

УДК 612.85.017

*БОЧАРОВ Михаил Иванович, доктор биологических наук, профессор, заведующий кафедрой физиологии и спортивной медицины факультета гуманитарного образования Ухтинского государственного технического университета. Автор 190 научных публикаций, в т. ч. одной монографии и 5 учебных пособий*

## **ЗВУКОВОЕ ВОСПРИЯТИЕ ПРИ СМЕНЕ СВЕТОВОГО РЕЖИМА НА СЕВЕРЕ РОССИИ**

Установлено, что на севере России природное сокращение суммарного светового периода на 4–5 часов приводит к повышению порогов чувствительности восприятия звука к сигналам низкой и высокой частоты у молодых людей 19–21 лет. Пороги чувствительности к сигналам средних частот не изменяются.

**Ключевые слова:** человек, световой режим, север, чувствительность, сенсорные системы.

Из физиологии сенсорных систем известно, что каждый специфический орган чувств реагирует в определенном диапазоне на адекватный раздражитель окружающей среды и передает информацию в ЦНС. Здесь возникает «объективная» реакция нервной системы на стимул и формируется «субъективное» ощущение и восприятие [6, с. 7]. Одну из таких важных функций выполняет слуховая сенсорная система, организацию работы которой осуществляют сложные нейрональные механизмы, обладающие свойством адаптации. В литературе уже описаны некоторые функции нейрональной адаптации – оптимизация процесса кодирования информации [10, с. 787], повышение различимости стимулов [12, с. 1405], формирование сенсорного следа памяти [14, с. 391], измерение времени [11, с. 1282], участие в раз-

делении звуковых потоков и анализ сложных аудиторных планов [13, с. 397]. Однако все это касается адаптивного приспособления к специфическим стимулам. Механизмы взаимодействия между неспецифическими агентами с процессами обработки информации слуховой сенсорной системы только начали обсуждаться в литературе [2, с. 6; 4, с. 12]. Первые данные свидетельствуют о том, что развитие утомления организма может взаимодействовать с процессами обработки информации, причем не только препятствовать, но и стимулировать их [15, с. 664]. Вопросы о влиянии природных факторов окружающей среды на состояние слуховой сенсорной системы вообще не обсуждаются в литературе.

Целью настоящей работы послужило изучение особенностей восприятия звуковых

сигналов в речевом диапазоне частот, а также сенсомоторных реакций у человека при уменьшении светового дня на Севере России.

**Материалы и методы.** Исследования проведены в лабораторных условиях с участием здоровых молодых людей в возрасте 19–21 лет ( $n=53$ ). Эксперимент был разделен на два этапа: первый – в осенний период (октябрь 1995 года), второй – зимой (январь 1996 года). Избранные периоды года существенно отличались не только по термическому, но и световому режиму: октябрь – среднесуточная температура воздуха  $3,04\text{ }^{\circ}\text{C}$ , световой день в среднем за месяц составлял 9 часов 41 мин; январь был холоднее ( $-10,7\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), а световой день меньше на 4 часа 10 мин.

Для оценки влияния смены светового режима на функционирование слуховой сенсорной системы использованы методы аудиометрии и хронорефлексомерии.

