

## Метод мониторинга психофизиологических показателей человека для определения степени чувствительности к внешним факторам

Зенченко Т.А.<sup>1,2</sup>, Хорсева Н.И.<sup>1</sup>, Григал П.П.<sup>3</sup>, Мёрзлый А.М.<sup>1,4</sup>, Цандеков П.А.<sup>5</sup>, Григорьев П.Е.<sup>6</sup>, Подзюева З.<sup>5</sup>, Бреус Т.К.<sup>1</sup>, Стоилова И.<sup>7</sup>, Димитрова С.<sup>7</sup>, Йорданова М.<sup>7</sup>

<sup>1</sup>Институт космических исследований РАН, Москва, zench@mail.ru

<sup>2</sup>Институт теоретической и экспериментальной биофизики РАН, г. Пуцино Московской обл;

<sup>3</sup>Московский физико-технический институт, г. Долгопрудный Московской обл.

<sup>4</sup>Геофизический центр РАН, г. Москва;

<sup>5</sup>Крымский индустриально-педагогический университет, Симферополь, Украина;

<sup>6</sup>Таврический гуманитарно-экологический институт, Симферополь, Украина;

<sup>7</sup>Институт солнечно-земных воздействий БАН, г. София.

### Введение

Существует множество работ, в которых показана зависимость психофизиологических показателей здоровых людей от уровня геомагнитной активности. В периоды магнитных бурь увеличивается время двигательной реакции на звуковой и световой сигналы (слухо-моторная и зрительно-моторная реакция), снижаются показатели внимания, кратковременной и долговременной памяти, повышается утомляемость [1-6]. Ухудшение перечисленных показателей является опасным для водителей автотранспорта, но в еще большей степени для людей, функциональные обязанности которых связаны с постоянным напряжением внимания и высокой социальной ответственностью – машинистов метро и поездов, пилотов самолетов, авиадиспетчеров, операторов атомных станций.

В то же время знания общих закономерностей в данном случае недостаточны. В момент начала магнитной бури необходим прогноз вероятного изменения психофизиологических и физиологических показателей индивидуально для каждого пилота или машиниста, в данный момент вышедшего в рейс или на смену. Необходимо оценить не только вероятность, но и возможную амплитуду, и время развития реакции организма, а главное – обусловленную этими изменениями степень снижения безопасности выполняемой деятельности.

Выполнить обоснованный прогноз такого рода на основе среднепопуляционных исследований невозможно, тем более что в разных работах сообщается о достоверных, но разнонаправленных изменениях различных психофизических характеристик под действием геомагнитных возмущений. Ответ на вопрос о характере индивидуальной реакции конкретного организма на действие внешних факторов возможен только на основании анализа динамики достаточно длинных временных рядов психофизиологических и физиологических показателей отдельных индивидуумов с оценкой степени связи между ними и с внешними факторами.

Данная работа являлась частью большого комплексного исследования, проводимого совместно сотрудниками научных институтов Москвы, Софии и Симферополя, с целью выяснения основных

закономерностей распределения в популяции людей с чувствительностью к действию факторов обычной и космической погоды.

Ранее нами была разработана методика мониторинга и оценки физиологических показателей человека для оценки степени индивидуальной чувствительности к действию факторов обычной и космической погоды [7, 8]. Цель данной работы состояла в разработке и тестировании методики мониторинга и последующего анализа психофизиологических показателей с точки зрения их чувствительности к внешним факторам.

В первую очередь необходимо было определить перечень показателей организма, важных с точки зрения функций конкретного оператора: пилота самолета, машиниста железнодорожного транспорта, водителей автотранспорта, операторов слежения за атомными станциями, операторов радиолокационных станций, диспетчеров и т.д. Среди психофизиологических показателей, для которых была обнаружена чувствительность к действию ГМА, можно выделить следующие показатели:

- простую и сложную зрительно-моторную реакцию;
- реакцию на движущийся объект;
- простую слухо-моторную реакцию;
- устойчивость внимания.

Все перечисленные параметры имеют профессионально разработанные стандарты для однократной диагностики пациента на специальном оборудовании, которое должно удовлетворять жестким стандартам на яркость лампочек, частоту и громкость звука и т.д.

В то же время необходимость приобретения такого (весьма дорогостоящего) оборудования не позволяла развернуть длительный мониторинг психофизиологических показателей в необходимых масштабах – нескольких географических пунктах и на достаточно большом количестве волонтеров.

