

# **ПРИРОДА**

№ 3, 2001 г.

Вартанян И.А., Андреева И.Г.

## **Шум: во благо или во вред?**

© “Природа”

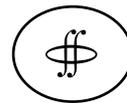
Использование и распространение этого материала  
в коммерческих целях  
возможно лишь с разрешения редакции



Сетевая образовательная библиотека “VIVOS VOCO!”  
(грант РФФИ 00-07-90172)

[vivovoco.nns.ru](http://vivovoco.nns.ru)  
[vivovoco.rsl.ru](http://vivovoco.rsl.ru)  
[www.ibmh.msk.su/vivovoco](http://www.ibmh.msk.su/vivovoco)

# Шум: во благо или во вред?



И.А.Вартанян, И.Г.Андреева

**М**ожете ли вы представить себе абсолютную тишину? Не ту тишину, когда в осеннем лесу чуть слышно, как падают листья, и не ту, когда в ночном сумраке комнаты тикают часы. А ту — «мертвую» тишину, когда некому и нечему шуметь. Такую тишину можно создать лишь в специальных звукоизолированных камерах. Когда туда попадаешь, в первый момент кажется, что заложило уши. Затем начинаешь слышать биение своего сердца, дыхание, шорох от малейшего движения. Вот тогда и начинаешь осознавать, что наша жизнь проходит в шуме, причем один из его источников — собственный организм (табл.).

Акустический шум в зависимости от уровня громкости и частотного состава по-разному воздействует на слух человека. Шумы, содержащие широкий диапазон частот, с высоким уровнем интенсивности ухудшают (маскируют) восприятие звуковых сигналов. Известно, что сильные шумы отрицательно влияют на состояние человека: меняется возбудимость, усиливается утомляемость, снижается работоспособность. Шумы в узкой полосе частот при длительном и интенсивном воздействии приводят к акустической травме — повреждению органа слуха, но то, как действуют шумы малой

© И.А.Вартанян, И.Г.Андреева



**Инна Арамаисовна Вартанян** — доктор биологических наук, руководитель лаборатории сравнительной физиологии сенсорных систем Института эволюционной физиологии и биохимии им. И.М. Сеченова РАН. Область научных интересов — психофизиология и электрофизиология слуха, речи и соматосенсорной системы, сравнительная нейробиология сенсорных систем.



**Ирина Германовна Андреева** — кандидат биологических наук, научный сотрудник той же лаборатории. Специалист в области физиологии сенсорных систем, занимается изучением временно-

го анализа информации слуховой системой и разных видов кожной чувствительности человека.

Оба автора — лауреаты конкурса МАИК «Наука/Интерпериодика» на лучшую научную публикацию 1998 г.

Наиболее частые в повседневной жизни шумы и уровень их интенсивности

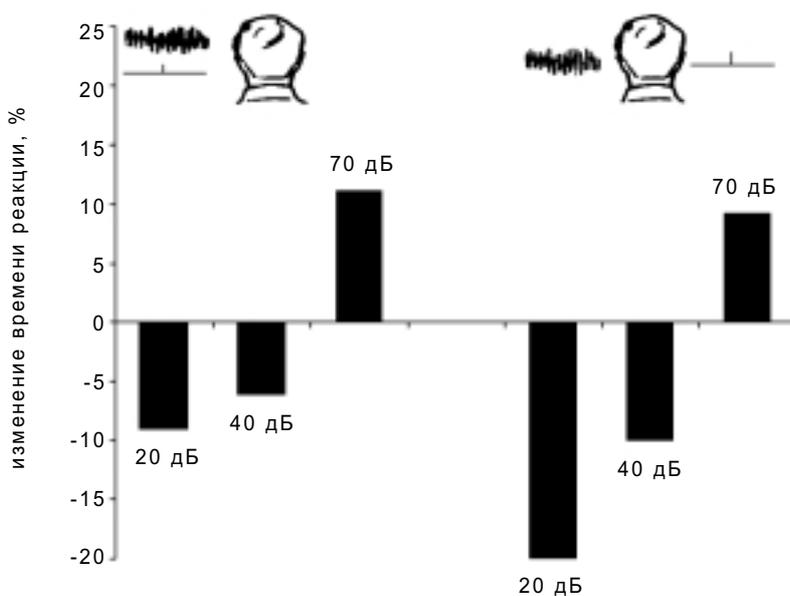
Тип шума	Уровень интенсивности, дБ
Слуховой порог	0
Слабое дуновение ветра, шелест листьев	10
Шепот, тихое дыхание в комнате	20
Очень тихая улица	30
Приглушенная разговорная речь, тихая музыка, обычный уличный шум	40
Шум в служебных помещениях, умеренный звук радио, обычная громкость разговора	50—60
Гул активного уличного движения, работа электробытовых приборов	70—80

