

**МЕДИЦИНА MEDICINE**

УДК: 612.82.821.2

**СОЧЕТАННОЕ ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ АДАПТИВНОГО БИОУПРАВЛЕНИЯ  
ПО ЭЭГ И ГИПОКСИТЕРАПИИ ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ  
ФУНКЦИОНАЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ ЧЕЛОВЕКА**

**Джунусова Г.С.,**  
док. мед. наук., профессор, директор  
**Сатаева Н.У.,**  
научный сотрудник  
**Ибраимов С.Б.,**  
научный сотрудник  
**Карыпова Б.К.,**  
аспирант  
**Кадырова Ж.С.,**  
аспирант

**АДАМДЫН ФУНКЦИОНАЛДЫК АБАЛЫН ОПТИМАЛДАШТЫРУУ ҮЧҮН  
АДАПТИВДҮҮ ЭЭГ БИО-БАШКАРУУ ЫКМАЛАРЫН ЖАНА  
ГИПОКСИТЕРАПИЯНЫ АЙКАЛЫШТЫРЫП КОЛДОНУУ**

**Джунусова Г.С.,**  
медицина илимдеринин доктору, профессор, директор  
**Сатаева Н.У.,**  
илимий кызматкер  
**Ибраимов С.Б.,**  
илимий кызматкер  
**Карыпова Б.К.,**  
аспирант  
**Кадырова Ж.С.,**  
аспирант

**THE COMBINED USE OF ADAPTIVE EEG BIOFEEDBACK  
AND HYPOXYTHERAPY METHODS TO OPTIMIZE THE FUNCTIONAL STATE  
OF A HUMAN**

**Dzhunusova G.S.**  
doctor of medical sciences, professor, head  
**Sataeva N.U.,**  
researcher  
**Ibraimov S.B.**  
researcher  
**Karypova B.K.,**  
postgraduate  
**Kadyrova Zh.S.,**  
postgraduate

*Институт горной физиологии и медицины НАН КР, г. Бишкек, КР  
КРУИАнын Бийик тоо физиологиясы жана медицина институту  
Institute of mountain physiology and medicine of the NAS KR*

**Аннотация.** В статье приведены результаты исследований по сочетанному воздействию на организм человека методов адаптивного биоуправления по ЭЭГ и гипокситерапии, которые позволяют оперативно оптимизировать функциональное состояние человека, запуская адаптивные механизмы при гипоксии и реоксигенации. Сочетанное применение указанных методов предлагается для оптимизации функционального состояния человека путем неспецифической активации центральной нервной системы. Целью исследований явилась оценка сочетанного применения методов адаптивного биоуправления по ЭЭГ и гипокситерапии для оптимизации функционального состояния человека. Для анализа ЭЭГ-параметров использовался компьютерный электроэнцефалограф-анализатор ЭЭГА-21/26 “Энцефалан-131-03” фирмы “Медиком МТД” (Россия). У всех испытуемых одновременно регистрировали ЭЭГ от 21 отведения по международной системе 10-20. Применялся расширенный анализ спектральной мощности основных ритмов мозга и анализ функциональной асимметрии мозга. Результаты исследований показали наличие сдвига ритмов мозга в тренингах адаптивного биоуправления по ЭЭГ у 90% испытуемых в сторону высоких частот (альфа-активности) с соответствующим снижением уровня тета-активности, что свидетельствует об эффективной коррекции и оптимизации функционального состояния ЦНС у испытуемых.

