

Т. Н. Лапшина

ЭЛЕКТРОЭНЦЕФАЛОГРАФИЧЕСКИЕ КОРРЕЛЯТЫ ЭМОЦИОНАЛЬНЫХ РЕАКЦИЙ

Сегодня не остается сомнений, что эмоции влияют на все сферы жизни человека. Эмоции могут приводить к улучшению или ухудшению адаптации субъекта в любой ситуации. Но, несмотря на актуальность проблемы, до сих пор не найдены объективные показатели, которые позволяли бы экспериментатору судить о том, какую по интенсивности (сильную или слабую) и знаку (положительную или отрицательную) эмоцию переживает испытуемый. В такой ситуации невозможно методологически совершенное исследование эмоциональной сферы. В данном исследовании, благодаря комплексному психофизиологическому подходу, показано, что сложная динамика спектра мощности ЭЭГ отражает субъективные различия в эмоциональной реакции на стимулы. При восприятии эмоционально положительных слайдов обнаружено усиление относительной мощности ЭЭГ в диапазоне 6—8 Гц в лобных отведениях, а также подавление активности 8—12 Гц в затылочных и теменных отведениях. Полученные данные могут стать основой для создания принципиально нового метода объективной диагностики эмоциональных ответов, который будет востребован как в медицине и прикладных областях психофизиологии, так и в фундаментальных исследованиях эмоциональных реакций.

Ключевые слова: эмоции, объективные индикаторы эмоций, ЭЭГ.

Эмоции представляют собой особый класс психических процессов и состояний, связанных с потребностями и мотивами и отражающих в форме непосредственных субъективных переживаний (удовлетворения, радости, страха и т.д.) значимость действующих на индивида явлений и ситуаций (Симонов, 1981). Современные исследования эмоций столь же многообразны, как сама эмоциональная жизнь (Сасиорро, 2000). Но, несмотря на расцвет «аффективной психофизиологии» (термин Richard J. Davidson, 2003), в настоящее время еще нет данных, на основе которых можно было бы достоверно устанавливать знак и интенсивность возникающего у человека эмоционального переживания.

Показатели активности периферической нервной системы (КГР, ЭКГ, плетизмограмма), традиционно используемые в психофизиологии для диагностики эмоций, имеют ряд недостатков (Араkelов, Шотт, 1998): эти реакции протекают достаточно медленно, тогда как эмоциональное реагирование может быть мгновенным;

они тесно связаны с функциональным состоянием, подвержены влиянию большого количества факторов (в том числе метаболических процессов) и могут изменяться неспецифично как для эмоций, так и для стимулов или задач. Поэтому в последнее время исследователи эмоций все чаще обращаются к анализу электроэнцефалограммы (ЭЭГ), которая, применительно к динамичным эмоциональным процессам, имеет преимущество даже перед такими современными методами, как функциональная магнитно-резонансная томография (фМРТ) и позитронно-эмиссионная томография (ПЭТ), в основном благодаря хорошему временному разрешению (Cacioppo, Gardner, 1999).

Несмотря на достаточно большой объем фактических данных, касающихся изменений ЭЭГ человека при возникновении эмоций, их часто трудно интерпретировать, прежде всего, из-за необходимости отличать эти изменения от сходных, возникающих при неэмоциональных нагрузках. Разрешить эту проблему может введение стимуляции, эмоциональное влияние которой на испытуемых известно. В нашем исследовании для этих целей используются психологические методики оценки стимуляции. Многие авторы, как физиологи (Симонов, 1981), так и психологи (Лурия, 2002), подчеркивали, что эмоциональные проявления имеют сложный характер, поэтому их рассмотрение невозможно без применения методов комплексной оценки субъективных и объективных показателей. Пример подобного подхода мы пытались реализовать в настоящей работе, посвященной поиску и изучению ЭЭГ-показателей в ответ на зрительную стимуляцию изображениями разной эмоциональной окраски.

С каждым испытуемым мы проводили две серии экспериментов — психофизическую и психофизиологическую (с интервалом в несколько недель, порядок участия варьировался). В обеих сериях применялась одна и та же визуальная стимуляция. В *психофизической* серии выявлялась структура субъективных различий эмоциональных ответов на зрительные стимулы различных тематических групп; выделялись два основных признака стимулов — интенсивность и знак вызываемой эмоциональной реакции. *Психофизиологическая* серия состояла в регистрации и последующей обработке ЭЭГ-ответов на зрительную стимуляцию. Такой подход позволяет соотнести субъективные данные и объективные физиологические показатели.