Однако необходимо отметить, что профессионально разработанные и утвержденные стандарты измерительного оборудования, необходимые для определения абсолютных показателей скоростей реакции, устойчивости и переключаемости внимания, латеральных предпочтений и т.д., не являются строго обязательными в случае решения задачи мониторинга. В последнем случае важны не абсолютные значения, а величины

относительных ежедневных вариаций. Поэтому авторами был создан и протестирован комплекс программ регистрации психофизиологических показателей, что позволило проводить указанный мониторинг на компьютере без потери качества измерений.

В рамках данной работы были разработаны методики мониторинга двух психофизиологических показателей, наиболее важных, с нашей точки зрения, для выполнения операторских функций – скорости простой слухомоторной реакции (ПСМР) и показателя устойчивости произвольного внимания (ППВ).

### Метод исследования и некоторые заранее полученные результаты

**Регистрация ПСМР.** Программа «Beep-test», разработанная одним из авторов для регистрации ПСМР, была реализована в виде диалогового окна, в котором испытуемому необходимо было ввести имя файла для записи данных, количество предъявлений сигнала, и дать команду начала измерений. Количество предъявлений было выбрано равным 20-ти как компромисс между повышением надежности результата за счет большего количества измерений и небольшим временем прохождения теста, которое еще не приводит к утомлению волонтера и рассеиванию его внимания. Важным требованием стабильности работы теста было установление максимально возможной громкости сигнала компьютера. После каждой подачи звукового сигнала программа регистрировала время задержки ответного нажатия клавиши. Было предложено два варианта постановки эксперимента – в первом из них испытуемый сам выбирал, какой рукой нажимать клавишу после подачи сигнала, во втором волонтеру предлагалось выполнить тест сначала одной рукой, затем второй.

При обработке результатов данного теста был применен дополнительный фильтр: если среди 20-ти результатов измерений в данный день содержалось единственное аномально большое значение времени реакции (более 500 мс), то это значение исключали из

ряда данных, предполагая, что оно было вызвано случайными причинами. В случаях, когда «выбросов» было более одного, такие значения учитывались наравне со всеми остальными. Таким образом, чем больше значение показателя ПСМР, тем хуже реакция.

В рамках тестирования метода регистрации ПСМР были проведены следующие эксперименты:

- «синхронное» (т.е. последовательное с интервалом в 2-3 минуты) прохождение теста ПСМР на компьютерах с различными операционными системами (опыт) и на специализированном оборудовании для психофизиологической диагностики «Автоматизированное рабочее место психофизиолога» (далее АРМ), разработанного ПФД г. Смоленска (контроль). Количество тестовых экспериментов – от 40 до 350 (ежедневно в течение года). Тесты проведены волонтером А (женщина, 52 года, г. Москва).
- «синхронное» выполнение теста при нажатии клавиши ответа сначала одной, а затем другой рукой (40-60 экспериментов, 12 волонтеров, г. София).

Тестирование программы Beep-test на нескольких видах компьютеров и операционных системах Windows XP и Windows Vista показало, что существуют различия в особенностях регистрации времени задержки ответа на звуковой сигнал. Так, для системы Windows XP значения оказывались дискретными, с шагом в 16 мс (рис 1А). При прохождении теста на компьютере с системой Windows Vista этот недостаток отсутствовал. В то же время при анализе распределений значений ПСМР, полученных в результате усреднений по 20-ти предъявлениям (как это было реализовано в эксперименте), было получено сплошное распределение выборочных значений не только для Windows Vista, но и для Windows XP (рис 1Б). Таким образом, при условии вычисления значения ПСМР как среднего по 20-ти предъявлениям, реализация теста даже на Windows XP обеспечивает удовлетворительную точность регистрации.