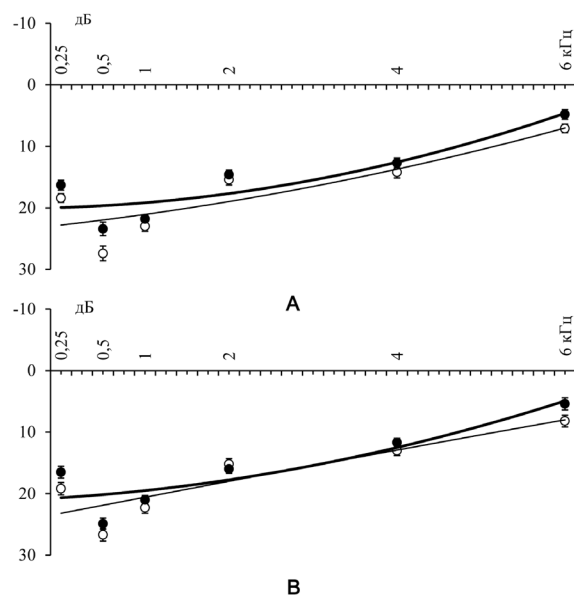
Аудиометрия проводилась на портативном приборе (АК-68) по общепринятой методике [7, с. 123; 15, с. 662], когда измерялись пороги слышимости по воздушной проводимости правого (АП) и левого (АЛ) уха. Частота звуковых сигналов составляла 0,25, 0,5, 1, 2, 4 и 6 кГц, что соответствовало речевой зоне [6, с. 206]. Интенсивность звука пошагово (1 дБ) увеличивалась от 0 до 30 дБ. Диапазон звуковых сигналов был достаточным для определения порогов слышимости при задаваемых частотах. После обучающего маневра от минимальной слышимости до повышенной интенсивности звука (на 5 дБ) возвращались к нулевой отметке сигнала и начинали регистрацию пороговых величин при указанных частотах.

Хронорефлексометрия включала в себя определение простой сенсомоторной реакции (в мс) на свет (РС), а затем на звук (РЗ) с помощью миорефлексометра ИПР-01. Каждое измерение реакции проводилось трижды с последующим расчетом средней арифметической.

Полученные данные обрабатывали методами вариационной статистики. Достоверность различий между средними арифметическими определялась по критерию t-Стьюдента и при-

нималась значимой при  $p < 0,05$ . Дополнительно применяли метод парной корреляции. Все расчеты выполнены с помощью программы Stat Soft, версия 5.2.

**Результаты и обсуждение.** Исследования тональной аудиометрии по воздушной проводимости показали (рис. 1), что величины порогов слышимости правого и левого уха имели общую закономерность изменений в изучаемом диапазоне частот. Вне зависимости от периода года относительно низкий порог слышимости при частоте 0,25 кГц сменялся его существенным увеличением при 0,5 кГц ( $p < 0,001$ ). Повышение частоты звукового сигнала до 1 и 2 кГц приводило к некоторому уменьшению порогов слышимости, а последующее нарастание частоты сигналов, соответствующих 4 и 6 кГц, сопровождалось более выраженным понижением порогов звуковой чувствительности ( $p < 0,001$ ) относительно высоты звука 0,25 кГц. При этом на обоих этапах исследова-



**Рис. 1.** Пороги слышимости (дБ) звуковых сигналов в речевом диапазоне частот (кГц) правого (А) и левого (В) органов слуха у молодых людей осенью (светлые кружки, тонкая линия тренда) и зимой (темные кружки, жирная линия тренда) на севере России ( $\bar{X} \pm m$ )

ния самые низкие пороги слышимости (от 4,0 до 8,2 дБ) зарегистрированы при частоте звуковых сигналов 6 кГц (рис. 1).

Характерно также, что почти все численные значения пороговых величин слышимости соответствовали норме, за исключением некоторого ее превышения (больше 20 дБ) в зоне относительно низких частот (0,5 и 1,0 кГц), особенно осенью, свидетельствуя о пониженной остроте слуха [3, с. 80] у отдельных индивидов в указанном диапазоне частот.

Таким образом, у молодых людей севера в осенний и зимний периоды года пороговые значения чувствительности слухового анализатора лежали в диапазоне низких и высоких формантов частот, достаточных для восприятия слабых звуков интенсивностью от 0 до 30 дБ, в том числе звуков речи – гласных и согласных. Повышенный уровень порогов слышимости приходился на низкие частоты звуковых сигналов (0,5 и 1,0 кГц), а самый низкий порог чувствительности проявлялся при высоте звука 6,0 кГц. Это отчасти согласуется с динамической картиной слуховой чувствительности у человека в норме [5, с. 14].

