

А. И. Назаров <https://orcid.org/0000-0002-5844-0688>

**Объективный метод в психологии:
использование интегрального показателя электрической активности**

В статье изложены некоторые результаты экспериментов, в которых при выполнении испытуемыми различных действий регистрировался кожный потенциал (КП) в диапазоне частот от 0.05 до 300 Гц. На примере регистрации миограммы и локальной энцефалограммы (ЭЭГ) показано, что КП может локализоваться не только на месте наложения отводящих электродов, но и на других участках кожного покрова, практически не отличаясь при этом от КП околоэлектродного участка. Коэффициент корреляции между двумя КП, отводимыми от контралатеральных рук, или между КП правой руки и локальной ЭЭГ (Fp1) находился в диапазоне от 0.40 (в редких случаях) до 0.95 (в большинстве случаев). Такое распределение суммарной электрической активности по коже объясняется ее собственной электропроводностью, а также ее электрическим контактом с внутренней влажной средой организма. Отсюда возникла идея использовать КП как интегральный показатель электрических процессов, сопровождающих деятельность человека в разных условиях. Путем специальной обработки одного или двух КП было получено несколько производных показателей, в которых по-разному отражалась поведенческая динамика во времени: низкочастотная (до 1 Гц) и высокочастотная (до 300 Гц) компоненты КП, среднеквадратичная амплитуда КП, медианная и средняя частоты КП, интервалограмма сердечных сокращений, средний показатель вегетативной регуляции сердечного ритма. Эти показатели, получаемые при наложении на кожу всего 3-4-х электродов (в том числе референтного), входят в состав основных характеристик функциональных состояний человека при выполнении им деятельности разных видов. Обсуждаются некоторые методологические аспекты интерпретации свойств электрокожной активности.

Ключевые слова: кожно-гальваническая реакция, кожный потенциал, миограмма, энцефалограмма, частотно-временной анализ, спектральный анализ, цифровая обработка сигналов.

A. I. Nazarov

Objective method in psychology: use of integral indicator of electrical activity

Some results of experiments are presented in which, when subjects performed various actions, skin potential (SP) was recorded in the frequency range from 0.05 to 300 Hz. Using the example of recording the myogram and local encephalogram (EEG), it was shown that the SP can be localized not only at the place of the recording electrodes, but also on other parts of the skin, while remaining virtually unchanged from the SP near the electrode. The correlation coefficient between two SPs recorded from the contralateral arms, or between the SP of the right hand and the local EEG (Fp1) ranged from 0.40 (in rare cases) to 0.95 (in most cases). This distribution of total electrical activity over the skin is due to its own electrical conductivity, as well as its electrical contact with the internal moist environment of the body. Hence the idea to use SP as an integral indicator of electrical processes that accompany human activity in different conditions. By special processing of one or two SPs, several derived indicators were obtained, in which behavioral dynamics over time were reflected in different ways: low-frequency (up to 1 Hz) and high-frequency (up to 300 Hz) components of SP, rms amplitude of SP, median and average frequencies of SP, heart rate, the average rate of vegetative regulation of heart rhythm. These indicators, obtained by applying only 3-4 electrodes (including reference electrode) to the skin, are part of the basic characteristics of the functional states of a person when they perform activities of various types. Some methodological aspects of the interpretation of the properties of electro-dermal activity are discussed.

Keywords: galvanic skin response, skin potential, myogram, encephalogram, time-frequency analysis, spectral analysis, digital signal processing.