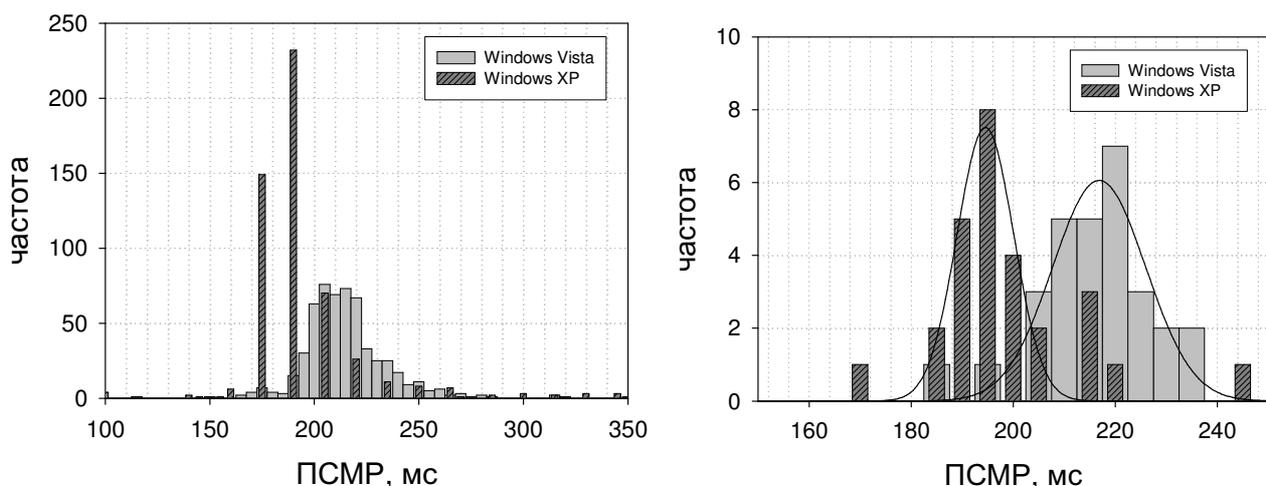


Рис.1. Распределения значений времени задержки в миллисекундах при прохождении теста волонтером А на двух компьютерах с разными операционными системами. (А) при однократном предъявлении звукового сигнала, (Б) среднее значение ПСМР при полном прохождении теста (20 предъявлений)

Для оценки систематической ошибки, обусловленной оборудованием, тест ПСМР был многократно выполнен волонтером А на разных компьютерах и ноутбуках, а также на АРМ (рис 2). Сравнение результатов показало, что абсолютные значения ПСМР могут достоверно

конкретное измерение, с последующей коррекцией полученных значений на «мертвое время» прибора. Как было сказано выше, в ряде случаев постановка эксперимента предполагала прохождение теста ПСМР при нажатии клавиши ответа сначала одной, а затем

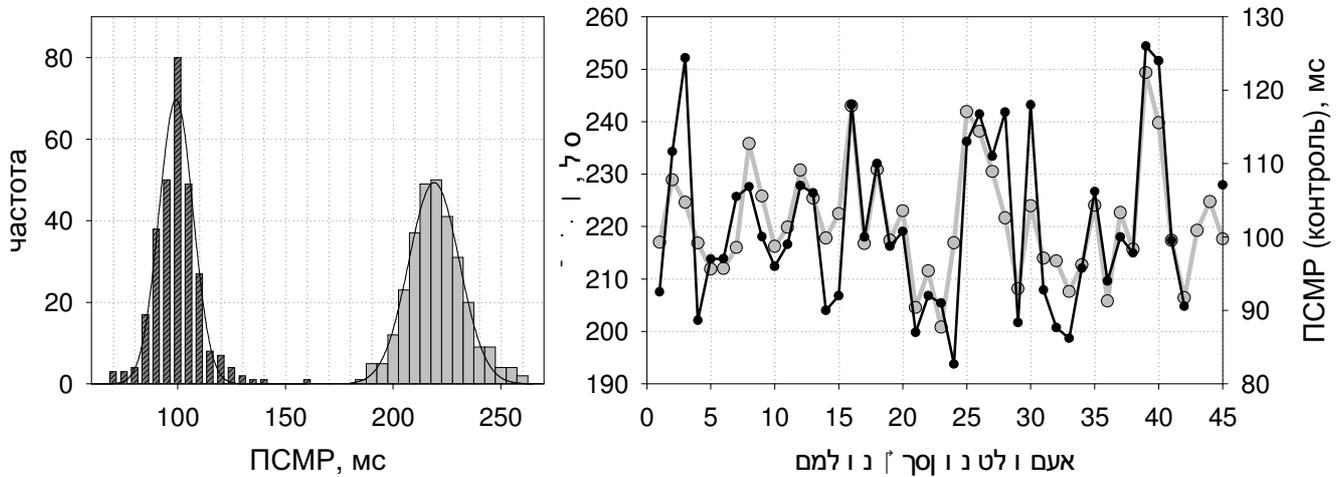


Рис. 2. Значения времени задержки в миллисекундах при прохождении теста волонтером А на ноутбуке с ОС Windows XP (опыт) и на АРМ (контроль). Серый цвет – опыт (ноутбук), черный – АРМ (контроль). (А) – гистограммы встречаемости значений при ежедневном мониторинге в течение года в опыте и в контроле. (Б) отрезок временного ряда последовательных значений ПСМР в опыте и в контроле. Интервал времени между опытными и контрольными измерениями ПСМР на двух приборах в каждом эксперименте - 2-3 минуты