Особый интерес представляло изучение чувствительности слухового анализатора в условиях сезонного сокращения светового периода суток на севере. Установлено, что зимой относительно осени существенно понижался порог слышимости правого уха при частотах звукового сигнала 0,25 ( $p < 0,05$ ), 0,5 ( $p < 0,01$ ) и 6 кГц ( $p < 0,05$ ) (рис. 1 а). В диапазоне сигналов 1, 2 и 4 кГц заметна лишь тенденция к понижению порога. Близкая закономерность обнаружена для аудиограммы левого уха (рис. 1 б), за исключением отсутствия достоверных изменений порога слышимости при 0,5 кГц. О понижении порогов чувствительности обоих органов слуха в зоне низкой и высокой частоты звука в зимний период года наглядно свидетельствуют линии тренда аудиограмм (рис. 1 а, б).

Очевидно, зимой на севере сокращение суммарного светового периода суток существенно не влияет на изменение чувствительности слухового анализатора к звуковым сигналам сред-

ней частоты (1, 2, 4 кГц). При этом повышается чувствительность к специфическим сигналам низкой (0,25 кГц) и высокой частоты (6 кГц) обоих органов слуха. Это может быть обусловлено понижением порогов периферического рецепторного звена, а также увеличением скорости проведения возбуждения по волокнам нервного ствола (проводящим низкие звуки) и более центральным волокнам (проводящим высокие звуки) в силу повышенной возбудимости нервной системы [5, с. 17] в этих условиях [1, с. 12].

С целью установления сопряженности меж- и внутриорганных порогов слуховой чувствительности в диапазоне изучаемых частот был проведен корреляционный анализ. Оказалось, что существует четкая зависимость порогов слышимости между правым и левым органами слуха при всех частотах вне зависимости от периода исследования (рис. 2). Следовательно, можно говорить об относительной стабильно-

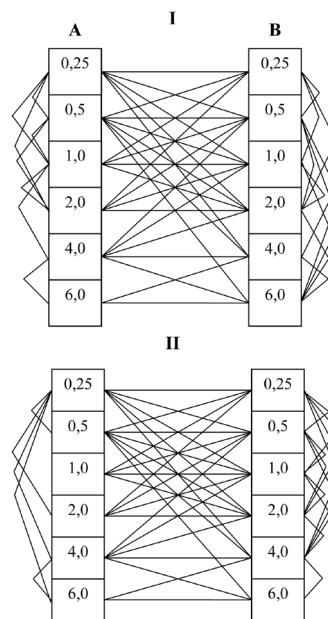


Рис. 2. Достоверные корреляции между порогами слышимости при разных частотах звуковых сигналов (в квадратах, кГц) правого (А) и левого (В) органов слуха для осеннего (I) и зимнего (II) периодов года на севере России

---

---

сти синхронизации работы обоих органов слуха в восприятии звука одной и той же высоты в осенний и зимний периоды года на севере. Однако, с уменьшением светового дня зимой характерно уменьшение (15 против 26 случаев осенью) количества статистически значимых межпороговых связей правого и левого органов слуха. Это проявляется в ослаблении корреляций между порогами слуховой чувствительности при низких частотах (0,25 и 0,5 кГц) с таковыми при средних (1 и 2 кГц) и высоких частотах (4 и 6 кГц) звуковых сигналов. Примечательно, что зимой для левого органа слуха сохраняется большая часть внутренней структуры связей между порогами чувствительности, а для правого – ослабевают, или вовсе исчезают связи с пороговыми величинами при средних частотах (1 и 2 кГц) (рис. 2).