Тема «живого электричества», зародившаяся несколько веков назад, со временем разветвилась на ряд направлений, каждое из которых развивалось и продолжает развиваться независимо от других, – электрические процессы в нервных клетках и проводящих волокнах, кожно-гальванические реакции (КГР), миография (ЭМГ), энцефалография (ЭЭГ), электрокардиография

(ЭКГ). Основаниями для такого стихийного разграничения послужили три объективных обстоятельства: 1) различные характер и, как полагали некоторые авторитетные ученые, природа электрической активности в этих «доменах»; 2) разные и весьма далекие друг от друга их частотные диапазоны; 3) создание узкоспециализированных устройств для регистрации только определенного вида биопотенциалов. Для нервных волокон характерна передача электрических сигналов в виде последовательности коротких импульсов и рефрактерных пауз между ними; КГР – это медленные изменения электрической активности на поверхности кожи (фазические компоненты) на фоне еще более медленной, а иногда и практически постоянной тонической составляющей; ЭМГ (при ее регистрации с поверхности кожи) – это быстрые квазигармонические колебания суммарного электрического потенциала, возникающие при активации нескольких мышечных волокон; ЭЭГ – это также квазигармонические колебания электрических потенциалов, регистрируемых на различных участках скальпа и отражающих, как принято считать, активность различных участков мозга [1]. Частота импульсов в нервных волокнах – в среднем от 5 до 200 Гц; при регистрации КГР частотный диапазон находится в пределах 0.05-2 Гц; диапазон ЭКГ – от 1 до 30 Гц; для ритмов ЭЭГ это уже другой диапазон – от 2 до 70 Гц (иногда до 120 Гц); а для ЭМГ он еще более широкий – от 10 до 400 Гц.

Однако, несмотря на эти различия, у последних четырех показателей электрической активности есть одно общее обстоятельство: они регистрируются с *кожной поверхности* (человека или какого-либо животного). Этот общий фактор – настолько само собой разумеющийся и очевидный, что исследователи не обращали на него никакого внимания. К тому же разобщенность научных знаний, относящихся к различным областям науки, и прогрессирующая ее дифференциация, даже в одной и той же области, господствующее положение «теории» локализации психических функций способствовали образованию непроницаемых границ между методиками КГР, ЭМГ и ЭЭГ, хотя очень часто они применялись для исследования одних и тех же психических явлений – восприятия, внимания, памяти, мышления, эмоций. Конечно, каждая методика привносила свои детали в общую картину исследуемого явления, но сосредоточенность на этих деталях мешала увидеть общее: непосредственным источником информации во всех трех случаях является кожная поверхность

как то, что объединяет различные части тела и его внутренние органы. И это объединение не только механическое, но и, что более важно, – электрическое.

Электрическая активность свойственна всем органам, в каждом из которых она специфична в зависимости от выполняемых этими органами функций. Она создается взаимодействием множества положительных и отрицательных зарядов в биологических тканях и окружающих их электромагнитных полях. И все это происходит во влажной среде нашего организма, которая по определению является электропроводной. Получается, что кожный покров, сам по себе содержащий немалое количество влаги, посредством влажной среды одновременно «подключен» ко множеству внутренних источников электричества, которое можно регистрировать на любом участке кожной поверхности в виде *суммарного* кожного потенциала. В силу упомянутых выше причин произошло разделение суммы на ее слагаемые, каждому из которых было присвоено свое название (см. выше) с молчаливым признанием того, что та или иная электрическая активность, регистрируемая на данном участке, однозначно связана с находящейся под ним анатомической структурой. Максимальное выражение эта общепризнанная «аксиома» получила в технике энцефалографии, где с помощью электродной шапочки отводятся биопотенциалы с десятков точек поверхности скальпа.

Нельзя не признать существования многочисленных эмпирических подтверждений этой аксиомы. С другой стороны, недавно мы обнаружили факты, которые заставляют поставить перед ней ряд вопросов, ответы на которые можно получить, только если признать наличие общего фактора, лежащего в основе различных проявлений электрокожной активности. Эти факты были получены с применением методов цифровой обработки сигналов, регистрируемых в диапазоне частот от 0.05 до 300 Гц. Он охватывает все перечисленные выше поддиапазоны. Используемая нами методика регистрации и обработки биопотенциалов подробно описана [5]. Перед рассмотрением упомянутых фактов остановимся на вопросе о соотношении двух традиционных показателей электрокожной активности – КГР и кожного потенциала (КП).