и средней интенсивности на слуховое восприятие и функциональное состояние человека, практически не изучалось. А ведь производственные и транспортные шумы средней интенсивности — постоянные спутники человека. Поэтому важно было выявить физиологические механизмы защиты от внешних и внутренних (собственной речи) шумов малой (до 20 дБ) и средней (40—60 дБ) громкости и определить, как эти шумы влияют на восприятие звука и на оценку движения его источника.

При восприятии звуков человек решает множество задач: от относительно простых — таких, как обнаружение звука, — до самых сложных, связанных с распознаванием речи. Свое исследование мы начали с изучения влияния широкополосного шума на восприятие элементарного события в мире звуков: звукового щелчка с разным уровнем интенсивности [1]. Как показатель скорости реагирования и вероятности обнаружения звукового щелчка мы исследовали простую двигательную реак-

цию — нажатие пальцем на кнопку в ответ на звук. Эту способность изучали с учетом бинауральных эффектов слуха: шум и сигнал подавали через наушники как ипсилатерально (в одно ухо), так и контралатерально (в разные). В первом случае информация о сигнале и шуме поступает через одни и те же слуховые пути, во втором — она объединяется только на уровне центров слуховой системы.

На фоне слабого ипсилатерального шума время реакции на щелчок снижалось у всех испытуемых. С увеличением уровня шума до 40 дБ у большинства испытуемых оно также уменьшалось, а у некоторых — не изменялось по сравнению с ответами в тишине. Следовательно, шум малой и средней интенсивности не только не нарушает простейший акт восприятия сигнала — его обнаружение, но может даже ускорять ответную реакцию. При уровне шума 70 дБ время реакции на щелчок увеличивалось, т.е. наблюдали маскировку щелчка шумом. На фоне контралатерального шума показатели времени реакции изменялись также, как и при ипсилатеральном шуме, но количественно они были более выражены. Это связано



Изменение времени реакции на одиночный щелчок разной интенсивности на фоне ипсилатерального (слева) и контралатерального шума (выражено в % от контроля — времени реакции на сигнал в тишине). Числа у столбцов показывают уровень шума.

с отсутствием взаимодействия сигнала и шума на периферии слуховой системы и с разделением путей прохождения сигнала к месту объединения информации в слуховых центрах. Какова же роль путей проведения звука к рецепторам?

Известно, что слуховые ощущения можно создавать искусственно, например при помощи электрического тока или ультразвука, сфокусированного непосредственно в место расположения рецепторов улитки внутреннего уха. Использование ультразвукового импульса, создающего слуховое ощущение щелчка, позволило нам разделить пути прохождения такого сигнала и обычного акустического шума уже на дорецепторном уровне [1]. Этот методический прием выявил роль так называемых серверных механизмов — наружного и среднего уха, где происходит предварительная фильтрация и усиление звука. Оказалось, что на фоне ипсилатерального шума до 20 дБ порог обнаружения ультразвукового импульса снижался по сравнению с его порогом в отсутствие шума. Таким образом, наблюдалось облегчение восприятия ультразвукового щелчка, достигающего рецепторов по иному пути проведения акустического раздражителя, нежели путь проведения шума, т.е. минуя взаимодействие в наружном и среднем ухе. Контралатеральное воздействие шума приводило к аналогичному результату. Тем не менее эти данные свидетельствовали о некотором, хотя и слабом, взаимодействии щелчка и шума на рецепторном уровне, несмотря на их существенные спектральные различия.