Испытуемые. В эксперименте участвовали 8 женщин (средний возраст 19 лет) и 6 мужчин (средний возраст 20 лет). Испытуемые не знали о целях и гипотезах исследования. В настоящей статье приводятся результаты 4 мужчин и 4 женщин.

Психофизическая серия

Стимульный материал состоял из 16 слайдов разного эмоционального содержания: виды природы (nat), эротические фото (er),

кожные нарывы (*rani*), ядовитые змеи и насекомые (*gad*), десертные блюда (*eda*). Мы предположили, что слайды *er* и *eda* относятся к эмоционально-положительному (+Э) типу стимулов, *rani* и *gad* — к эмоционально-отрицательному (–Э). «Виды природы» рассматривались как источники эмоционально-нейтрального состояния. В качестве нейтрального стимула использовался также серый экран (*grey*). Предполагалось, что эротика и раны будут вызывать более сильные эмоции. Из этих 16 стимулов были составлены все возможные пары. Каждая предъявлялась по пять раз на 0.5 с, в случайном порядке. Испытуемый должен был оценить различие в своих эмоциональных впечатлениях. Кроме метода парных сравнений использовалась и прямая оценка стимулов.

Экспериментальная ситуация. Для предъявления стимулов использовался монитор ПК. Стимуляция составлялась и демонстрировалась с помощью программы для создания интерактивных опросников QMaker, которая фиксировала анкетные данные и ответы испытуемых. Мы старались создать условия, максимально приближенные к тем, в которых производилась регистрация физиологических показателей. В методике парного сравнения стимулов испытуемому предлагалась следующая инструкция: «Сейчас вам будут предъявляться пары картинок. Вам нужно будет оценить степень различия вызванных ими впечатлений по шкале от 0 до 9». После этого на темном экране появлялись пары картинок и курсор для ввода ответа с кнопкой перехода к следующей паре. В методике прямых оценок испытуемому предлагалось оценить силу эмоционального впечатления от слайда по шкале от 1 до 5, причем оценка «1» означала сильное –Э-впечатление, а «5» — сильное +Э-впечатление. Каждый стимул демонстрировался только один раз, но испытуемый имел возможность исправлять свои ответы, возвращаясь к предыдущим стимулам.

Обработка. Матрицы различий стимулов (6 штук), полученные в методике парного сравнения, усреднялись, и для дальнейшей обработки использовались две матрицы средних различий — по женской и мужской выборкам. Обрабатывались также индивидуальные матрицы каждого испытуемого. Использовался метод многомерного математического шкалирования (ММШ) в пакете SPSS 9.0. Строились двухмерные пространства с евклидовой метрикой. Стресс — мера степени воспроизведения исходной матрицы сходств — рассчитывался по формуле Крускала (Терехина, 1983). Прямые оценки стимулов также усреднялись отдельно по мужской и женской выборкам.

Психофизиологическая серия

Стимульный материал. Испытуемым предъявлялись 24 слайда разного эмоционального содержания (те же, что и в психофизической серии): виды природы, эротические фото, кожные нарывы,

ядовитые змеи и насекомые, десертные блюда. Время экспозиции каждого слайда — 10 с. Слайды были организованы в тематические группы по 3 слайда в каждой. Эмоциогенные группы перемежались серым экраном на 30 с.

Условия регистрации и оборудование. ЭЭГ регистрировалась монополярно от стандартных отведений: Fp1, Fpz, Fp2, F7, Fz, F3, F4, F8, T3, C3, Cz, C4, T4, T5, P3, Pz, P4, T6, O1, Oz, O2. В качестве референтного использовался объединенный ушной электрод (A1, A2). Запись проводилась с помощью многоканальной исследовательской системы «Энцефалан131» с частотой опроса 100 Гц, полоса пропускания от 0.3 до 30 Гц. Также регистрировались ЭКГ (в обоих случаях с двух рук) и КГР (с указательного и безымянного пальцев левой руки).

Экспериментальная ситуация. Испытуемый сидел в удобном кресле в изолированной камере с закрытыми глазами. После 5-минутного периода адаптации к экспериментальной обстановке в течение минуты регистрировалась фоновая активность ЭЭГ, сначала с открытыми, потом с закрытыми глазами. Далее испытуемому давалась инструкция: «Сейчас мы вам покажем разные картинки. Сидите спокойно. Старайтесь не двигаться и не моргать».