По-видимому, в зимний период года на севере перестройка слуховой анализаторной системы связана с усилением функциональной дифференциации (относительной независимости) центральных структур отвечающих за распознавание звуковых сигналов разных частот, в результате чего сопряженность между чувствительностью симметричных органов слуха к сигналам низких и высоких частот ослабевает. При этом слева сохраняются межпороговые отношения функции восприятия звука, а справа – усиливается взаимоподчиненность чувствительности между сигналами низких и высоких частот, но уменьшается количество связей в диапазоне средних частот звукового восприятия. Видимо, в условиях природного уменьшения светового периода суток, а возможно, и хронического действия холода, в адаптивной перестройке звуковой анализаторной системы больше участвуют центральные механизмы регуляции правостороннего восприятия звука.

Поскольку в этих условиях, судя по корреляционной структуре, сохраняются межорганные взаимодействия порогов чувствительности при каждой из рассматриваемых частот, то очевидно, что сформированные приспособительные детерминанты справа, по механизму нейрональных отношений [8, с. 329], обуславливают

аналогичные изменения слуховой функции слева. Такой характер адаптивной сопряженности функции данной анализаторной системы в зимний период года, по-видимому, определяет симметричное повышение чувствительности органов слуха только при самой низкой и относительно высокой частоте звуковых сигналов, как это показано выше (рис. 1 а, б).

В контексте настоящего исследования особое значение представляло рассмотрение влияния изменения сезонного светового режима суток на сенсомоторные компоненты реакции, вызываемые световым и звуковым стимулами. Установлено, что время простой двигательной реакции на свет зимой увеличивается до  $127,2 \pm 3,4$  мс ( $p < 0,01$ ) против  $119,0 \pm 2,07$  мс осенью, а на звук – уменьшается ( $132,5 \pm 5,1$  и  $145,1 \pm 4,2$  мс,  $p < 0,05$ ), соответственно. Следовательно, можно говорить о разнонаправленном характере изменения скорости проведения нервного импульса в зрительной и слуховой сенсорных системах при укорочении светового периода суток зимой на севере. С этим, видимо, связано увеличение латентного периода двигательной реакции на свет и его уменьшение на звук.

Вероятность таких событий может объясняться большим или меньшим латеральным торможением на уровне специфических ядер сенсорных систем глаза и уха, а также неспецифических моторных ядер таламуса или коры головного мозга [6, с. 55]. Поскольку в рассматриваемых случаях моторный компонент был однотипным по структуре, то очевиднее всего различия направленности ответной сенсомоторной реакции зимой обуславливаются изменением функционального состояния сенсорных систем восприятия света и звука.

Так, под влиянием уменьшения суммарного потока световой информации зимой понижается активность мозга [9, с. 38], что может вызывать латеральное торможение специфической зрительной сенсорной системы, приводить к замедлению сенсомоторной реакции на свет. Важно отметить, что другие зрительные вос-

приятия могут не изменяться, т. к. в их основе лежат особые нейрофизиологические механизмы, а также нельзя исключить эффект «темновой адаптации» [6, с. 18]. Кроме того, известно [6, с. 55], что латеральное торможение может сопровождаться феноменом усиления пространственного контраста в зрении.

В свою очередь зимой уменьшение времени сенсомоторной реакции на звук, в противоположность реакции на свет, может объясняться избирательным латеральным торможением специфических сенсорных систем (слух, зрение). Важно заметить, что каждая из них имеет только один афферентный вход, но при реализации условной двигательной реакции оба замыкаются через ретикулярную формацию с неспецифическими ядрами (моторными) таламуса [6, с. 65]. Следовательно, если на уровне ретикулярной формации латеральное торможение приводит к замедлению двигательной реакции на свет, то в силу функциональной компенсации возбуждаются нейроны другой модальности (на звук). Конечно, такое теоретическое суждение требует прямых экспериментальных исследований. Однако очевидным является установленный нами факт о повышении чувствительности специфической слуховой сенсорной системы к сигналам низких и высо-

ких частот у человека при естественном укорочении светового периода суток зимой на севере России.

