что уменьшение траектории движения происходило за счет смещения начальных точек по направлению движения вне зависимости от расположения траектории, а конечных точек — против направления движения. Величина смещения начальных точек субъективной траектории движения сигнала достоверно отличалась от смещения конечных для задержек меньше 25 мс ( $p < 0.05$ ).

## ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Как показало исследование, в условиях маскировки разные испытуемые могут проявлять разную способность к локализации движущегося звукового сигнала. Одни способны локализовать сигнал во всем диапазоне задержек между маскером и сигналом. Другие демонстрируют снижение этой способности в области малых задержек. На задержках более 18–25 мс испытуемые не различаются и показывают 100%-ную вероятность локализации сигнала.

В отличие от движущихся сигналов вероятность локализации неподвижных сигналов при маскировке зависит как от пространственных, так и временных характеристик звуковой стимуляции [11].

Неподвижные сигналы плохо локализируются при коротких задержках между маскером и сигналом, и только на задержках более 18 мс вероятность локализации сигнала достигает 100%-ного уровня. При этом наименьшая вероятность локализации источника сигнала наблюдается при ближайшем к маскеру расположении сигнала, а наибольшая — при удаленном расположении источника сигнала.

Сравнение данных цитированной и настоящей работ позволяет заключить, что движение сигнала, сопровождаемое временными изменениями локализационных признаков сигнала, может служить фактором, способствующим демаскировке сигнала. Косвенно об этом свидетельствуют результаты исследования, демонстрирующего зави-

симость эффекта освобождения от маскировки от скорости движения сигнала [7].

Данные настоящей работы с использованием некоррелированных стимулов обнаруживают определенное сходство с результатами нашей предыдущей работы, в которой сигнал и маскер были идентичными (коррелированными) [10]. В обоих исследованиях наблюдался сдвиг начальных точек субъективной траектории по ходу движения, а конечных — в противоположную сторону (рис. 3). При этом сдвиг начальных точек при движении сигнала от маскера был сильнее, чем при движении сигнала к маскеру (рис. 2 и 3, А). Полученные данные подтверждают сделанное ранее предположение, что подобная картина отражает взаимодействие временной и пространственной маскировки [10]. Действие временной маскировки проявляется в начале действия сигналов и не зависит от направления движения и расположения траектории движения относительно маскера. Испытуемые начинают воспринимать начало движения сигнала после того, как реальный сигнал уже сместился. Сходное смещение начальных точек наблюдалось в работе Е.А. Петропавловской и Я.А. Альтмана [9], где было показано явление маскировки начального участка траектории движения сигнала. В исследовании [9] использовалась прямая последовательная маскировка в условиях предъявления звуковых стимулов через головные телефоны. Таким образом маскировка начального участка движения сигнала является общей характеристикой маскировки для разных способов звуковой стимуляции и временной организации стимулов.

Пространственная маскировка действует на протяжении всего сигнала и зависит от расстояния между маскером и сигналом. Чем меньше расстояние между стимулами, тем больше взаимодействие между ними [12, 13]. В нашей работе достоверные различия в величине сдвига были получены только при приближении сигнала к маскеру: больший сдвиг наблюдался для дальней траектории движения (рис. 3, А). Кроме того, сдвиги начальных и конечных точек при движении сигнала к маскеру достоверно отличались по величине от соответствующих сдвигов этих точек при движении сигнала в противоположную сторону. На основе наших данных можно заключить, что действие пространственной маскировки вызывало смещение воспринимаемой траектории движущегося сигнала в сторону противоположную расположению маскера. Если сигнал двигался от маскера то пространственная и временная маскировки действовали однонаправленно, тогда как при приближении сигнала к маскеру их действие становилось разнонаправленным. Смещение воспринимаемой траектории в сторону, противоположную от расположения маскера, показано в работе Е.А. Петропавловской и Я.А. Альтмана [9].

Величина эффекта смещения возрастала с увеличением интенсивности маскера.