Обработка. Первичные данные записи ЭЭГ обрабатывались с помощью пакета EEGDigitalSystem. После удаления артефактов (артефактом считалось отклонение волны от нулевой линии 50 мкВ) единичные отрезки ЭЭГ обрабатывались методом спектрального анализа в области 3—30 Гц с использованием алгоритма быстрого преобразования Фурье в программе BrainLoc (авторы Ю.М. Коптелов, А.И. Округ). Для сглаживания спектра применялось прямоугольное окно Хеннинга. Величина мощности спектра вычислялась с дискретным шагом в 1 Гц. Для последующего анализа данные спектральной мощности суммировались по следующим частотным диапазонам: тета — 6—8 Гц, альфа — 8—12, бета — 18—20 Гц. Для этого полученные данные программы BrainLoc переводились в формат .txt и в дальнейшем обрабатывались с помощью программы MSEXcel, строились гистограммы мощностей спектра для разных отведений. Изменения ЭЭГ и КГР оценивались визуально во время регистрации, что позволяло проверить, происходит ли непосредственное реагирование на стимулы во время эксперимента.

Результаты психофизической серии

Из таблицы, в которой приведены средние и дисперсии прямых оценок у женской выборки, видно, что изображения ран и еды вызывают наиболее сильные эмоции, выраженные по знаку. Остальные картинки имеют значения ближе к среднему баллу, соответствующему оценке «эмоциональное впечатление нейтрально». Эти данные облегчили нам интерпретацию полученных пространств. Кроме того, уже по ним заметно, что виды природы нельзя считать

**Результаты прямой оценки эмоциональной силы стимулов по шкале от 1 до 5.
Женская выборка**

Стимулы		Среднее оценок	Среднее по группам стимулов	Дисперсия
Серый экран	grey	3.17	3.17	0.17
Эротика	er1	3.67	3.94	0.27
	er2	4.00		0.80
	er3	4.17		0.57
Раны	rani1	1.17	1.28	0.17
	rani2	1.17		0.17
	rani3	1.50		0.30
Змеи и насекомые	gad1	2.67	2.67	1.47
	gad2	2.17		0.57
	gad3	3.17		2.17
Пища	eda1	4.33	4.22	0.67
	eda2	4.33		0.67
	eda3	4.00		0.80
Природа	nat1	3.67	4.33	0.67
	nat2	4.50		0.70
	nat3	4.83		0.17

нейтральной стимуляцией, тогда как серый экран вполне может выступать в этом качестве.

Изначально мы предположили, что эротика вызовет гораздо более сильную эмоцию, чем еда. Но по результатам прямой оценки стимулов выяснилось, что реакция на изображения пищи гораздо интенсивнее. Это же подтверждается и данными психофизиологической серии (подробнее об этом см. далее).

Построенные нами пространства стимулов для мужской и женской выборок представлены на рис. 1 и 2. Анализ рисунков показывает, что стимулы в пространстве расположены группами, соответствующими тематической группировке слайдов. Это значит, что различия в ответах на стимуляцию одной тематики незначительны (ими можно пренебречь), а между стимулами разной тематики различия гораздо более значительны. Опираясь на результаты прямой оценки стимулов, мы предположили (и это согласуется с литературными данными), что выделенные нами признаки описывают такие характеристики эмоциональной реакции испытуемых, как интенсивность и знак. Построенное нами пространство соотносится с двухмерной моделью эмоционального опыта, полученной Расселом в 1980 г. на материале субъективных различий эмоций, представленных вербально (Аргайл, 2003). Признаки, интерпретируе-

предполагали найти соответствующие корреляты и в физиологической активности, в частности, в показателях спектра ЭЭГ.

Результаты психофизиологической серии

Основной акцент при анализе результатов делался на визуальном сравнении показателей мощности ЭЭГ и их пространственной динамике. Опираясь на литературные данные (Ильюченко, 1996; Костюнина, Куликов, 1995; Sutton, Davidson, 2000), мы сочли наиболее значимыми для анализа следующие отведения: в передней лобной области — F7, F3, F4, F8, а в теменно-затылочной — P3, P4, O1, O2. Дальнейший анализ проводился по усредненным значениям следующих групп электродов: левая лобная (F7, F3), правая лобная (F4, F8), левая затылочная (P3, O1), правая затылочная (P4, O2).

