

ЭЛЕКТРОМИОГРАФИЯ КАК СПОСОБ ИЗУЧЕНИЯ ВЛИЯНИЯ МАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ НА СКЕЛЕТНУЮ МУСКУЛАТУРУ

И.В. Сысоева, канд. биол. наук,

Белорусский государственный университет физической культуры

В экспериментальных условиях методом электромиографии (ЭМГ) изучено влияние различных параметров высокоинтенсивного импульсного магнитного поля (ВИМП) на функциональное состояние скелетных мышц. Использование ВИМП с интенсивностью стимула 1,1; 1,4 Тл, частотой следования импульсов в минуту 20–30 при количестве в пачке от 2 до 6 и межимпульсном интервале 10 мс способствует достоверному увеличению максимальной амплитуды и частоты ЭМГ-паттерна, уменьшает выраженность болевого и отека синдромов при спортивных травмах, восстанавливает двигательные функции поврежденных конечностей.

Influence of different parameters of high-intensity impulse magnetic field (HIMF) on skeletal muscles functional state was investigated under experimental conditions by the method of electromyography (EMG). Application of HIMF with stimulus intensity 1,1; 1,4 Tl, impulse frequency 20–30 a minute with 2–6 in a pack and in an interimpulse interval 10 ms promotes reliable increase in maximal amplitude and frequency of EMG-pattern, decreases pain and edema syndromes of sports injuries, recovers motor functions of injured limbs.

Связь медицинской науки с новыми технологиями способствует возникновению новых и развитию традиционных диагностических методик. Электромиография (ЭМГ) как метод электрофизиологической диагностики становится базовым во многих лечебно-диагностических учреждениях. Он позволяет получать объективные характеристики электрической активности скелетных мышц, дает возможность адекватно оценить функциональную целостность нервно-мышечного аппарата [1].

Различают спонтанную электромиографию, отражающую состояние мышц в покое или при мышечном напряжении (произвольном или синергическом), а также вызванную, обусловленную электрической стимуляцией мышцы или нерва. Современная аппаратура для ЭМГ позволяет получать запись минимальных по амплитуде биопотенциалов, производить автоматический обсчет амплитуды, частоты и длительности латентных периодов, спонтанных и вызванных потенциалов мышц и нервов, осуществлять их спектральный анализ.

С помощью метода ЭМГ в клинической и спортивной практике проводится топическая диагностика поражений нервной и мышечной систем (надсегментарных пирамидных и экстрапирамидных структур, мотонейронов передних рогов, спинномозговых корешков и нервов, нервно-мышечного синапса и собственно иннервируемой мышцы), оцениваются тяжесть, стадия заболеваний, эффективность применяемой терапии.

Востребованность метода заключается также в возможности с его помощью изучить влияние физических факторов на организм, в частности, магнитных полей на возбудимые структуры.

Одним из эффективных современных методов лечебного применения магнитных полей является высокоинтенсивная импульсная магнитотерапия (ВИМТ). Особенностью метода является высокая амплитудная магнитная индукция импульсов до 1–2 Тесла (Тл) при их короткой продолжительности и высокой скважности. Ожидаемые лечебные эффекты ВИМТ достигаются при более коротких разовых и курсовых экспозициях воздействия. Высокоамплитудные импульсы, вызывая кратковременные сверхпороговые изменения концентрации основных неорганических ионов на полупроницаемых мембранах нервных и мышечных клеток, инициируют процессы деполяризации ткани и, вследствие чего, стимуляцию мышечного волокна к сокращению [2, 3].

Для спортивной медицины представляет интерес использование высокоинтенсивных импульсных магнитных полей (ВИМП) в качестве немедикаментозного метода лечения ряда опорно-двигательных повреждений, в патогенезе которых – воспалительные и атрофические изменения мускулатуры конечностей в результате травмы. Проблема реабилитации спортивных травм вызывает интерес у клинических и спортивных травматологов, реабилитологов, кинезо- и физиотерапевтов, ученых в области фундаментальных наук. Причиной этому, на наш взгляд, с одной стороны, служит отсутствие тенденции к снижению количества спортивных травм в мире запредельных физических нагрузок, с другой стороны – сложность восстановительного лечения последствий гипокинезии, иммобилизации из-за быстрого развития в поврежденных тканях дистрофических процессов [3, 4].