отличаться до 60 мс для разных компьютеров, и в среднем на 100-150 мс выше, чем значения, полученные на специальном оборудовании. Данная систематическая ошибка, обусловленная «мертвым временем» компьютера, является принципиальной для определения абсолютных значений, но не влияет на динамику относительных вариаций, которая и является целью мониторинга. Таким образом, для получения стабильных результатов мониторинга необходимым требованием является постоянство компьютера, или, по крайней мере, запись о том, на каком компьютере проводилось

другой рукой. Предварительный анализ показал, что характерной чертой многих волонтеров является синхронность вариаций скорости ПСМР при нажатии разными руками (рис 3). Такая синхронность подтверждает тезис о том, что регистрируемые значения ПСМР действительно отражают один из параметров текущего состояния организма волонтера. Необходимо отметить, что для волонтера Б с рисунка 3, помимо значимой синхронности вариаций ПСМР при выполнении теста двумя руками наблюдается также достоверное систематическое различие времен ПСМР

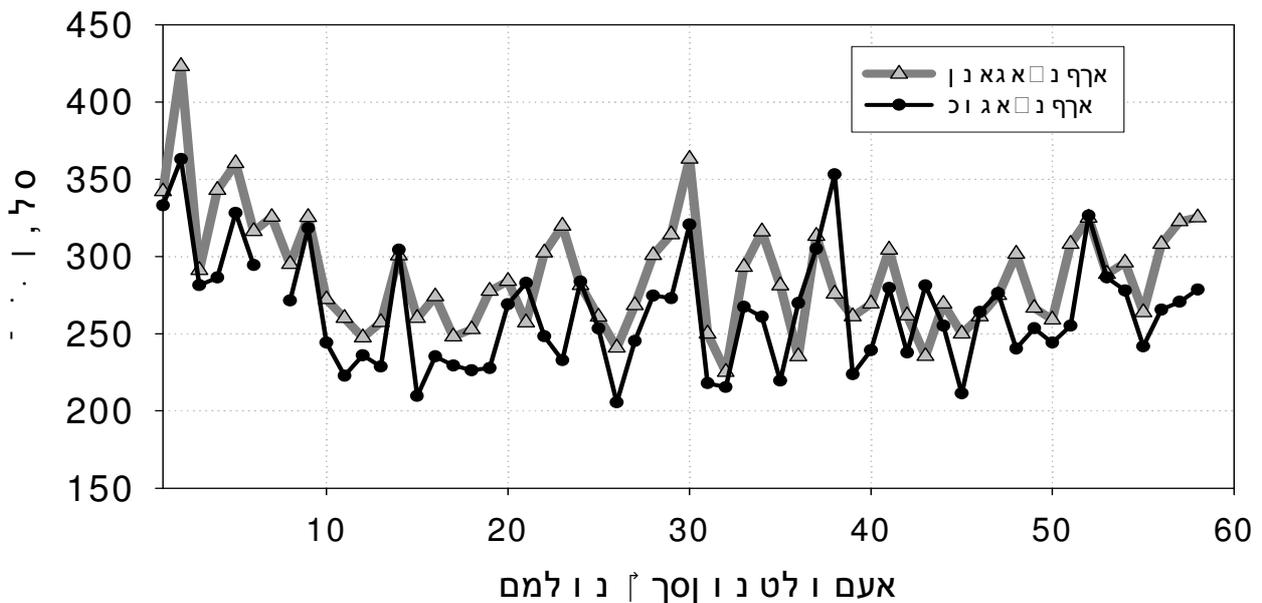


Рис.3. Ход выполнения теста двумя руками при ежедневном мониторинге (волонтер Б, женщина, 67 лет, София)

при нажатии правой ( $279 \pm 4.5$ ) и левой ( $256 \pm 4.1$  мс) рукой. Достоверность различий по критерию Стьюдента  $p < 10^{-3}$ . Сравнение средних значений проведено для участка временного ряда, начиная с 10-го измерения, после завершения этапа экспоненциального тренда на начальном этапе эксперимента, обусловленного, по-видимому, эффектом научения (рис.3).