КГР регистрируется при пропускании через подэлектродные участки кожи слабого электрического тока от внешнего источника (метод Ч. Ферé), тогда как при регистрации КП ток не применяется (метод И. Тарханова). В обоих слу-

чаях верхняя частота этих биопотенциалов не превышает 2 Гц. Насколько оправданно такое ограничение?

Чтобы ответить на этот вопрос, было решено расширить полосу пропускания регистрируемых частот КП до 300 Гц. КП регистрировался по методу И. Тарханова; монополярное отведение производилось от верхнего участка кисти левой руки, расположенного между указательным и большим пальцами. Одновременно регистрировалась КГР по методу Ч. Ферé при стандартном отведении от указательного и среднего пальцев той же руки. После цифровой обработки записей заграждающим фильтром 50 Гц и высокочастотным фильтром 300 Гц были получены три кривые – традиционная КГР (фильтр 1 Гц) и два варианта КП: один в его высокочастотном диапазоне (КПвч, фильтр 300 Гц), другой – в обычном низкочастотном (КПнч), который был получен путем применения фильтра 1 Гц к КПвч [4]. Оказалось, что КПнч практически не отличается от обычной КГР. То есть оба эти параметра являются результатом искусственного ограничения естественной электро-кожной активности предельной частотой 1 (иногда 2) Гц. Кроме синфазной синхронизации КГР и КПнч, возможны другие варианты – противофазный и смешанный [5]. Но и к ним применим предыдущий вывод об искусственности ограничения частотного диапазона. Кстати, это ограничение возникло в самом начале истории КГР (середина XIX в.) в силу чисто технических обстоятельств, не позволявших регистрировать и наблюдать относительно высокочастотные процессы. А когда такая возможность появилась (приблизительно через столетие), сработало ставшее привычным представление о КГР как о медленном (низкочастотном) изменении ее тонической и фазической составляющих. В контексте такого представления высокочастотные компоненты не представляли интереса и рассматривались как нежелательный шум. В науке любая парадигма [2, с. 67-76] со временем теряет и в конце концов утрачивает свой прогрессивный потенциал, в частности, по чисто психологической причине – следования ученого традиции, установившейся в данной области исследования.

О КПвч речь пойдет ниже. Рассмотрим некоторые факты против общепринятого представления о природе КГР и свойствах КП.

Испытуемый в состоянии полного покоя сидел на стуле, положив левую руку на поверхность стола. Его правая рука была полусогнута и ни на что не опиралась. По команде экспериментатора

испытуемый несколько раз произвольно напрягал двуглавую мышцу (бицепс) правой руки. Биполярные отведения сигналов от этой мышцы подавались на входы одного из биоусилителей. На вход другого усилителя подавался суммарный КП, который снимался монополярно с подушечки среднего пальца левой руки. Референтный электрод закреплялся на запястье правой руки и соединялся с общей «землей» двух усилителей. Полоса частот, пропускаемых обоими усилителями, составляла 0.05-300 Гц. Регистрация и обработка выходных сигналов усилителей производилась на устройстве Е-440 (www.lcard.ru), управляемом программой PowerGraph (www.powergraph.ru).

Синхронно с напряжением бицепса *правой* руки увеличивается амплитуда КП в указанной области пассивной *левой* руки, причем паттерн КП очень похож на паттерн миограммы.

Факт распространения электрических импульсов с активного участка тела (бицепса правой руки) на пассивный (палец левой руки) подтверждался на многих (без исключения) испытуемых. Электрическим проводником в данном случае, вероятнее всего, является кожа. Если это так (а другой альтернативы пока не предвидится), это означает, что на отдельном участке поверхности кожи может отражаться электрическая активность не только тех анатомических структур, которые находятся под ней или вблизи нее (например, бицепс), но и тех, которые удалены от нее на значительные расстояния (например, палец противоположной руки). Это было подтверждено нами на других примерах сочетания разноудаленных участков кожи [4].