Наше исследование было проведено с целью экспериментального поиска и ЭМГ-обоснования использования оптимальных параметров ВИМП в восстановительном лечении спортсменов с травмами опорно-двигательного аппарата (ОДА). Нам представлялось целесообразным изучить влияние физического фактора на функциональное состояние скелетной мышцы у лабораторных животных по результатам ЭМГ. Работа выполнялась на кроликах, нервно-мышечный аппарат которых по своему строению подобен нервно-мышечному аппарату человека.

В 15 сериях (106 опытах) на кроликах самцах породы «шиншилла» массой 1,5–2 кг изучали особенности эффектов ВИМП на сократимость портняжной (классически быстрой) скелетной мышцы. Кроликов фиксировали широким резиновым бинтом на специальном станке, имеющем отверстие для электромагнитного индуктора с диаметром рабочей поверхности 25 мм, располагаемого на кожном покрове бедра в зоне портняжной мышцы (*m. sartorius*). После местного обезболивания кожи двухпроцентным раствором новокаина на физиологическом растворе погружные игольчатые (константановые) биполярные электроды с межэлектродным расстоянием 3 мм вводили через кожную поверхность в толщу портняжной мышцы на глубину 15 мм и подсоединяли к усилителю био-

потенциалов стандартной электрофизиологической установки. В дальнейшем запись ЭМГ, их анализ и обработку проводили с помощью программ, созданных в Институте физиологии НАН Беларуси.

ВИМП создавали посредством макетного генератора магнитных стимулов серии «СПОК» с длительностью импульса 100 мкс и ступенчатой регулировкой величины индукции от 1,1 до 1,6 Тл. Основные закономерности изменений показателей нервно-мышечного проведения изучали, варьируя различными параметрами ВИМП. В частности, минимальная величина магнитной индукции 1,1 Тл нами была избрана как наиболее часто применяемая в клинических исследованиях. Эффекты магнитного поля с интенсивностью 1,4 Тл и 1,6 Тл оценивали, поскольку в литературе упоминается, что «рост величин индукции приводит к увеличению глубинных сдвигов в исследуемых показателях» [5]. Нас интересовала возможность безопасного применения указанных параметров в методике терапевтического воздействия при травмах ОДА.

Мышцу раздражали одиночными импульсами, которые наносили в течение 1–2 минут с интервалом 3 с (20 стимулов в минуту) или пачками стимулов с межимпульсным интервалом 10 или 20 мс и количеством импульсов в каждой пачке от 2 до 6, количество серий импульсов в минуту – 20–60. На электромиограммах оценивали среднюю площадь потенциалов в машинных единицах, отражающих произведение средней амплитуды в секунду (в мкВ) на время регистрации (1 с).

Проведенный электрофизиологический анализ влияния различных режимов ВИМП на возбудимость портняжной мышцы выявил определенные особенности эффектов, связанные с параметрами применяемого магнитного стимула. Было установлено, что магнитное поле с индукцией 1,1; 1,4 Тл эффективно действует на нервно-мышечный аппарат, в частности, отмечали прирост амплитуды потенциалов на максимуме реакции на 70 и 80 % соответственно ($p < 0,05$). Максимальные стимулы в 1,6 Тл сопровождалась вначале выраженным ингибирующим в течение 3–5 минут, а затем менее выраженным, по сравнению с воздействиями при меньшей индукции, стимулирующим ответом – прирост амплитуды составил 22 % ($p < 0,05$). Характерно, что по мере увеличения интенсивности магнитного поля возрастала первоначальная фаза уменьшения мышечной активности, позже во времени наступала фаза усиления электрической активности.

С увеличением количества применяемых стимулов от 20 до 60, наносимых в течение минуты, интенсивность электрической реакции исследуемой мышцы изменялась. Регистрировали усиление активности (повышение количества частоты и амплитуды потенциалов) с увеличением стимулов до 30, тогда как воздействие 60 стимулами либо не вызывало возбуждающей реакции, либо приводило к появлению отставленного эффекта в виде непрерывной низковольтной электрической активности.