Лобная область. Анализ гистограмм спектральной мощности *тета-ритма* в лобных отведениях как слева, так и справа обнаружил у женской выборки: 1) различие между нейтральным состоянием, фоном, зарегистрированным перед началом стимуляции при открытых глазах, и ответами на стимулы, считаемые нами эмоциогенными; 2) большую мощность в ответ на +Э-стимулы. Справа выявлена еще более четкая тенденция к усилению *тета-ритма* на сильные +Э-стимулы и к его подавлению при сильной –Э-стимуляции. На мужской выборке последний эффект не проявляется столь же ярко. Только у одного испытуемого К. (рис. 3) *тета-ритм* явно усиливается (5–6 Гц) при +Э-стимуляции, а на –Э-стимулы реакция не столь сильна. Рассматривая спектры мощности в области *тета-ритма* для слайда «природа» в обеих (женской и мужской)

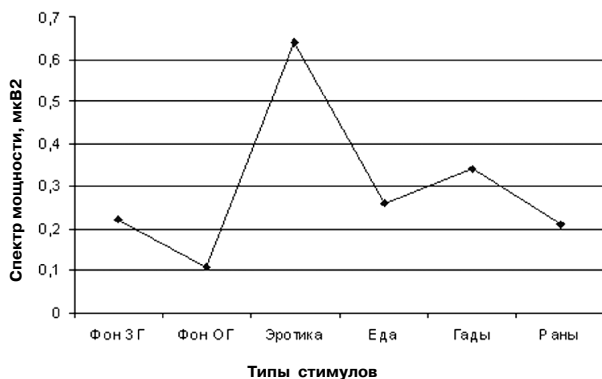


Рис. 3. Спектр мощности испытуемого К. (мужчина, 20 лет) в ответ на эмоциогенную стимуляцию. Лобное отведение F3. Полоса спектра 5–6 Гц. «Фон ЗГ» — усредненные данные фона, записанного с закрытыми глазами, до и после эксперимента. «Фон ОГ» — усредненные данные фона с открытыми глазами (черный экран), до и после эксперимента

выборках, мы пришли к выводу, что этот стимул нельзя отнести к нейтральным, тогда как серый цвет оказывается гораздо ближе к фоновым значениям спектра.

Мощность *альфа-ритма* в лобной области не столь четко отличается от фоновой мощности. И слева и справа его интенсивность меньше подавляется при $-Э$ -стимуляции. Различий спектра при разной интенсивности стимуляции нет. У женщин *бета-ритм* слева оказывается наиболее мощным при эротической стимуляции (в отведении F3 он даже превышает фоновые показатели), а остальные картинки вызывают достаточно равномерное его подавление по сравнению с фоном. Справа *бета-ритм* был самым мощным при демонстрации ран и эротики, эти картинки имели наибольшие значения по силе эмоционального впечатления. Таким образом, мощность *бета-ритма* отражает субъективную интенсивность эмоций. У мужчин в данной области спектра заметных отличий нет ни в зависимости от силы, ни в зависимости от знака эмоции. Таким образом, в лобной области наиболее чувствительным к эмоциональным изменениям оказался *тета-ритм*, в меньшей степени — *альфа-ритм*. *Бета-ритм* более дифференциален в зоне слабых эмоциональных реакций у женщин.

В **теменно-затылочной области** картина несколько иная. Слева ответ на эмоциональные стимулы, проявляющийся в данном случае в подавлении *тета-ритма*, у женщин несколько слабее, чем справа. Отмечена небольшая чувствительность к субъективной интенсивности эмоций как слева, так и справа. У мужчин наблюдалось усиление мощности спектра в области 6—8 Гц на эротические слайды. Депрессия *тета-ритма* соответствовала силе эмоциональ-