Что представляет собой высокочастотная компонента суммарного КП? В поисках ответа на этот вопрос и учитывая рассмотренный выше факт распространения КП на различные участки кожи, была проведена одновременная регистрация КП и локальной ЭЭГ в диапазоне 1-45 Гц (до недавнего времени 45 Гц считались верхней границей ЭЭГ. Сейчас эта граница расширилась в сторону более высоких частот – до 120 Гц. Как будет ясно из дальнейшего, и это не предел). КП отводился от левого предплечья в районе лучевого сгибателя запястья, а локальная ЭЭГ – от точки Fp1 в стандартной системе отведений 10-20 (2-3 см выше наружного края левой брови). Оба отведения были монополярными. Референтный электрод размещался на левом мастоиде испытуемого. (У некоторых испытуемых на локальной ЭЭГ присутствовали также систолические импульсы кардиограммы. В этом случае для их изоляции нужно

было подбирать другое место размещения референтного электрода). После регистрации сигналы КП и ЭЭГ обрабатывались одним и тем же алгоритмом, в который входила, в частности, операция фильтрации частоты 50 Гц и пяти ее гармоник (100, 150, 200, 250, 300 Гц).

С помощью полосовых фильтров (раньше – аналоговых, с недавнего времени – цифровых) в суммарном сигнале ЭЭГ обычно выделяют 5 основных ритмов, каждый из которых связан с определенным частотным диапазоном и имеет свое название [1]. Таким же способом был обработан суммарный КП, который регистрировался одновременно с ЭЭГ. Рассматривая результат обработки обоих суммарных сигналов, можно говорить как об общем сходстве между одноименными ритмами, так и о небольших различиях между их амплитудами. Для разных испытуемых коэффициент корреляции (по Пирсону) суммарных ЭЭГ/КП находился в интервале от 0.40 до 0.95, что само по себе представляет интерес для отдельного исследования.

Таким образом, можно считать, что КГР, КП, ЭМГ и ЭЭГ – это результаты разных способов регистрации *суммарной* электрической активности и ее последующей обработки. Благодаря влажности внутренней среды организма множество электрических сигналов, возникающих в разных его частях, не только передаются по своим нервным путям, но и объединяются в единый пул, который распределен по всему организму и проявляется на поверхности кожи в виде спектра разных частот и амплитуд. Действительно, если регистрировать кожные потенциалы, не ограничивая их частоту искусственно с помощью фильтров, то и на скальпе, и на мышцах, вообще на любом участке кожной поверхности можно получить спектр с широким диапазоном частот.

Регистрируя частотные спектры кожных потенциалов, мы обнаружили их индивидуальную изменчивость и чувствительность к разному содержанию действий, выполняемых человеком; но эта тема выходит за рамки данной статьи. Остановимся еще на одном моменте, который связан с непрерывностью частотного диапазона КП.

Спектр мощности вычисляется по формуле V^2/f , где V – амплитуда сигнала (в вольтах), f – частота этого сигнала (в Гц). Другими словами, он показывает степень выраженности амплитуды индивидуальной частоты на всем диапазоне частот. Хотя в целом ряде случаев (особенно в клинике) это очень важный показатель, в нем не отражена не менее важная информация о его временной *ди-*

намике. Этот недостаток невозможно игнорировать, когда человек не просто отвечает на одиночный стимул, а выполняет развернутую во времени деятельность (решает ту или иную задачу, слушает музыку, смотрит кинофильм, исполняет спортивное упражнение и т. п.). Здесь очень перспективным представляется метод частотно-временного анализа, при котором средняя (или медианная) частота, измеряемая на коротком временном интервале, является функцией от времени протекания всего регистрируемого процесса, каким бы продолжительным он ни был. Есть отдельные примеры применения этого метода в клинической энцефалографии [6] и миографии [3], что, кстати, указывает на хорошую осведомленность и компетентность авторов в вопросах математики и цифровой обработки сигналов. Насколько пригоден частотно-временной анализ для исследований в условиях психологической нормы?