**Ключевые слова:** ЭЭГ, адаптация, адаптивное биоуправление, гипоксические тренировки, центральная нервная система.

**Аннотация.** Макалада гипоксия жана реоксигенация учурунда адаптациялоочу механизмдерди ишке киргизүү аркылуу адамдын функционалдык абалын тез оптималдаштырууга мүмкүндүк берген ЭЭГ боюнча биобашкаруу жана гипоксиялык терапия ыкмаларын колдонуу менен адамдын организминде биргелешкен таасири боюнча изилдөөлөрдүн натыйжалары берилген. Бул ыкмаларды биргелешип колдонуу борбордук нерв системасынын спецификалык эмес активдешүүсү аркылуу адамдын функционалдык абалын оптималдаштыруу үчүн сунушталат. Изилдөөнүн максаты адамдын функционалдык абалын оптималдаштыруу үчүн ЭЭГ боюнча биобашкаруу жана гипоксиялык (кычкылтектин жетишсиздиги) терапия ыкмаларын колдонуу менен биргелешип колдонууну баалоо болгон. ЭЭГ параметрлерин талдоо үчүн Medicom МТД (Россия) фирмасынын EEGA-21/26 “Encephalan-131-03” компьютердик электроэнцефалограф-анализатору колдонулган. Бардык субъекттер үчүн ЭЭГ бир эле учурда эл аралык 10-20 системасына ылайык 21 электроддон жазылды. Негизги мээ ритмдеринин кеңири спектралдык кубаттуулугунун жана мээнин функционалдык асимметриясынын анализдери колдонулган. Изилдөөнүн натыйжалары 90% изилденген адамдарда борбордук нерв системасынын функционалдык абалы ЭЭГ боюнча биобашкаруу көнүгүүдө мээ ритмдеринин жогорку жыштыктарга (альфа активдүүлүгүнө) карай жылышынын бар экендигин көрсөттү, бул тета активдүүлүгүнүн деңгээлинин тийиштүү түрдө төмөндөшү менен билдирет жана бул процесс эффективдүү коррекциялоо жана оптималдаштыруу мүмкүнчүлүгүн көрсөтөт.

**Негизги сөздөр:** ЭЭГ, адаптация, ЭЭГ боюнча адаптивдик биобашкаруу, гипоксиялык көнүгүүлөр, борбордук нерв системасы.

**Abstract.** The article presents the results of studies on the combined effects on the human body of adaptive biofeedback methods by EEG and hypoxic therapy, which make it possible to quickly optimize a person's functional state by triggering adaptive mechanisms during hypoxia and reoxygenation. The combined use of these methods is proposed to optimize the

functional state of a person through nonspecific activation of the central nervous system. The purpose of the research was to evaluate the combined use of adaptive biofeedback methods by EEG and hypoxic therapy to optimize the functional state of a person. The analyze EEG parameters a computer electroencephalograph-analyzer EEGA-21/26 "Encephalan-131-03" from Medicom MTD (Russia) was used. For all persons, EEG was simultaneously recorded from 21 leads according to the international 10-20 system. An advanced analysis of the large spectral power of the main brain rhythms and an analysis of functional brain asymmetry were used. The research results showed the presence of a shift in brain rhythms in adaptive biofeedback training based on EEG in 90% of persons towards high frequencies (alpha activity) with a corresponding decrease in the level of theta activity, which indicates effective correction and optimization of the functional state of the central nervous system in persons.

**Key words:** EEG, adaptation, adaptive biofeedback, hypoxic training, central nervous system.

Формирование дизрегуляторных расстройств центральной нервной системы (ЦНС) происходит при попадании человека в дискомфортные условия среды. При таких функциональных состояниях особенно востребованными являются все виды вмешательств, направленные на своевременное возвращение организма к оптимальному состоянию. И здесь не всегда эффективно медикаментозное лечение, так как зачастую оно оказывается «грубым», имеет побочные эффекты, вызывает привыкание и к тому же снимает болезненные симптомы, не устраняя их природы. Поэтому на первый план выступают немедикаментозные методы системного воздействия, направленные на предотвращение и коррекцию функциональных нарушений в организме человека. Из-за растущей потребности в таких средствах их разработка и внедрение нередко опережают научно обоснованные представления о механизмах осуществляемого воздействия характере и особенностях оптимизируемых состояний [1].

Важную роль в адаптационных перестройках ФС ЦНС, сопровождающихся изменением частотного спектра ЭЭГ, играют факторы окружающей среды (относительная социальная изоляция, относительная сенсорная недостаточность, гиподинамия и др.). В ряде исследований показано, что даже кратковременная

изоляция и перцептивная депривация приводят к снижению средней частоты альфа-ритма затылочной области головного мозга [2]. Степень снижения частоты альфа-ритма зависит от строгости и продолжительности изоляции. Чем дольше изоляция, тем ниже частота альфа-ритма. Считается, что перестройка частотного спектра ЭЭГ является результатом нарушений корково-подкорковых взаимоотношений, изменений тонуса и возбудимости коры головного мозга [3]. Смещение частотного спектра ЭЭГ в сторону более низких частот указывает на снижение ФС мозга [4]. Доминирование тета- и дельта-активности на ЭЭГ совпадает со снижением точности дифференцировки, а также с нарушением участия механизма экстраполяции в двигательном ритмическом стереотипе [5]. Появление в ЭЭГ большого числа медленных волн (тета и дельта) [6] развивается вследствие уменьшения активирующего влияния со стороны неспецифической системы [7].