Об особенностях анализа звуковой информации можно судить также по электрической активности структур мозга, регистрируемой с поверхности черепа. Электрические колебания с коротким скрытым периодом, отражающие активацию слухового нерва и первых уровней центрального слухового пути, показы-

вают, что акустический шум до 20 дБ не влияет на восприятие звукового сигнала. Наблюдались, однако, изменения амплитуды вызванных средне- и длиннопериодных электрических колебаний на щелчки в условиях шума, в частности волн со скрытым периодом около 200 мс, которые соотносятся с временем возникновения элементарного ощущения [2]. Эти данные свидетельствуют о том, что в центрах слуховой системы происходит взаимодействие информации, получаемых от различных по частотному составу сигнала (щелчка) и шума.

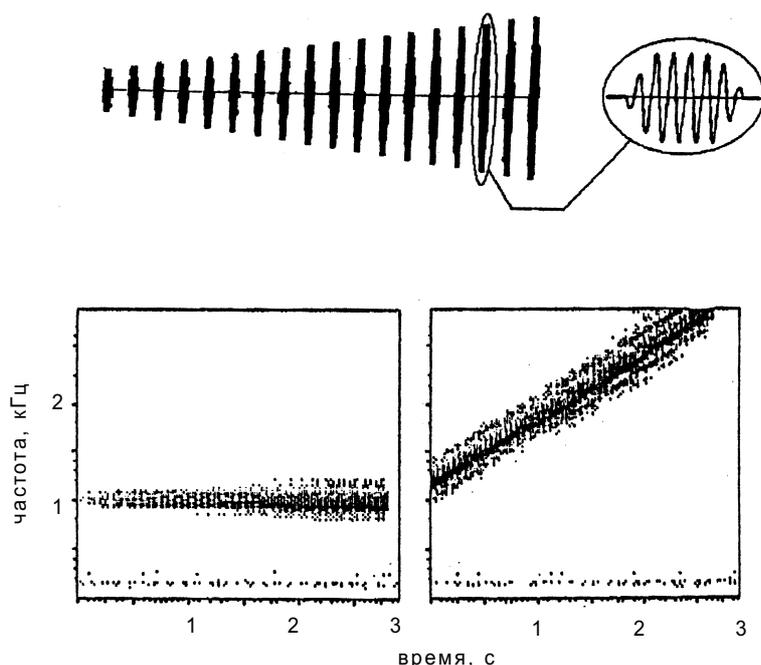
По сравнению с обнаружением одиночного сигнала более сложным актом восприятия считается анализ признаков и идентификация различных звуков. Локализация источника звука — важная для выживания человека функция слуха, позволяющая ориентироваться в окружающем мире. Это дает возможность избежать нападения сзади, выручает в темноте или в тумане, когда роль зрения невелика. Каким образом на эту способность влияет шум?

Прежде чем ответить на этот вопрос, поясним, как происходит определение положения звукового источника [3,4]. Представим себе сферу, в центре которой находится голова человека. Положение источника звука принято описывать в сферической системе координат, так как это хорошо согласуется с физиологическими механизмами локализации. Азимутальный угол (слева направо) оценивается слуховой системой по разнице интенсивности сигналов и времени их попадания в левое и правое ухо. Имеют значение также изменения в спектре звукового сигнала, которые возникают при прохождении наружного уха под разными азимутальными углами. Элевация (вверх-вниз) определяется в основном по «западениям» в спектре сигнала, которые также возникают в результате прохождения звука через ушную раковину под разными элевационными углами.

Радиус сферы, или удаленность от источника звука, оценивается по уровню интенсивности сигнала, а также по изменению его спектра.

Различие в механизмах анализа пространственной информации по трем координатам привело к специализации всех центральных отделов слуховой системы, вплоть до коры головного мозга. Кроме того, выяснилось, что левое и правое полушария по-разному участвуют в обработке этой информации. Так, правильная оценка направления радиального перемещения источника звука больше страдает при поражениях левых лобной, височной и теменной областей коры головного мозга, а при правосторонних теменных и височных поражениях больше нарушается восприятие сигналов перемещения в азимутальном направлении [5]. Эти результаты позволили предположить, что в слуховой системе существуют два относительно независимых друг от друга канала передачи информации о параметрах движения источника звука в пространстве. Один в большей степени связан с работой структур левого полушария и передает информацию об изменениях интенсивности звука. Во втором канале окончательная обработка бинауральной информации происходит преимущественно в правом полушарии, за счет сравнения временно-пространственной информации о сигнале, поступающей от левого и правого уха.