В наших поисках ответа на этот вопрос были обнаружены дополнительные возможности использования кожного потенциала в качестве интегрального показателя функционирования отдельных составляющих целостной деятельности человека. Оказалось, что, регистрируя КП с помощью всего трех электродов (один референтный и два активных) и обрабатывая (в онлайн- или офлайн-режиме) данные соответствующим алгоритмом, можно извлекать информацию, для получения которой обычно применяется несколько разных методик – КГР, ЭМГ, ЭКГ, ЭЭГ – и, соответственно, разных приборов со своим программным обеспечением.

Например, испытуемые слушали 7 музыкальных мелодий разных стилей, нажимая во время прослушивания кнопки «нравится» или «не нравится». Регистрировались два КП: один (основной) – с предплечья левой руки, другой (дополнительный) – с предплечья правой руки. Референтный электрод находился в чашке Петри с водой, в которую испытуемый окунал средний палец левой руки, не касаясь электрода (Контакт испытуемого с референтным электродом через воду обеспечивает малое сопротивление перехода «кожа – электрод» без дополнительной обработки соответствующего участка кожи и, как следствие, хорошее «заземление» испытуемого. Недавно водный контакт стали применять и в энцефалографии, используя электродные капсулы, заполненные водой (см. www.biopac.com).

Регистрация и оффлайновая обработка сигналов производились в системе MP-150 под управ-

лением программы AcqKnowledge 4.4 (www.biopac.com). Показатель динамики сердечного ритма (частота сердечных сокращений – ЧСС) был получен путем обработки записи дополнительного КП, содержащей систолические кардиоимпульсы. Наша кардиограмма практически не отличалась от получаемой с помощью трех стандартных отведений (RLF) по схеме треугольника Эйнтховена. На основе дополнительного КП вычислялся также средний (для данной мелодии) показатель вегетативной регуляции, представляющий собой отношение доли симпатического интервала (С) сердечного цикла к парасимпатическому (П), то есть С/П. Как известно, симпатическая регуляция связана с возбуждением органа, парасимпатическая – с торможением.

Перечисленные показатели являются качественно разнородными штрихами к общему портрету индивидуального восприятия предъявленных мелодий, который объективно проявляется в амплитудных всплесках КПнч, быстрых и медленных изменениях мышечного тонуса в виде колебаний RMS, в изменениях сердечного ритма, высокочастотной динамики КП и баланса вегетативной регуляции. Такая многомерность индивидуального портрета требует иных способов его репрезентации, по сравнению с теми, что предлагает нам современная статистика. Равным образом малоприменимой оказывается анализ суммарного сигнала по его составляющим – частотным полосам (например, ритмы ЭЭГ). При этом смена частот во времени происходит довольно быстро, тогда как при репрезентации его в виде частотных полос создавалось бы впечатление, что эти полосы (альфа, бета и т. д.) остаются неизменными, а меняется только амплитуда сигнала. На самом деле меняются и амплитуда, и частота, причем здесь нет значимой корреляции: одной и той же частоте могут соответствовать разные амплитуды, и наоборот.

Частотно-амплитудная репрезентация динамики КП позволяет наглядно увидеть различный ее характер как для разных мелодий, так и для разных испытуемых. Эти различия можно оценить количественно, вычислив по известной формуле площадь (S) аппроксимирующего эллипса: $S = \pi(ab)$, где a и b – величины полуосей эллипса.

Выводы

Традиционные виды электрических явлений в живых организмах – КГР, ЭМГ, ЭЭГ и ЭКГ – можно рассматривать как результаты искусственного ограничения частотного диапазона суммар-

ной электрической активности организма, возникающей в разных его частях.