Однако наличие в ЭЭГ медленных волн не всегда является показателем торможения в коре, а может быть «отражением возбуждения, развивающегося на каком-то ином исходном уровне функционирования мозга» [8]. Возможно, что существуют разные механизмы снижения доминирующей частоты альфа-ритма, и что лишь один из них связан с измене-



нием уровня активации. Таким образом, комплекс экстремальных факторов высокогорья (природных и социальных) вызывает перенапряжение отдельных функциональных систем организма, снижает устойчивость саморегуляционной системы мозга и в ряде случаев приводит к срыву ВВД. Выраженные функциональные нарушения ЦНС чаще всего возникают у лиц со слабой нервной системой. По своей этиологии и характеру функциональных нарушений расстройства, возникающие у лиц при адаптации в горах, не являются типичными неврозами, а относятся к неврозоподобным адаптационным нарушениям [9]. Впервые ЭЭГ-исследования по определению возможности применения методов адаптивного биоуправления в различных условиях среды [10], в горах с целью немедикаментозной коррекции функционального состояния головного мозга у жителей высокогорья с применением адаптивного биоуправления по ЭЭГ [11] и гипокситерапии у горцев, а также у неврологических больных проводились Г.С. Джунусовой [12].

**Цель:** оценить сочетанное применение методов адаптивного биоуправления по ЭЭГ и гипокситерапии для оптимизации функционального состояния человека.



**Рис. 1.** Комбинированное использование адаптивного биоуправления по ЭЭГ и гипоксических тренировок испытуемых 18-35 лет.

**Материал и методы исследования.** Проведены ЭЭГ-исследования по сочетанному использованию адаптивного биоуправления по ЭЭГ с гипоксическими тренировками (с использованием гипоксических смесей с 15-13% содержанием кислорода) у 16 практически здоровых мужчин в возрасте от 18 до 35 лет (Рис.1). Для анализа ЭЭГ-параметров использовался компьютерный электроэнцефалограф-анализатор ЭЭГА-21/26 "Энцефалан-131-03" фирмы "Медиком МТД" (Россия). У всех испытуемых одновременно регистрировали ЭЭГ от 21 отведения по международной системе 10-20. Применялся расширенный анализ спектральной мощности основных ритмов мозга и анализ функциональной асимметрии мозга.

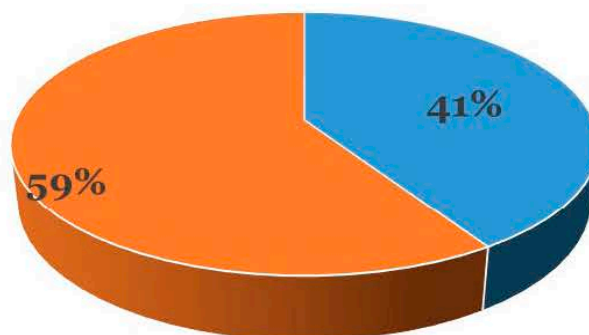
**Результаты и обсуждение.** Исследования показали, что на спектральную мощность альфа-ритма влияет степень гипоксии, которая может увеличивать у части испытуемых (41%) степень альфа-синхронизации, а у 59% испытуемых снижать степень синхронизации, т.е. наоборот повышать процессы десинхронизации альфа-ритма (рис. 2.).

ЭЭГ-активность при этом была выше в правом полушарии в затылочных, теменных и лобных зонах коры больших



полушарий, что доказывает, что гипоксия, процессы внимания и тревожность поддерживаются альфа-десинхронизацией и что усиление спектральной мощности альфа-активности служит основой для усиления поддержания внимания и снижению уровня тревожности. Также особо хочется подчеркнуть, что правое полушарие отвечает за формирование адаптивных процессов, усиливая активность именно в нем. Человеческий мозг получает всю сенсорную и когнитивную информацию постепенно для выживания

и адаптации, поэтому непроизвольное внимание осуществляет отбор наиболее актуальной системы информации. В обработке этой информации, возможно, участвуют две разные нейронные системы: эндогенная или произвольная система и экзогенная (автоматическая) система, расположенные в лобных височно-теменных долях, как и эндогенная и экзогенная – в затылочных областях коры головного мозга. Такие процессы происходят у подростков и такие же процессы происходят у взрослых испытуемых поэтапно [13].