При использовании в качестве сигнала и маскера некоррелированных стимулов величина сдвига начальных и конечных точек движущегося сигнала заметно меньше, чем при предъявлении коррелированных стимулов [10]. Так, максимальный сдвиг начальных точек движущегося стимула, наблюдаемый при движении сигнала по дальней траектории, для некоррелированных стимулов составлял 35% (рис. 3, А), тогда для коррелированных стимулов он достигал значений 60% и выше. Для некоррелированных стимулов величина сдвига начальной точки движения сигнала слабо зависела от задержки между маскером и сигналом. Для коррелированных стимулов этот сдвиг обнаруживал выраженную зависимость от задержки [10]. Наличие корреляции между маскером и сигналом вызывает сильное взаимодействие между ними и, как следствие, затрудняет их разделение в слуховой системе. С увеличением задержки между маскером и сигналом степень их взаимной корреляции падает, что способствует ослаблению взаимодействия между ними и усилению их перцептивного разделения. По этой причине задержка между стимулами оказывает выраженное влияние на маскировку в условиях эффекта предшествования, когда маскируемый сигнал коррелирует с маскером. Для некоррелированных стимулов это влияние значительно слабее. С практической точки зрения это означает, что в замкнутом помещении, характеризующимся присутствием коррелированных звуковых отражений (эхо-сигналов), локализация источника звука хуже, чем в открытом пространстве.

При предъявлении некоррелированных стимулов, как и в случае их взаимной корреляции, наблюдается эффект смещения конечных точек движущегося сигнала в сторону, противоположную направлению его движения. Наличие этого эффекта может объясняться с позиций “временного окна”, интегрирующего последовательные во времени события в слуховой системе [10]. Если в окно попадает конечная часть сигнала вместе с конечным участком маскера, то пространственная оценка их положения будет зависеть от весового соотношения сигнала и маскера. С ростом задержки степень временного перекрытия сигнала и маскера уменьшается и вес сигнала возрастает. Как результат, конечные точки воспринимаемой траектории движения сигнала смещаются в сторону физической локализации сигнала. Полученные данные показывают, что как для коррелированных, так и некоррелированных стимулов конечная точка субъективной траектории движения сигнала достигает своего предельного значения, соответствующего физической локализации изолированного сигнала, при задержках около 18 мс.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Эффекты маскировки движущегося сигнала при предъявлении некоррелированных стимулов могут проявляться в снижении вероятности локализации сигнала и в смещении начальных и конечных точек воспринимаемой траектории движения сигнала. Независимо от направления движения сигнала начальные точки субъективной траектории смещаются по направлению движения сигнала, конечные точки — в противоположную сторону. По сравнению с эффектами маскировки, наблюдаемыми в условиях корреляции между маскером и сигналом, для некоррелированных стимулов характерна слабая зависимость сдвига начальной точки воспринимаемого движения сигнала от величины задержки между маскером и сигналом. При маскировке движущегося сигнала вероятность его локализации выше, чем при локализации неподвижного сигнала. Исходя из этого, можно заключить, что движение стимула может служить фактором, способствующим улучшению локализации сигнала на фоне помехи.

**Этические нормы.** Все исследования проведены в соответствии с принципами биомедицинской этики, сформулированными в Хельсинкской декларации 1964 г. и ее последующих обновлениях, и одобрены локальным биоэтическим комитетом Института физиологии им. И.П. Павлова РАН (Санкт-Петербург) (№ 22-03).

**Информированное согласие.** Каждый участник исследования представил добровольное письменное информированное согласие, подписанное им после разъяснения ему потенциальных рисков и преимуществ, а также характера предстоящего исследования.

**Финансирование работы.** Работа выполнена при поддержке Госпрограммы 47 ГП “Научно-технологическое развитие Российской Федерации” (2019–2030), тема 0134-2019-0006.

**Конфликт интересов.** Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией данной статьи.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Блауэрт И. Пространственный слух. М.: Энергия, 1979. С. 150.
2. Wühle T., Merchel S., Altinsoy M.E. Localization masking-reducing the influence of the direct sound on localization in sound projection by the additional generation of one or more leading sounds // JAES. 2021. V. 69. № 9. P. 683.
3. Kludt E., Nogueira W., Lenarz T., Buechner A. A sound coding strategy based on a temporal masking model for cochlear implants // Plos One. 2021. V. 16. № 1. P. e0244433.
4. Brown A.D., Stecker G.C., Tollin D.J. The precedence effect in sound localization // J. Assoc. Res. Otolaryngol. 2015. V. 16. № 1. P. 1.