Увеличение количества импульсов в пачке от 1 до 6 в опытах при прочих неизменных параметрах сопровождалось последовательным повышением интенсивности электрической активности скелетной мышцы ($p < 0,05$). При этом чет-

кие активирующие эффекты в постстимульном периоде наступали при нанесении ритмических одиночных или пачечных раздражений в течение 1–2 минут.

Наши данные согласуются с данными литературы [6]. Ранее в экспериментах на животных установлено, что при воздействии на спинной мозг интенсивными магнитными полями 1300–1500 А/м с частотой 1 стимул через 3–5 с происходило угнетение либо усиление эфферентной активности в ветвях седалищного нерва в зависимости от параметров раздражения, при этом наступали существенные функциональные изменения ультраструктуры нейронов в передних рогах спинного мозга.

Отмеченный эффект в условии действия ВИМП, на наш взгляд, обусловлен как местным действием раздражителя на нервно-мышечные синапсы и непосредственно на нервные и мышечные волокна, так и рефлекторными механизмами за счет возбуждения рецепторов афферентных волокон, в том числе и механорецепторов при сокращении мышцы. В реализации указанного эффекта, в частности, в синаптической передаче и в регуляции мембранного потенциала покоя важную роль, несомненно, играют ионы кальция. При воздействии МП на возбудимые структуры происходит локальное изменение концентрации неорганических ионов, в том числе кальция и магния, что, вероятно, и ускоряет синаптическую передачу [7].

Изменение параметров ВИМП в опытах при повторных сериях магнитных воздействий на скелетную мышцу приводило к изменению возбудимости мышцы, сопровождающемуся, в одних случаях, относительно продолжительным повышением, а в других случаях, – понижением ее активности.

Модуляционные эффекты (как возбуждающие, так и тормозные) от раздражения к раздражению сопровождалось изменением амплитуды и частоты следования потенциалов как непосредственно в период магнитной стимуляции, так и в постстимульный период. Так, постепенное повышение частоты и амплитуды мышечной электрической активности было характерно для действия ВИМП с минимальной интенсивностью 1,1 Тл, наносимого на мышцу в течение 2 минут в виде одиночных либо пачечных стимулов и перерывами между этими воздействиями – 5 минут и более. В то время как повторные серии более сильных магнитных раздражений с величиной индукции 1,4 или 1,6 Тл на протяжении 1 минуты стимуляции при количестве пачек стимулов в минуту – 60 и с промежутками между воздействием менее 5 минут приводили к понижению функционального состояния скелетной мышцы.

Наиболее значимые явления суммации возбуждения наблюдали при длительности стимуляции 2 минуты, перерыве между этими воздействиями более 5 минут. Магнитное воздействие в течение одной минуты также повышало возбудимость скелетной мышцы, однако экспозиция наносимых повторных раздражений была более длительной.

Полученные нами результаты позволяют заключить, что ВИМП оказывает возбуждающее действие на скелетную мышцу бодрствующего кролика в условиях чрескожной стимуляции однократно применяемыми магнитными стимула-

ми. По мере увеличения интенсивности воздействия МП и количества стимулов в минуту ответная реакция скелетных мышц становится менее выраженной. Для достижения выраженного постстимульного эффекта оптимальными по интенсивности являлись ритмические импульсы магнитного поля 1,1 и 1,4 Тл, что, на наш взгляд, может быть объяснено «амплитудными окнами» для МП высокой интенсивности в указанном диапазоне раздражения.

На основе существующих теоретических представлений о действии магнитных полей на возбудимые структуры организма, можно предполагать, что изменения возбудимости скелетных мышц на серийные раздражения ВИМП были обусловлены как периферическими, так и центральными нервными механизмами [2, 8].

Важную роль в данном случае может играть возбуждение ВИМП различных по функции афферентных волокон с последующим влиянием центростремительной импульсации на двигательные центры мозга. При повторных раздражениях мышцы магнитными стимулами и дальнейшем распространении возбуждения по рефлекторной дуге в большей степени могли реализовываться свойства нервных центров. В частности, явление временной (последовательной) суммации возбуждения, изменяющее функциональную активность возбудимых структур.