*Рис. 2. Распределение синхронной и десинхронной ЭЭГ-активности у испытуемых 18-35 лет.*

В случае достаточности резервов основных систем, способных поддерживать жизнедеятельность организма на должном уровне, с взрослением постепенно осуществляются приемлемые функциональные перестройки, направленные на формирование устойчивой адаптации. Управление адаптацией при гипоксии в горах является сложной задачей, поэтому использование периодической нормобарической интервальной гипоксической тренировки намного выгоднее, так как позволяет четко дозировать гипоксию, запуская адаптационные механизмы при недостатке кислорода и реоксигенации, сопровождающейся неспецифической активацией механизмов антиоксидантной защиты.

Использование такой комбинации методов (адаптивного биоуправления по ЭЭГ и гипоксических тренировок) повышает неспецифическую активацию центральной нервной системы и позволяет снизить силу влияния каждого из них во избежание неблагоприятных осложнений и достижения максимального позитивного воздействия (рис. 3.). Сочетанное использование указанных методов рекомендуется в строго индивидуальном режиме с целью направленного регулирования гипоксической переносимости, ускорения адаптации, нормализации эмоциональной сферы и защиты от психологического стресса, повышения физической работоспособности и профилактики переутомления (рис. 4,5).

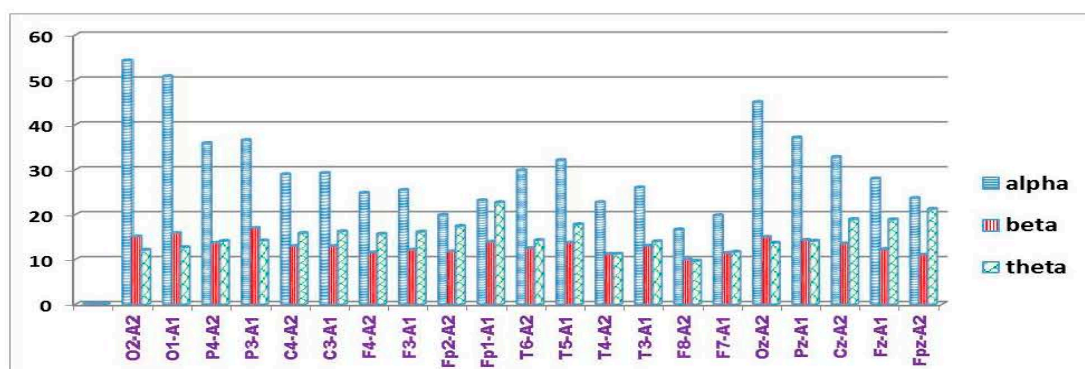


Рис. 3. Спектральная мощность основных ритмов ЭЭГ при выдыхании 15-13% содержанием кислорода гипоксических смесей при тренингах адаптивного биоуправления

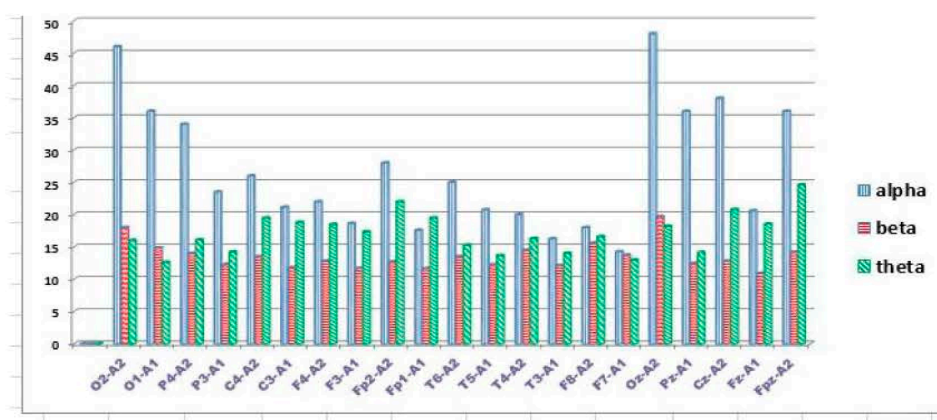


Рис. 4. Спектральная мощность основных ритмов ЭЭГ после сочетанного использования гипоксических тренировок и адаптивного биоуправления