Эта электрическая активность распределена по всему телу и может быть зарегистрирована в любой точке кожной поверхности в виде суммарного кожного потенциала (СКП) в диапазоне 0.05-300 Гц.

Корреляция между СКП, снятым, например, с кончика пальца руки, и ЭМГ (той же или другой руки) или локальной ЭЭГ (например, снимаемой в точке Fp1) находится в диапазоне от 0.40 до 0.95, причем более высокие ее показатели встречаются чаще.

При одновременной регистрации двух СКП, снимаемых с контралатеральных участков кожи, в результате обработки их соответствующими алгоритмами можно получить 5 производных показателей, которые в совокупности образуют портрет (профиль) динамики кожного потенциала, специфичный для данного субъекта, выполняющего конкретную деятельность. К таким показателям относятся низкочастотная компонента кожного потенциала (КПнч – аналог КГР), среднеквадратичная амплитуда высокочастотной компоненты КП (RMS – аналог мышечного тонуса), частота КП (как функция от времени), частота сердечных сокращений, индекс вегетативной регуляции сердечной динамики.

Обсуждение

Эксперименты с живым электричеством вначале проводились на препаратах *isole*. Здесь у занимавшихся этим ученых сложилась естественная внутренняя установка: электрический процесс протекает в препарате, к которому приложены отводящие электроды. Когда Ханс Бергер в 1924 г., вводя игольчатые электроды под кожу черепа своих детей, зарегистрировал энцефалограмму, он, скорее всего, тоже полагал, что регистрирует биоэлектрическую активность именно мозга, то есть того органа, к которому приложены электроды. Это мнение разделялось и теми учеными, которые впоследствии регистрировали ЭЭГ с поверхности кожи на скальпе уже без игольчатых электродов. Аналогичная ситуация была и в электромиографии: считалось, что регистрировалась активность той мышцы, которая расположена под отводящими накожными электродами. Против этого ставшего общепринятым мнения, подкрепляемого довольно устойчивой для критики теорией мозговой локализации психических функций, трудно возразить, настолько оно самоочевидно. Но есть другой очевидный факт – электропроводность кожи, под которой находится влажная внутренняя среда.

Учитывая его, следует заключить, что любой участок кожи электрически связан со множеством других ее участков и поэтому регистрируемый на нем кожный потенциал отражает суммарную электрическую активность всего организма, а не только тех образований, которые расположены под отводящими электродами. Это было подтверждено в ряде наших экспериментов, в которых участвовали многие студенты разных курсов университета «Дубна». В данной статье приведены лишь некоторые примеры. Они не согласуются с привычным убеждением, что регистрируется активность только того органа, который находится под электродами. Но факты – упрямая вещь.

Следует, однако, отметить, что распространение электрической активности по коже имеет определенные ограничения. Например, нами было установлено, что в суммарном кожном потенциале, отводимом от левой или правой руки, не отражаются моргания и движения глаз, которые в виде артефактов регистрируются на ЭЭГ, хотя последняя высоко коррелирует с высокочастотной компонентой КП. По-видимому, предстоит создать своего рода карты изолиний электрической активности для разных (скорее всего немногочисленных) участков кожной поверхности.

Регистрация кожного потенциала в широком диапазоне частот позволяет без применения нескольких узкоспециализированных устройств получить интегральную картину осознаваемых и неосознаваемых компонентов активности индивида при выполнении им разных видов деятельности – двигательной, перцептивной, умственной. Но это еще кажущаяся интегральность, поскольку она существует пока в виде отдельных показателей, имеющих к тому же разную размерность. Истинная интегральность должна быть представлена в виде некоторого гештальта, не сводимого к образующим его частям. Его создание – дело будущего. Скорее всего, это будут индивидуальные или типовые гештальты, поскольку в моделях сложных видов деятельности человека, как правило, изменчивых и процессуально непредсказуемых, едва ли можно обнаружить что-то статистически достоверное и всеобщее. Время покажет.