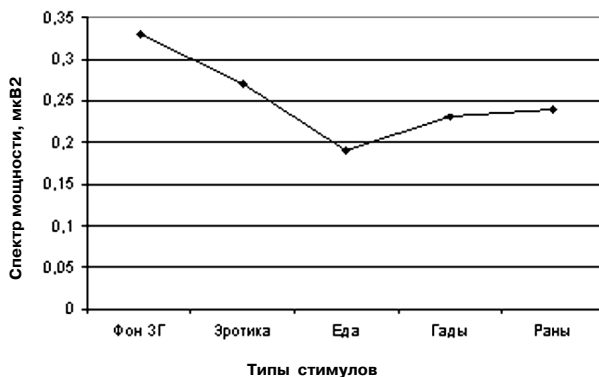


Рис. 4. Средняя мощность тета-ритма теменных отведений по мужской выборке. Отведение P3. Полоса спектра 6—8 Гц. «Фон ЗГ» — усредненные данные фона, записанного с закрытыми глазами, до и после эксперимента

ной реакции. Это особенно хорошо видно в нечетных отведениях (рис. 4). *Альфа-ритм* в теменных областях менее всего подавлялся при $-Э$ -стимуляции, справа — значительно сильнее, чем слева, хотя в теменных отведениях это не так заметно, как в затылочных. Таким образом, в динамике тета- и альфа-ритмики в теменных областях наиболее ярко проявляется асимметрия ответов на эмоциональную стимуляцию. Более сильно реагирует правая часть головного мозга. В затылочной области справа на сильную $-Э$ -стимуляцию *альфа-ритм* подавляется в большей степени, чем на $+Э$ -стимуляцию, как у женщин, так и у мужчин. *Бета-ритм* в затылочных областях с обеих сторон, так же как и в лобных, имеет наибольшую мощность при субъективно слабой стимуляции — как положительной, так и отрицательной.

Обсуждение. В данном исследовании всем испытуемым предъявлялись одинаковые стимулы, выбор которых не основывался на знании каких-либо значимых эпизодов личной жизни, связанных с сильными эмоциональными переживаниями. Поэтому мы предположили, что данные стимулы не вызовут у испытуемых аффективной реакции, и различия при их восприятии отразят различия в силе субъективной эмоциональной реакции.

Результаты психофизического эксперимента подтвердили это предположение. Действительно, оказалось, что, сравнивая эмоциональные впечатления от картинок разной тематики, испытуемые выделяют группы эмоциональных реакций, соответствующие темам изображений. Но важно помнить, что мы не можем исключить из оценок наших испытуемых когнитивный компонент. Во-первых, на момент проведения психофизической серии они уже были знакомы со стимуляцией из психофизиологического эксперимента. Во-вторых, не все могли принять инструкцию оценивать именно эмоциональное впечатление от картинок, а не сами картинки. Поэтому противоречивость полученных нами данных может быть результатом некорректно подобранной стимуляции.

В отдельных частотных полосах наблюдалась выраженная тенденция в динамике ЭЭГ-активности, отражающая субъективное ощущение силы эмоциональной реакции. Реакция на слайды «еда» (которые в психофизической серии были оценены как вызывающие наиболее сильные положительные эмоции) превосходит реакцию на «эротические» слайды, а среди негативных эмоций реакция на слайды «раны» (которые оценивались как наиболее интенсивные отрицательные) более выражена, чем на слайды «змеи».

При восприятии $+Э$ -слайдов в лобных долях обнаружено увеличение относительной мощности ЭЭГ в диапазоне 6—8 Гц. Эти данные явились для нас неожиданностью, так как тета-ритм сегодня связывают с работой структур миндалины и путей, обеспечивающих реакцию страха и отрицательные эмоции.

При восприятии –Э-слайдов в лобных долях наблюдалось увеличение относительной мощности ЭЭГ в диапазоне 8–12 Гц по сравнению с +Э-слайдами. Это согласуется с данными, полученными М.Н. Русаловой (1990) в исследованиях спектральных и когерентных характеристик ЭЭГ при выполнении испытуемыми различных заданий, связанных с эмоциональными переживаниями. Похожие результаты приводятся в работах зарубежных авторов (см., напр.: Ahern, Shwartz, 1985; Collet, Duclaux, 1987). Изменения этих показателей при возникновении эмоций выявлены в разных частотных диапазонах, но чаще всего в альфа-диапазоне. Как показано в ряде работ (Ahern, Shwartz, 1985; Davidson et al., 1986; Hinrichs, Machleidt, 1992), речь идет об ослаблении мощности альфа-ритма, что и было подтверждено в нашем эксперименте. Так, по отношению к слайдам, оцененным испытуемыми как +Э, выявлено снижение относительной мощности ЭЭГ в диапазоне 8–12 Гц по сравнению с предъявлением слайдов, оцененных как –Э.