5. Ege R., van Opstal A.J., Bremen P., van Wanrooij M.M. Testing the precedence effect in the median plane reveals backward spatial masking of sound // *Sci. Rep.* 2018. V. 8. № 1. P. 8670.
6. Litovsky R.Y., Colburn H.S., Yost W.A., Guzman S.J. The precedence effect // *J. Acoust. Soc. Am.* 1999. V. 106. № 4. Pt. 1. P. 1633.
7. Альтман Я.А., Романов В.П., Шахшаев С.А. Особенности бинаурального освобождения от маскировки при движении звукового образа // *Физиология человека.* 1982. Т. 8. № 4. С. 537.
8. Pastore M.T., Yost W.A. Spatial release from masking with a moving target // *Front. Psychol.* 2017. V. 8. P. 2238.
9. Петропавловская Е.А., Альтман Я.А. Изменение траекторий движения звуковых образов при прямой последовательной маскировке // *Физиология человека.* 2002. Т. 28. № 5. С. 48.  
*Petropavlovskaja E.A., Altman J.A.* Change in auditory image movement trajectories under conditions of direct nonsimultaneous masking // *Human Physiology.* 2002. V. 28. № 5. P. 538.
10. Агаева М.Ю., Никитин Н.И. Взаимное влияние сигналов при локализации движущегося источника звука в условиях эффекта предшествования // *Физиология человека.* 2020. Т. 46. № 1. С. 36.  
*Agaeva M.Yu., Nikitin N.I.* Masker-Signal interaction in a localization task with a moving sound source under the influence of precedence effect // *Human Physiology.* 2020. V. 46. № 1. P. 28.
11. Агаева М.Ю., Петропавловская Е.А. Локализация в горизонтальной плоскости коррелированных и некоррелированных звуковых сигналов в условиях маскировки // *Физиология человека.* 2023. Т. 49. № 1. С. 52.  
*Agaeva M.Yu., Petropavlovskaja E.A.* Localization of correlated and uncorrelated audio signals in the horizontal plane under masking conditions // *Human Physiology.* 2023. V. 49. № 1. P. 44.
12. Perrott D.R. Concurrent minimum audible angle: Are-examination of the concept of auditory spatial acuity // *J. Acoust. Soc. Am.* 1984. V. 75. № 4. P. 1201.
13. Ebata V., Sone N., Nimura T. On the perception of direction of echo // *J. Acoust. Soc. Am.* 1968. V. 44. № 2. P. 542.

## The Influence of the Masker on the Localization of the Moving Signal in the Horizontal Plane

M. Yu. Agaeva<sup>a, \*</sup>, N. I. Nikitin<sup>a</sup>

<sup>a</sup>*Pavlov Institute of Physiology RAS, St. Petersburg, Russia*

<sup>\*</sup>*E-mail: agamu\_1@mail.ru*

The effect of the masker on the localization of the moving signal was investigated in the free field conditions. Bandpass noise bursts (5–18 kHz) were used to create a signal and a masker. The signal and the mask were uncorrelated stimuli and were created from two independent noise bursts. The stationary masker was always on the right at an angle of 15 degrees. The moving signals traveled to or from the masker along two paths located at two places (–86°...–52° and –52°...–18°). The signal and the masker of 1 s duration each were presented either simultaneously or with a delay of the signal onset relative to the masker onset. The delay varied from 1 to 40 ms and 1200 ms. The subjects localized the start and end points of the trajectory of the moving sounds. Localization of the start and end points of the signal in masking condition was compared with localization of the moving source alone. Results showed that the masker affected the start and end points of the signal trajectory. The shift depended on the direction of movement. The starting points were always shifted in the direction of motion of the signal. The end points were shifted in the opposite the direction.

*Keywords:* masking, localization, moving sound source.