При оценке абсолютных положений источника сигнала в присутствии шума оказалось, что точность анализа пространственной информации различается по трем осям: ошибка для лево-правого и верхне-нижнего направлений была значительно меньше, чем для передне-заднего. В последнем случае ошибка была не только больше по величине, но и быстрее росла с уменьшением отношения сигнал/шум. Однако, если влияние шума на локализацию неподвижных звуковых источников, а так-



Структура модельного сигнала для изучения восприятия радиального движения (вверху) и изменения спектра сигнала во времени (внизу): слева — сигнал, моделирующий приближение источника (растет амплитуда), справа — удаление (растет частота).

же на оценку движения в азимутальном направлении активно изучалось в различных научных лабораториях, то способность человека оценить параметры радиального движения звукового источника в шуме до сих пор не исследовалась и стала задачей нашей работы. Сначала была обоснована и изучена модель движения, состоящая из последовательности импульсов, линейно модулированных по амплитуде и частоте [6]. Эта модель, обладающая большим числом параметров, позволила имитировать многие признаки движения: изменение амплитуды и спектра при смене расстояния до источника; непрерывность, равномерность и различную скорость движения. С помощью модели были определены условия, при которых воспринимается непрерывное движение, а также установлены основные физические па-

раметры акустической стимуляции, которые формируют приближающиеся и удаляющиеся звуковые образы. Далее нас интересовал вопрос: каким образом изменится оценка человеком приближения и удаления сигнала на фоне шума? Результаты двух примененных при ответе на этот вопрос методов — психоакустического и электрофизиологического — хорошо согласовывались между собой.

В психоакустическом исследовании участникам эксперимента предлагалось определить направление движения (приближение или удаление) источника звука в условиях тишины и на фоне непрерывного белого шума среднего уровня интенсивности [2]. В этой части эксперимента движение моделировали изменением амплитуды, причем сигналы «приближения» и «удаления» разворачивались во времени

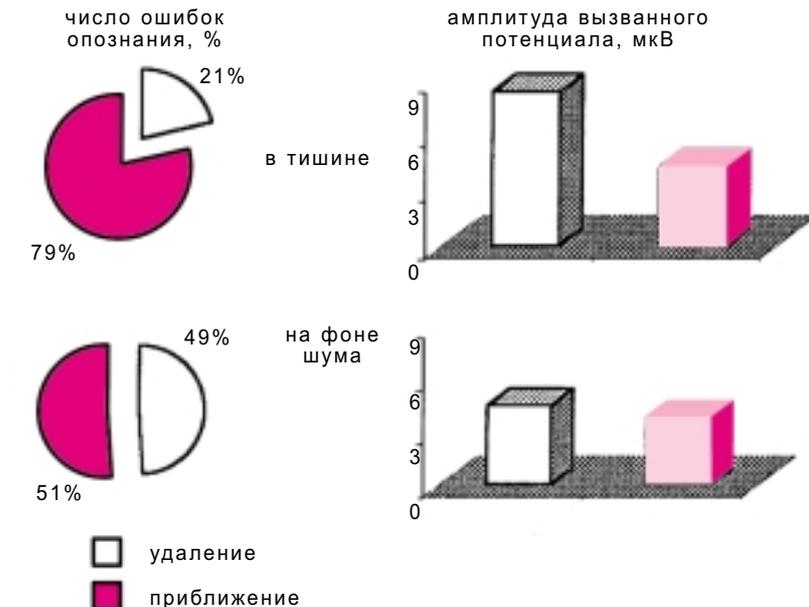
зеркально симметрично. В общем, испытуемые в условиях шума ошибались в 1.5–2 раза чаще, чем в тишине. При этом в отсутствие шума число ошибок при оценке приближения было существенно больше, так как по методике опыта начальная интенсивность звука, имитирующего удаление, была на 40 дБ выше, чем при имитации приближения. На фоне шума количество ошибок при оценке приближения и удаления источника звука стало практически одинаковым, что свидетельствовало о большей помехоустойчивости восприятия приближающихся сигналов и об отсутствии преимуществ в восприятии приближения и удаления звука на фоне шума средней интенсивности.