**Регистрация ППВ.** Программа для регистрации показателя ППВ была реализована на основе стандартного психологического теста «корректирующая проба» [9], адаптированного для предъявления с экрана монитора. Испытуемому предлагалась таблица из букв кириллического алфавита размером  $40 \times 20$ , удовлетворяющая следующим обязательным требованиям: высокая контрастность цветовой гаммы, средняя, не утомляющая зрение, яркость экрана; использование рубленых шрифтов (без насечек), устойчивость частоты встречаемости букв (в каждой строке в сумме ровно 10 букв К и Е), отсутствие в корректирующей таблице широких букв (например, Ж, Щ, Ф).

Двигая курсор нажатием клавиши «стрелка вправо» (обратное движение невозможно) испытуемый должен был вычеркивать две заранее заданные буквы нажатием клавиши «пробел», в данном варианте – К и Е. Оптимальная продолжительность теста, как было показано, составляла две минуты.

Продуктивность выполнения выражалась безразмерной величиной, вычисляемой по формуле  $ППВ = A * P / (A + B + C)$ , где А – число правильно вычеркнутых знаков, В – число пропущенных знаков, С – число неправильно вычеркнутых знаков, Р – общее число просмотренных знаков. Программа регистрировала также неправильно вычеркнутые буквы.

Данный психофизиологический тест выполнялся волонтером А ежедневно в течение года в двух постановках – «руки расположены прямо» и «руки перекрещены». Такая постановка эксперимента позволила оценить дополнительно такой параметр, как

динамика функционального состояния комиссуры головного мозга – мозолистого тела, которое координирует работу обоих полушарий. Известно, что у лиц с нарушениями функций мозолистого тела моторная координация может быть нарушена. [10, 11].

Результаты тестирования приведены на рисунке 4. Видна синхронность вариаций показателя ППВ при прохождении теста в двух постановках, из которой можно сделать вывод, что у волонтера А функциональное состояние мозолистого тела находится в оптимальном режиме и отклонений в моторной координации при выполнении теста ППВ не выявлено.

В предварительных экспериментах на стадии отработки методики мониторинга в нескольких географических локализациях нами были проведены исследования групп здоровых волонтеров в городах Москва, София и Симферополь. Измерения проводили по рабочим дням, в постоянное время суток. Полученные в результате мониторинга временные ряды данных содержали (для разных волонтеров) от 30 до 100 значений психофизиологических показателей.

Временные ряды психофизиологических данных содержали тренды, обусловленные постепенным улучшением навыка волонтера при прохождении теста: экспоненциальное убывание времени задержки реакции при измерении ПСМР и экспоненциальный асимптотический рост для показателя ППВ. Другой систематический тренд содержался в ряду данных температуры, поскольку часть измерений проводили с периодом февраля по май. Поскольку эти тренды имели заведомо независимое происхождение, а их наличие могло значительно исказить результаты корреляционного анализа, они были предварительно вычтены посредством линейной или экспоненциальной аппроксимации, и далее анализировали динамику остаточных членов ряда.

Проверка нормальности распределения показала, что распределения остаточных членов ряда всех исследованных параметров, как метео- и геофизических, так и психофизиологических, не противоречат гипотезе о