**Заключение.** Установлено, что у молодых людей зимой на севере России природное сокращение суммарного светового периода суток приводит к повышению чувствительности слуховой сенсорной системы к адекватным сигналам низкой (0,25 кГц) и высокой частоты (6 кГц) обоих органов слуха. При этом не изменяются пороги чувствительности к звуковым сигналам средних частот (1, 2, 4 кГц). Судя по корреляционной структуре, предполагается усиление центральной дифференциации восприятия звуковых сигналов разных частот, в результате чего сопряженность между чувствительностью симметричных органов слуха к сигналам низких и высоких частот зимой ослабевает. Очевидно, в адаптивной перестройке слуховой сенсорной системы повышается роль центральных механизмов регуляции правостороннего восприятия звука. В период сокращенного светового дня суток время сенсомоторной реакции на звук уменьшается, а на свет – увеличивается, что объясняется разнонаправленными механизмами регуляции восприятия сенсорной информации разной модальности на уровне ретикулярной формации и моторных ядер таламуса.

## Список литературы

1. Бочаров М.И. О модификации функционирования сердечно-сосудистой системы человека в Субарктике // Тез. докл. II симп. с междунар. участием «Проблемы адаптации человека к экологическим и социальным условиям Севера». Сыктывкар, 2004. С. 11–12.
2. Евстигнеева М.Д. Влияние адаптации нейрональных популяций и мышечного утомления на обработку информации в слуховой сенсорной системе: дис. ... канд. биол. наук. СПб., 2010.
3. Ермолаев В.Г., Левин А.Л. Практическая аудиология. М., 1969.
4. Куликов Г.А. Слух и движение. Л., 1989.
5. Нейман Л.В., Богомильский М.Р. Анатомия, физиология и патология органов слуха и речи. М., 2001.
6. Основы сенсорной физиологии / под ред. Р. Шмидта; пер. с англ. М., 1984.
7. Ундриц В.Ф., Темкин Я.С., Нейман Л.В. Руководство по клинической аудиологии. М., 1962.
8. Черниговский В.Н. Избранные труды. СПб., 2007.
9. Шеповальников В.Н., Сороко С.И. Метеочувствительность человека. Бишкек, 1992.
10. Fairhall A.L. Efficiency and Ambiguity in an Adaptive Neural Code // Nature. 2001. V. 412. P. 787–792.
11. Hopfield J.J., Brody C.D. What is a Moment? Transient Synchrony as a Collective Mechanism for Spatiotemporal Integration // Proc Natl Acad Sci USA. 2001. V. 98. P. 1282–1287.

- 
- 
12. Müller J.R. Rapid Adaptation in Visual Cortex to the Structure of Images // *Science*. 1999. V. 285. P. 1405–1408.
  13. Nelken I. Primary auditory cortex of cats: feature detection or something else? // *Biol. Cybern.* 2003. V. 89. P. 397–406.
  14. Ulanovsky N., Las L., Nelken I. Processing of Low-probability Sounds by Cortical Neurons // *Nature Neuroscience*. 2003. № 6. P. 391–398.
  15. Zijdwind I. Interaction Between Force Production and Cognitive Performance in Humans // *Clin. Neurophysiol.* 2006. V. 117. P. 660–667.