В электрофизиологическом исследовании сравнивались амплитуды длиннолатентных слуховых вызванных потенциалов в ответ на сигналы, моделирующие приближение и удаление звукового источника [7]. В тишине величины вызванных ответов на «приближение» и «удаление» звукового источника также различались в 1.5–2 раза за счет различий в начальных интенсивностях звукового сигнала. На фоне непрерывного шума ситуация изменилась неожиданным образом: если на удаление ответ уменьшился примерно вдвое, то на приближение — почти не изменился. Эти показатели электрической активности мозга четко коррелировали с правильностью оценки направления движения. Действительно, высокая амплитуда ответа определяет «четкость» полученной слуховой системой информации о сигнале и соответственно возможность правильной ее идентификации. Малая амплитуда, наоборот, свидетельствует о неопределенности информации и коррелирует с большим числом ошибок при ее оценке. Эти данные соотносятся также с большей биологической значимостью именно приближения, а не удаления звучащего объекта.

Чтобы избежать столкновения

со звучащим объектом, нужно не только его обнаружить, но и узнать, в каком направлении он движется. Известно, что при уменьшении длительности звучания сигнала оценить направление его движения трудно или даже невозможно. Минимальная длительность сигнала, при которой еще можно дать точную оценку направления его движения, по нашим данным, в условиях тишины составляет 400 мс [7]. Непрерывный шум с уровнем интенсивности до 40 дБ не влияет на этот параметр восприятия, а потому фоновый шум среднего уровня интенсивности не может стать помехой при определении направления движения движущегося звукового источника и соответственно — относительно безопасен.

Все, что обсуждалось до сих пор, касалось действия непрерывного шума, в реальных же ситуациях шумовая помеха имеет непостоянный, прерывистый характер. Если сигнал и шум разделены во времени, то говорят о последовательной маскировке, которая в зависимости от последовательности шума и сигнала может быть прямой или обратной. Действие прямой маскировки, когда первым звучит шум, определяется главным образом механоэлектрическими процессами в периферических отделах слуховой системы и завершается в течение 50 мс. При обратной маскировке, когда первым звучит сигнал, ее действие связано также и с анализом информации в центральных отделах слуховой системы, и процесс распознавания сигнала длится существенно дольше. При модельном исследовании действия обратной маскировки на восприятие радиального движения мы обнаружили, что такая маскировка может не только затруднять анализ признаков сигнала, но и при определенном интервале времени между сигналом и маскером ускорять принятие решения при оценке направления движения [8]. Так, уменьшение времени реакции выбора наблюдалось при задержке маскера относительно

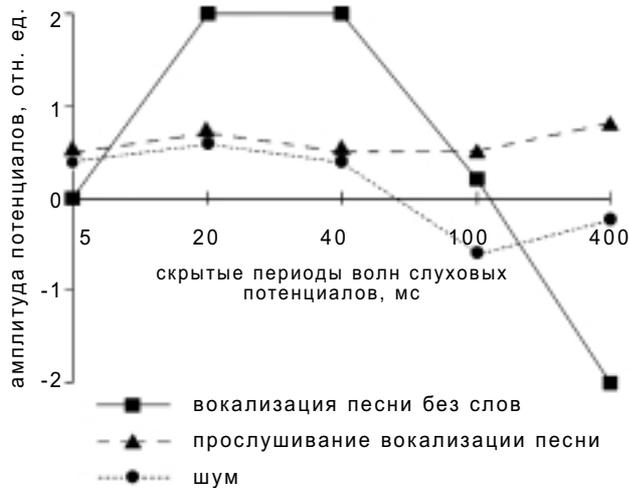


Психоакустические (слева) и электрофизиологические показатели восприятия радиального движения источника звука в тишине и на фоне шума.