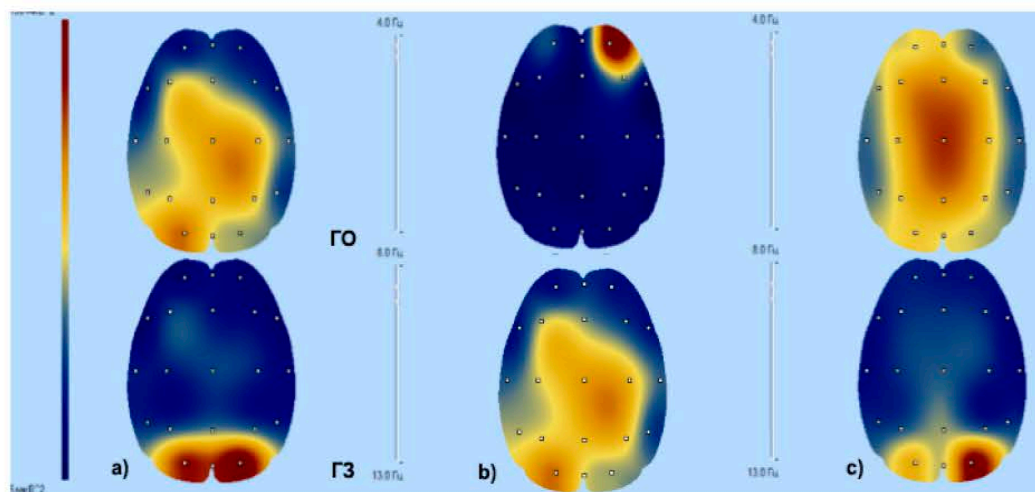


Рис. 5. Индивидуальные спектрограммы у испытуемых 18-35 лет: а – норма; б – высокая СМ в правой лобной и теменно-затылочных областях коры; с – диффузное повышение СМ по всей области коры головного мозга. ГЗ – при закрытых глазах; ГО – при открытых глазах

Исследования по сочетанному воздействию на организм человека гипоксических тренировок с 15-13% содержанием

гипоксических смесей с адаптивным биоуправлением показали, что в случае достаточности резервов основных систем,



способных поддержать жизнедеятельность организма на должном уровне, с взрослением постепенно осуществляются приемлемые функциональные перестройки, направленные на формирование устойчивой адаптации. Управление адаптацией при гипоксии в горах является сложной задачей поэтому использование периодической нормобарической интервальной гипоксической тренировки намного выгоднее, так как позволяет четко дозировать гипоксию, запуская адаптационные механизмы при недостатке кислорода и реоксигенации, сопровождающейся неспецифической активацией механизмов антиоксидантной защиты. Использование такой комбинации методов (адаптивное биоуправление по ЭЭГ и гипоксических тренировок) повышает неспецифическую активацию центральной нервной системы и позволяет снизить силу влияния каждого из них во избежание неблагоприятных осложнений и достижения максимального позитивного воздействия. Сочетанное использование указанных методов рекомендуется в строго индивидуальном режиме с целью направленного регулирования гипоксической переносимости, ускорения адаптации, нормализации эмоциональной сферы и защиты от психологического стресса, повышения физической работоспособности и профилактики переутомления.

Адаптивное биоуправление по ЭЭГ – метод произвольной регуляции функционального состояния центральной нервной системы с помощью биологически обратной связи [14], позволяющий направленно изменять уровень психоэмоционального напряжения. ЦНС через систему прямых и обратных связей с вегетативной нервной системой способна менять уровень функционирования внутренних систем организма, а через них и характер адаптации, что дало возмож-

ность использования метода для направленных перестроек структуры межцентральных взаимоотношений основных ритмов мозга у горцев [11], в основе которой лежит поддержание устойчивых связей как в норме, так и при патологии [8].