Библиографический список

1. Герасимова, Е. В., Хазипов, Р. Н., Ситдикова, Г. Ф. Физиология нервной системы [Текст]: учебно-методическое пособие / Е. В. Герасимова, Р. Н. Хазипов, Г. Ф. Ситдикова. – Казань: Казанский университет, 2012. – 43 с.
2. Кун, Т. Структура научных революций [Текст] / Т. Кун. – М.: Прогресс, 1975. – 264 с.
3. Меженная, М. М., Осипов, А. Н., Ильясевич, И. А., Давыдова, Н. С., Давыдов, М. В., Кульчицкий, В. А. Метод частотно-временного анализа суммарной электромиограммы в оценке функционального состояния нервно-мышечного аппарата человека [Текст] / М. М. Меженная, А. Н. Осипов, И. А. Ильясевич, Н. С. Давыдова, М. В. Давыдов, В. А. Кульчицкий // Проблемы физики, математики и техники. – 2012. – № 1 (10). – С. 104-112.
4. Назаров, А. И. О чем еще могут рассказать электро-кожные потенциалы? [Текст] / А. И. Назаров // Экспериментальные тетради (2010-2017 гг.). – Lambert Academic Publishing, Beau Bassin, Mauritius, 2017. – С. 319-336.
5. Назаров, А. И. Сравнение частотных компонент ЭЭГ и кожного потенциала (количественный анализ) [Текст] / А. И. Назаров // Экспериментальная психология. – 2018. – Т. 11. – № 2. – С. 95-109.
6. Akay, M. Time-frequency representations of signals. Detection and estimation methods for biomedical signals / M. Akay. San Diego: Academic Press. – 1996.

Reference List

1. Gerasimova, E. V., Hazipov, R. N., Sitdikova, G. F. Fiziologija nervnoj sistemy = Physiology of nervous system [Tekst]: uchebno-metodicheskoe posobie / E. V. Gerasimova, R. N. Hazipov, G. F. Sitdikova. – Kazan': Kazanskij universitet, 2012. – 43 s.
2. Kun, T. Struktura nauchnyh revoljucij = Structure of scientific revolutions [Tekst] / T. Kun. – M.: Progress, 1975. – 264 s.
3. Mezhennaja, M. M., Osipov, A. N., Il'jasevich, I. A., Davydova, N. S., Davydov, M. V., Kul'chickij, V. A. Metod chastotno-vremennogo analiza summarnoj jelektromiogrammy v ocenke funkcional'nogo sostojanija nervno-myshechnogo apparata cheloveka = Method of frequency-time analysis of total electromyogram in assessment of functional state of human neuromuscular apparatus [Tekst] / M. M. Mezhennaja, A. N. Osipov, I. A. Il'jasevich, N. S. Davydova, M. V. Davydov, V. A. Kul'chickij // Problemy fiziki, matematiki i tehniki. – 2012. – № 1 (10). – S. 104-112.
4. Nazarov A. I. O chem eshhe mogut rasskazat' jelektro-kozhnye potencialy? What else can electro-skin potentials tell us? [Tekst] / A. I. Nazarov (Red.) Jeksperimental'nye tetradi (2010-2017 gg.). – Lambert Academic Publishing, Beau Bassin, Mauritius, 2017. – S. 319-336.
5. Nazarov A. I. Sravnenie chastotnyh komponent JeJeG i kozhnogo potenciala (kolichestvennyj analiz) = Comparison of frequency components of electrocortigraphy and skin potential (quantitative analysis) [Tekst] / A. I. Nazarov // Jeksperimental'naja psihologija. – 2018. – T. 11. – № 2. – S. 95-109.
6. Akay, M. Time-frequency representations of signals. Detection and estimation methods for biomedical signals / M. Akay. San Diego: Academic Press. – 1996.