сигнала на 500 мс.

До сих пор мы рассматривали шум как нечто внешнее, привнесенное. А как же будут вести себя различные отделы слуховой системы человека — воспринимающие, передающие и обрабатывающие информацию о внешних звуках на фоне собственной речевой активности? Попытка ответить на этот вопрос была сделана с помощью электрофизиологического метода [2]. У здоровых людей с хорошим слухом регистрировали слуховые потенциалы, которые возникали в ответ на щелчок. При активном пении, когда человек воспроизводит мелодию, электрическая активность слухового нерва на щелчок незначительно возрастает или не изменяется вообще, как и при действии внешнего шума. Слуховой вход остается «открытым» для всех звуков. Иная картина наблюдается для волн со скрытыми периодами до 20—40 мс, которые от-

ражают активность подкорковых слуховых ядер. Амплитуда этих волн немного увеличивается на фоне шума и прослушивания записанного на магнитофон пения испытуемого (внешний звук), но резко возрастает при включении собственного голоса. Следовательно, на уровне подкорковых отделов мозга работает не только механизм выделения сигнала из шума, но и механизм «усиления» внешних сигналов на фоне звуков, активно продуцируемых человеком. «Усиленный» потенциал имеет больше шансов перераспределяться в равных долях по разным отделам мозга. Волны со скрытыми периодами до 100 мс, отражающие приход сенсорного стимула в кору головного мозга, мало изменяются по величине на любом звуковом фоне: даже при активации собственного голоса они почти не отличаются от потенциалов, зарегистрированных в тишине. Это значит, что такие вол-



*Изменение амплитуды волн слуховых потенциалов с различными скрытыми периодами на разном звуковом фоне. Амплитуда волн, возникающих в ответ на короткий звук без фона, на графике соответствует нулевому значению. Приведены усредненные данные для 12 испытуемых.*

ны приходят к коре уже после перераспределения слуховой информации на подкорковом уровне и слабо отражают процессы взаимодействия сигнала и голоса. В то же время волны потенциалов со скрытыми периодами более 200 мс резко уменьшаются при голосовой активности. Если учесть, что корковые потенциалы со скрытым периодом порядка 300 мс (225—400 мс у разных людей) соотносятся с окончательным опознанием стимула, с его идентификацией, то уменьшение именно этого комплекса волн на фоне собственной речи может включать механизм выбора, в основе которого всегда лежит подавление одной реакции за счет другой. Поскольку в наших исследованиях человек по инструкции должен был следить за правильным использованием голоса, не исключено, что уменьшение поздних корковых волн слухового потенциала было связано также и с направленностью внимания.

Итак, широкополосный шум

низкого и среднего уровней интенсивности не препятствует человеку удовлетворительно анализировать звуковую информацию и выполнять сложные задачи, связанные с анализом признаков звука. Мы обнаружили две ситуации, в которых действие шума даже улучшало восприятие полезного звукового сигнала. В одной из них действие шума слабой интенсивности (до 20 дБ) заглушает внутренние шумы организма и создает своеобразный звуковой «комфорт»; в другой — шум, следующий за сигналом через определенный промежуток времени (0.5 с), улучшает его распознавание.

Кроме того, на фоне собственной речи человек получает звуковую информацию извне без помех, и лишь процессы, происходящие на уровне коры головного мозга, вероятно связанные с направленностью внимания, влияют на ее дальнейшее осознание и использование человеком.

Каков же диапазон практического приложения результатов ис-

следований, о которых шла речь? От звукового оформления компьютерных игр и создания виртуальной акустической реальности — до подготовки летного состава различного назначения и оценки условий работы космонавтов. Проблема имеет также медико-технический и чисто медицинский аспекты. В первом случае речь идет о разработке методов защиты от разных по природе и уровню шумов. Во втором — о возможностях компенсации собственных ушных шумов и снижения помехоустойчивости слуха при патологических процессах и травмах. Эти и многие другие вопросы находятся в сфере нашего внимания и будут исследоваться при выполнении текущего гранта. Мы искренне надеемся, что их теоретические и экспериментальные разработки будут в ближайшем будущем затребованы в практической работе как врачей, так и создателей новых поколений тренажеров для профессионального обучения летчиков, водителей транспорта, диспетчеров и др. ■

**Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований. Проекты 97-04-48224 и 00-04-48600.**

## Литература

1. Вартамян И.А., Андреева И.Г. // Физиология человека. 1998. Т.24. №1. С.40—45.
2. Вартамян И.А. // ДАН. 1998. Т.358. №5. С.692—694.
3. Альтман Я.А. Локализация движущегося источника звука. Л., 1983.
4. Middlebrooks G.C., Green D.M. //Annu. Rev. Psychol. 1991. V.42. P.135—159.
5. Вартамян И.А. //Физиология человека. 1995. Т.21. №5. С.29—35.
6. Вартамян И.А., Андреева И.Г., Мазинг А.Ю., Маркович А.М. //Физиология человека. 1999. Т.25. №5. С. 38—47.
7. Вартамян И.А., Андреева И.Г., Малинина Е.С., Маркович А.М. // Рос. физиол. журн. им.И.М.Сеченова. 2000. Т.86. №7. С.820—832.
8. Андреева И.Г., Вартамян И.А. // Физиология человека. 2000. Т.26. №4. С.164—166.

### Солнечная электростанция станет туристическим объектом

Первая в мире солнечная электростанция «Теми» была построена в Восточных Пиренеях (Таргассон, Франция) и введена в эксплуатацию в 1983 г. Сейчас она оказалась нерентабельной. Стоимость вырабатываемой ею электроэнергии в 50 раз выше, чем у современной АЭС, поэтому вскоре эксплуатацию «Теми» прекратят.

100-метровую башню, предназначенную для улавливания солнечных лучей, предоставят астрофизикам: чистый воздух делает эти места идеальными для наблюдений за космосом. Чтобы найти средства на исследования, решили организовать на «Теми» экскурсии для туристов (подобные проводятся на расположенной поблизости солнечной печи «Одейло»).

Предполагается превратить «Теми» в крупный центр научно-промышленного туризма (Science et Vie. 2000. №994. P.32. Франция). Компания «Электрисите де Франс» уже инвестировала на обустройство района станции 3

млн франков, два из которых предназначено для туристического проекта.

### Как сохранить луизианские болота?

Штат Луизиана занимает самое нижнее течение р.Миссисипи и центральную часть северного побережья Мексиканского залива. Из 120 тыс. км<sup>2</sup> территории более 10 тыс. – это болота, марши (солончатые приморские топи), а также барьерные острова. Наступление моря приводит к массовому сокращению суши: за полвека ушло под воду более 3100 км<sup>2</sup>, а в последние десятилетия – по 65–90 км<sup>2</sup> в год. Уникальному ландшафту реально грозит полное исчезновение.

В 1990 г. сенат США принял закон о защите и восстановлении прибрежных переувлажненных земель; ежегодно на эти нужды ассигнуется от 40 до 50 млн долл. Но это капля в море. В середине 90-х годов по инициативе весьма влиятельной общественной организации, сосредоточившей усилия политиков, экологов, университетских

специалистов, студентов, юристов и представителей некоторых промышленных и финансовых кругов, был составлен список проектов и методов предотвращения утраты земель (Science. 2000. V.289. №5486. P.1860. США). После доработки и одобрения общественностью документ под названием «Coast-2050» («Побережье-2050») был представлен в Конгресс США. Он включает более 500 отдельных, но связанных между собой проектов, на выполнение которых требуется 14 млрд долл. Решение по ним еще не вынесено, но для экспериментальной их оценки отведена местность вдоль залива Баратария (к востоку от русла Миссисипи) и выделено по 6 млн долл./год на ближайшее время.

При осуществлении проекта встают три главные трудности. Первая – геологическая. Давно известно, что район дельты Миссисипи испещрен подземными трещинами, рассекающими его на тысячи отдельных блоков. Один из приморских блоков площадью около 4100 км<sup>2</sup> с начала века сползает в воды Мексиканского залива. По оценкам, только этот оползень ответствен примерно за 60% утра-