Временная суммация возбуждения, достигаемая повторными магнитными воздействиями, играет важную физиологическую роль: многие нейронные процессы, имеющие ритмический характер, могут суммироваться, давая начало надпороговому возбуждению в нейронных объединениях нервных центров мозга [9]. При этом суммация возбуждения, как нам представляется, обусловлена тем, что сила каждого магнитного стимула, достаточная для инициации ответа, при ее ритмичном повторном наложении существенно увеличивает степень выраженности получаемого мышечного ответа (как в случае воздействия ВИМП с индукцией 1,1 Тл). И, напротив, раздражение мышцы импульсами с максимальной величиной индукции (1,4–1,6 Тл), вероятно, приводит к трансформации ритма возбуждения в нервных центрах: снижению их возбудимости за счет процессов пре- и постсинаптического торможения и избыточного по силе потока афферентных импульсов.

Принимая во внимание этот факт, можно предположить, что в нашем эксперименте рефлекторно, за счет возбуждения афферентных волокон скелетной мышцы активировались группы мотонейронов в спинном мозге, управляющие не только тонической, но и фазической активностью мышц.

Влияние на реакцию афферентных волокон могли оказывать также биологически активные вещества, содержание которых, по литературным данным, меняется в зоне воздействия магнитным полем [5]. Отмечено, что в результате действия на организм животных магнитных полей достаточно высоких интенсивностей отмечается повышение уровня эндогенного серотонина в скелетной мышце, что приводит ее в состояние повышенной активности, улучшает проведение в нервно-мышечных синапсах. Одним из магнитотерапевтических

механизмов миостимуляции считается увеличение концентрации ацетилхолина, повышение чувствительности к нему мышцы за счет транслокации ионов кальция из миоцитов и увеличение активности фермента ацетилхолинэстеразы периферической нервной системы. При повторном раздражении мышцы ИМП с величиной индукции свыше 1,4 Тл отмечаемые нами эффекты, вероятно, являлись следствием колебательного характера изменений медиатора ацетилхолина и активности фермента ацетилхолинэстеразы в крови и тканях экспериментальных животных.

Все вышеизложенное служило экспериментальным обоснованием применения ВИМП в восстановительном лечении травматических повреждений конечностей у спортсменов. Объектом клинического изучения явились спортсмены обоего пола, средний возраст которых составил $24,2 \pm 2,60$ года, спортивный стаж $11,8 \pm 1,16$ лет. В их числе – представители игровых видов спорта, легкой атлетики, спортивной гимнастики и аэробики с тендовагинитами и тендинитами мышц верхних конечностей, в лечении которых использовалась ВИМП. У спортсменов проанализированы изменения основных ЭНМГ-показателей, происходящих под влиянием магнитотерапии, в сопоставлении с динамикой основных клинических проявлений спортивной травмы (болевого и отека синдромов, снижения мышечной силы).

ЭМГ-обследование проводили в Республиканском центре спортивной медицины на аппарате «Нейро-МВП-4». Использовали методики интерференционной поверхностной миографии и стимуляционной нейромиографии. Запись ЭМГ производили с заинтересованных скелетных мышц конечностей с помощью накожных электродов, располагаемых следующим образом: активный электрод накладывали на моторную точку мышцы; референт – на область сухожилия мышцы или костный выступ дистальнее активного электрода; заземляющий электрод располагали между отводящим и стимулирующим электродами. Тестировали следующие скелетные мышцы: *m. abductor pollicis brevis*, *m. abductor digiti minimi*, *m. extensor carpi radialis*, *m. deltoideus*, *m. biceps brachii*.

При проведении стимуляционной электронейромиографии (ЭНМГ) стимулирующий биполярный электрод накладывали в зоне проекции нерва, иннервирующего данную мышцу, в месте его наиболее поверхностного расположения. Стимуляцию проводили прямоугольными импульсами тока длительностью 0,2 мс, частотой 1 Гц, силой тока (мА) до получения стойкого по амплитуде и латентности вызванного ответа мышцы (М-ответа).