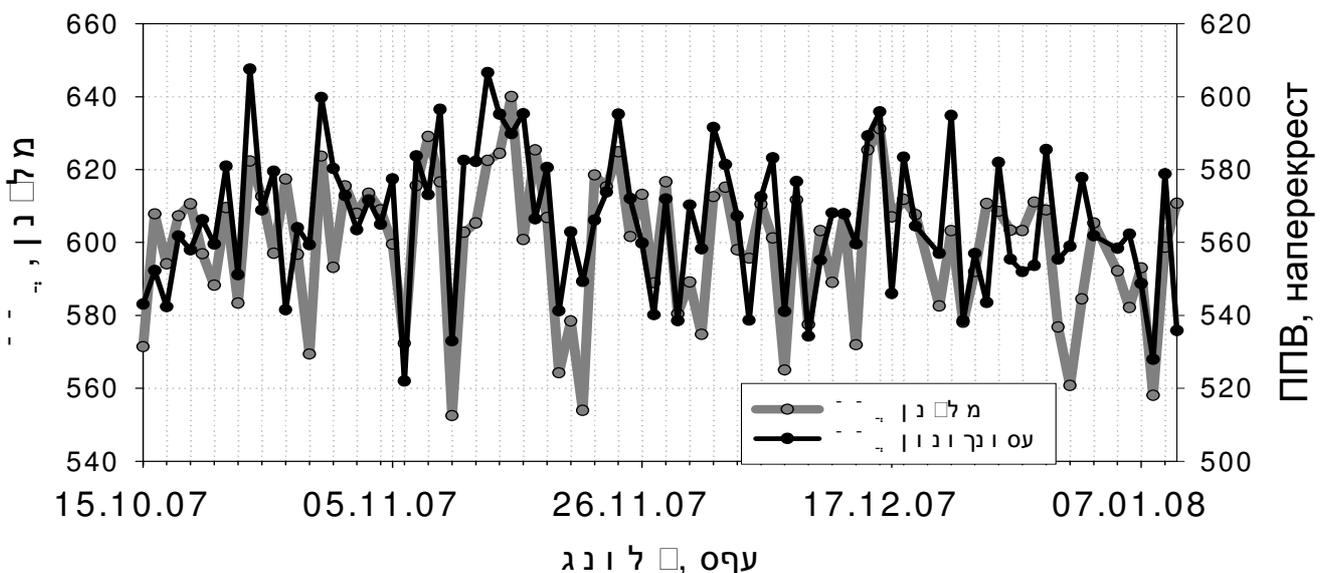


Рис.4. Динамика последовательных прохождений волонтером А теста ППВ в режимах «прямо» и «перекрест»

нормальности распределения на уровне не хуже  $p < 0.001$ . Таким образом, для оценки степени корреляции двух рядов использовали коэффициент корреляции Пирсона, а для достоверности различий двух выборок – критерий Стьюдента.

Предварительный анализ, проведенный для результатов мониторинга волонтера А в течение года, показал, что значения ПСМР достоверно ( $p < 0.01$ ) ухудшаются при повышении уровня геомагнитной активности и при понижении температуры воздуха. Таким образом, данные показатели могут быть чувствительны к действию факторов космической и обычной погоды.

Подробный анализ результатов мониторинга значительно числа волонтеров, проведенного в городах Москва, София и Симферополь является предметом дальнейшего исследования.

#### REFERENCES

- [1] Ю.А. Холодов, Н.Н. Лебедева. Реакции нервной системы человека на электромагнитные поля // М., 1992. 135 с.
- [2] О.С. Раевская. Геомагнитное поле и организм человека // Успехи физиологических наук. 1988. Т. 19. № 3. С. 91 – 108.
- [3] Г.В. Рыжиков, О.С. Раевская. Влияние геомагнитного поля на некоторые показатели психической деятельности // Психологический журнал. 1984. Т. 3. № 6. С. 73-75.
- [4] Н.И. Хорсева, Т.А. Зенченко, П.П. Григал. Предварительные результаты оценки чувствительности психофизиологических показателей к геомагнитной активности // Тезисы VII Международной конференции «Космос и биосфера: Космическая погода и биологические процессы». 01 – 06.10.2007. Судак, Крым, Украина. С. 80.
- [5] Н.А. Бобко, П.В. Василик. Влияние гелиогеофизических факторов на психофизиологические показатели оператора в условиях круглосуточного производства: роль функционального состояния // [www.cosmos.ru/puschino/ppt/bobko.doc](http://www.cosmos.ru/puschino/ppt/bobko.doc)
- [6] М.С. Кайбышев. Изучение изменений работоспособности летного состава при геомагнитных возмущениях // Солнце, электричество, жизнь. М., 1976. С. 31 – 33.
- [7] Т.А. Зенченко, А.М. Мёрзлый, Л.В. Поскотинова. Методика оценки индивидуальной метео- и магниточувствительности организма человека и ее применение на различных географических широтах. Экология человека, **2009**, № 10, стр 3-11
- [8] Т.А. Зенченко, А.М. Мёрзлый. Разработка методологии определения степени индивидуальной чувствительности организма человека к действию метеорологических и геофизических факторов // Сборник материалов 6-й Международной конференции «Фундаментальные космические исследования», 21–28 сентября **2008** г., Солнечный берег, Болгария. С. 419 – 420.
- [9] Е.И. Рогов. Настольная книга практического психолога в образовании // М.: Владос, **1995**. С. 62 – 64.
- [10] Психофизиология под ред. Ю.И.Александрова.-СПб: Питер, 2001.-496с;
- [11] А.Р. Лурия. Основы нейропсихологии.-М.: Издательский центр «Академия», 2002.-384с.