До настоящего времени недостаточно четко разработана тактика применения произвольной регуляции ЭЭГ при определенных заболеваниях с учетом индивидуальной структуры нейродинамики мозга, так как все компоненты ЭЭГ находятся в определенной взаимосвязи. Кроме этого, имеется тесная связь характера структуры взаимодействия компонентов ЭЭГ с индивидуальными особенностями механизмов саморегуляции мозга с пластичностью и устойчивостью нейродинамических процессов.

Установлено, что наиболее эффективны сеансы биоуправления с биологически обратной связью по альфа- и тета-активности. Это объясняется тем, что указанные ритмы образуют «функциональные ядра» в структуре взаимодействия ритмики мозга и отражают состояние основных регулирующих систем мозга.

Результаты исследований показали, что тренировки адаптивного биоуправления по ЭЭГ, направленные на перестройку и формирование новых межцентральных взаимосвязей в основных системах организма и, в ЦНС, в частности, являются условием, способствующим повышению устойчивости механизмов саморегуляции и нормализации состояний. Наличие сдвига ритмов в тренингах адаптивного биоуправления по ЭЭГ у 90% испытуемых в сторону высоких частот (альфа-активности) с соответствующим снижением уровня тета-активности свидетельствует об эффективной коррекции и оптимизации функционального состояния ЦНС у испытуемых.

**Литература:**

1. Балыкин М.В., Каркобатов Х.Дж. Системные и органичные механизмы кислородного обеспечения организма в условиях высокогорья. Российский физиологический журнал. 2012; 1:127-136.
2. Zubek J.P., G. Welch Electroencephalographic changes after prolonged senses and perceptual deprivation. Science.1963; 4:1209-1250.
3. Бундзен П.В., Каплуновский А.С. Принципы самоорганизации структурно-функциональных систем мозга и механизмы памяти. Проблемы физиологии и патологии ВНД. Медицина. 1974; 80-108.
4. Стеклова Р.П., Рузиахунова М.М. Соотношение электроэнцефалограммы и условно-двигательных реакций при утомительных физических нагрузках. Функциональное состояние мозга. 1975; 33-39.
5. Соколов Е.Н., Стеклова Р.П. Динамика импульсной активности нейронов мозга кролика в условиях гипоксии. Функциональные состояния мозга. 1975; 204-221.
6. Данилова Н.Н., Крылова А.А. Физиология ВНД. Ростов-на-Дону: 2001;274 с.
7. Мэгун Г. Бодрствующий мозг. 1965; 201-214.
8. Бехтерева Н.П. Нейрофизиологические аспекты психической деятельности человека.1974;160 с.
9. Святогор И.А., Моховикова И.А., Бекшаев С.С. Оценка нейрофизиологических механизмов дезадаптационных расстройств по паттернам ЭЭГ. Журнал ВНД;2005;178-188.
10. Сороко С.И., Трубачев В.В. Нейрофизиологические и психофизиологические основы адаптивного. 2010;607 с.
11. Джунусова Г.С., Курмашев Р.А. Функциональное состояние мозга при адаптивном биоуправлении у неврологических больных. Физиология человека. 2001; 70-74.
12. Джунусова Г.С., Курмашев Р.А. Использование адаптивного биоуправление по ЭЭГ для коррекции функционального состояния неврологических больных. Физиология человека. 2002; 28.
13. Джунусова Г.С., Курмашев Р.А. Характер изменений биоэлектрической активности головного мозга у лиц, занимающихся операторским трудом в условиях высокогорной гипоксии. Физиология человека.1997. 52-57.
14. Сороко С.И., Курмашев Р.А., Джунусова Г.С., Перестройки алгоритмов взаимодействия волновых компонентов ЭЭГ у лиц с разными типами механизмов саморегуляции мозга при адаптации к высокогорью. Физиология человека. 2002; 13-23.
15. Сороко С.И., Джунусова Г.С. Перестройки суммарной электрической активности коры и подкорковых структур мозга кролика при экспериментальной гипоксии. Физиология человека. 2003;5-12.
16. Джунусова Г.С., Сатаева Н.У., Ибраимов С.Б., Карыпова Б.К. Адаптация центральной нервной системы человека в условиях высокогорья. Известия НАН КР. 2022;116-120.
17. Сороко С.И., Трубачев В.В. Нейрофизиологические и психофизиологические основы адаптивного. 2010; 607.