## References

1. Bocharov M.I. O modifikatsii funktsionirovaniya serdechno-sosudistoy sistemy cheloveka v Subarktike [Modifications in functioning of a man's cardiovascular system in the Subarctic region]. *II simpozium s mezhdunarodnym uchastiem "Problemy adaptatsii cheloveka k ekologicheskim i sotsial'nym usloviyam Severa"* [The 2nd international symposium "Problems of adaptation of man to the ecological and social conditions of the North"]. Syktyvkar, 2004. pp. 11–12.
2. Evstigneeva M.D. *Vliyanie adaptatsii neyronal'nykh populyatsiy i myshechnogo utomleniya na obrabotku informatsii v slukhovoy sensornoy sisteme*: dis. ... kand. biol. nauk: 19.00.02 [Effect of neuronal populations adaptation and muscle fatigue on information processing in the auditory sensory system. Cand. biol. sci. diss.]. St. Petersburg, 2010. 137 p.
3. Ermolaev V.G., Levin A.L. *Prakticheskaya audiologiya* [Practical audiology]. Moscow, Meditsina Publ., 1969. 240 p.
4. Kulikov G.A. *Slukh i dvizhenie* [Hearing and Motion]. Leningrad, Nauka Publ., 1989. 200 p.
5. Neyman L.V., Bogomil'skiy M.R. *Anatomiya, fiziologiya i patologiya organov slukha i rechi* [Anatomy, physiology and pathology of organs of hearing and speech]. Moscow, VLADOS Publ., 2001. 224 p.
6. *Fundamentals of Sensor Physiology* (Russ ed.: *Osnovy sensornoy fiziologii*). Ed. by R. Shmidt. Moscow, Mir Publ., 1984. 287 p.).
7. Undrits V.F., Temkin Ya.S., Neyman L.V. *Rukovodstvo po klinicheskoy audiologii* [A guide to clinical audiology]. Moscow, Medgiz Publ., 1962. 324 p.
8. Chernigovskiy V.N. *Izbrannye trudy* [Selected works]. St. Petersburg, Nauka Publ., 2007. 574 p.
9. Shepov'al'nikov V.N., Soroko S.I. *Meteochuvstvitel'nost' cheloveka* [Human Meteorosensitivity]. Bishkek, Ilim (Nauka) Publ., 1992. 248 p.
10. Fairhall A.L., Lewen G.D., Bialek W., de Ruyter van Steveninck R.R. Efficiency and ambiguity in an adaptive neural code. *Nature*, 2001, vol. 412, pp. 787–792. doi: 10.1038/35090500.
11. Hopfield J.J., Brody C.D. What is a moment? Transient synchrony as a collective mechanism for spatiotemporal integration. *Proc. Natl. Acad. Sci. U S A*, 2001, vol. 98, pp. 1282–1287.
12. Müller J.R., Metha A.B., Krauskopf J., Lennie P. Rapid adaptation in visual cortex to the structure of images. *Science*, 1999, vol. 285, pp. 1405–1408.
13. Nelken I., Fishbach A., Las L., Ulanovsky N., Farkas D. Primary auditory cortex of cats: feature detection or something else? *Biological Cybernetics*, 2003, vol. 89, pp. 397–406. doi: 10.1007/s00422-003-0445-3.
14. Ulanovsky N., Las L., Nelken I. Processing of low-probability sounds by cortical neurons. *Nature Neuroscience*, 2003. no. 6, pp. 391–398. doi:10.1038/nn1032.
15. Zijdwind I. Interaction between force production and cognitive performance in humans. *Clin. Neurophysiol.*, 2006, vol. 117., pp. 660–667.

***Bocharov Mikhail Ivanovich***

Faculty for Humanities, Ukhta State Technical University (Ukhta, Russia)

**SOUND PERCEPTION UNDER LIGHT REGIME CHANGE IN NORTHERN RUSSIA**

The author has found that in Northern Russia natural reduction of the total light period by 4–5 hours results in higher perception thresholds of sensitivity to low and high frequency signals in young adults aged 19–21 years. Thresholds of sensitivity to midrange signals stay unchanged.

**Keywords:** *human, light regime, north, sensitivity, sensor systems.*

*Контактная информация:*

*адрес:* 169300, Республика Коми,

*г. Ухта, ул. Первомайская, д. 13*

*e-mail:* bocha48@mail.ru

Рецензент – *Грибанов А.В.*, доктор медицинских наук, профессор, директор института медико-биологических исследований Северного (Арктического) федерального университета имени М.В. Ломоносова