Резюмируя результаты, можно отметить, что в целом динамика изменения корковой активности при восприятии эмоциональных изображений довольно сложна и неоднозначна. Тем не менее она находится в зависимости от субъективной эмоциональной окраски предъявляемого стимульного материала. Практически по всем изученным частотным диапазонам находятся те или иные области скальпа, в которых достаточно отчетливо выявляются различия в ответах как на знак, так и на интенсивность эмоциогенного воздействия.

Выводы. В исследовании обнаружена связь между субъективными различиями в оценке эмоциональных впечатлений от слайдов и изменениями электрической активности мозга.

1. В результате психофизического эксперимента выявлены субъективные различия эмоциональной реакции на предъявляемые зрительные стимулы. Данные различия соответствуют изначальному тематическому разделению слайдов. Построенное субъективное пространство стимулов в сочетании с интерпретацией признаков и данными прямой оценки позволяет выделить такие признаки стимуляции, как интенсивность и знак.

2. В результате психофизиологического эксперимента выяснено, что динамика показателей мощности ЭЭГ вполне соответствует выделенным субъективным различиям в эмоциональном впечатлении от слайдов и отражает эмоциональное состояние человека, вызванное различными типами визуальной стимуляции.

3. При восприятии эмоционально положительных слайдов обнаружено усиление относительной мощности ЭЭГ в диапазоне 6–8 Гц в лобных отведениях, а также подавление активности 8–12 Гц в затылочных и теменных.

4. В отдельных частотных полосах (бета-ритм) наблюдается выраженная тенденция в динамике ЭЭГ-активности, отражающая субъективное ощущение силы эмоционального реагирования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Аракелов Г.Г., Шотт Е.К. КГР при эмоциональных, ориентировочных и двигательных реакциях // Психол. журн. 1998. Т. 19. № 4.

Аргайл М. Психология счастья. СПб., 2003.

Ильюченко И.Р. Различия в частотных характеристиках ЭЭГ при восприятии положительно-эмоциональных, отрицательно-эмоциональных и нейтральных слов // Журн. ВНД им. И.П. Павлова. 1996. Т. 46. № 3.

Костюнина Н.Б., Куликов В.Г. Частотные характеристики спектров ЭЭГ при эмоциях // Журн. ВНД им. И.П. Павлова. 1995. Т. 40. № 3.

Лурия А.Р. Природа человеческих конфликтов. М., 2002.

Русалова М.Н. Отражение эмоционального напряжения в пространственной синхронизации биопотенциалов головного мозга человека // Журн. ВНД им. И.П. Павлова. 1990. Т. 34. № 2.

Симонов П.В. Эмоциональный мозг. М., 1981.

Терехина А.Ю. Многомерное шкалирование в психологии // Психол. журн. 1983. Т. 4. № 1.

Ahern G.L., Schwarts G.E. Differentia lateralization for positive and negative emotion in a human brain: EEG spectral analysis // Neuropsychol. 1985. Vol. 17. N 6.

Cacioppo J.T. Emotion Circuits in the Brain // Ann. Rev. of Neurosci. 2000. Vol. 23.

Cacioppo J.T., Gardner W.L. Emotion // Helsinki University of Technology. Annual Review. Psychology. 1999. Vol. 50.

Collet L., Duclaux R. Hemispheric Lateralization of emotions: Absence of electrophysiological arguments // Physiology and Behavior. 1987. Vol. 40.

Davidson R.J. Affective neuroscience and psychophysiology: Toward a synthesis // Psychophysiol. 2003. Vol. 40.

Davidson R.J., Schaffer C.E., Soron C. Effects of lateralized presentation of faces on self-reports of emotion and EEG asymmetry in depressed and non-depressed subjects // Psychophysiol. 1986. Vol. 22. N 3.

Hinrichs H., Machleidt W. Basic emotions reflected in EEG-coherences // Intern. J. of Psychophysiol. 1992. Vol. 3.

Osgood S.E. Dimensionality of the semantic space of communication via facial expression // Scand. J. of Psychology. 1996. Vol. 7.

Sutton S.K., Davidson R.J. Prefrontal brain electrical asymmetry predicts the evaluation of affective stimuli // Neuropsychol. 2000. Vol. 38.

Поступила в редакцию
17.03.06