Активность мышцы определяли при произвольном мышечном напряжении вначале на здоровой (интактной) конечности, являющейся, в нашем случае, контрольной, а затем на стороне травмы. На миограмме оценивали амплитуду произвольного напряжения (мкВ), а также частоту импульсации травмированной и интактной мышцы (1/с), на нейромиограмме – максимальную амплитуду М-ответа (мВ), латентный период М-ответа (мс), скорость распространения возбуждения по моторным волокнам (м/с), пороговое значение силы раздражения (мА).

Сравнение зарегистрированных количественных показателей до и после лечения проводили статистическими методами по программе Biostat с использованием непараметрического критерия Уилкоксона с достоверностью различий 95 % ($p < 0,05$).

Применяли контактную сканирующую методику ВИМТ на аппарате «Нейро-МС» с величинами магнитной индукции – 1,1–1,4 Тл, частотой следования стимулов 0,3–0,5 Гц. Продолжительность воздействия и интенсивность выбрали на основе полученных экспериментальных данных: на зону повреждения – по 2 минуты с интервалом 5 минут, общее время процедуры – 15–20 минут. Курс состоял из 8–10 процедур, проводимых ежедневно.

Установлено, что использование ВИМТ по разработанной нами методике способствовало купированию болевого синдрома, отека в зоне травмы и увеличению сниженной мышечной силы. Общая оценка в баллах клинических показателей травмы после курса ВИМТ оказалась достоверно ниже, чем при первичном обследовании спортсменов ($p < 0,02$).

Обнаружено, что в процессе лечения ВИМТ, наряду с уже отмеченной положительной динамикой клинической картины патологического процесса, у пациентов происходила постепенная нормализация ответных реакций ЭНМГ-ответа с заинтересованных возбудимых структур. Так, в процессе проведения ЭНМГ отмечали увеличение изначально сниженных параметров нервно-мышечного проведения в травмированной конечности, регистрируемых до лечения: прирост амплитуды и частоты ЭМГ-паттерна ($p < 0,02$).

При проведении стимуляционной ЭНМГ на травмированной конечности выявили увеличение значений амплитуды М-ответа в сравнении с показателями до лечения ($p < 0,05$). Такие показатели, как скорость распространения возбуждения и латентный период М-ответа и до лечения соответствовали аналогичным показателям интактной конечности ($p > 0,05$), поэтому незначительное их изменение в процессе проведенной магнитотерапии закономерно носило характер тенденции ($p > 0,05$).

В основе отмеченных эффектов ВИМП лежит активация сократительной способности скелетных мышц и снятие мышечного напряжения за счет улучшения проведения импульсов в нервно-мышечных синапсах. Повышение чувствительности мышц к ацетилхолину и нарастание эндогенного серотонина в скелетной мышце приводят ее в состояние повышенной активности, следствием чего является увеличение амплитуды и частоты миографического паттерна [10, 11].

В работах, имеющих отношение к указанной проблеме, авторами подчеркивалось, что использование ВИМП приводит к стабилизации или улучшению функционального состояния нервно-мышечного аппарата, в частности, применение магнитотерапии в реабилитации больных, оперированных по поводу грыж межпозвоночных дисков. Установлена важная роль магнитной стимуляции парных структур при воздействии на область сегментов спинного мозга, о чем свидетельствовала положительная динамика ряда ЭНМГ-показателей как на поврежденной стороне, так и на здоровой [2, 12].

Наши результаты согласуются с представленными ранее. При проведении ЭНМГ-исследования было зарегистрировано увеличение амплитуды и частоты ЭМГ-паттерна, а также амплитуды М-ответа на здоровой конечности, имеющее характер тенденции ($p=0,048$). Отмеченные изменения позволяют предположить, что под действием ВИМП на периферическое звено нейро-моторного аппарата происходит активизация афферентных потоков чувствительных проводящих путей, формирование в структурах ЦНС очага возбуждения с эфферентацией на периферические нервно-мышечные структуры обеих конечностей. ВИМП способствует образованию новых синаптических связей и вовлечению в восстановительный процесс альтернативных двигательных волокон. Таким образом, в условиях действия фактора создаются возможности для более полного восполнения дефицита афферентной импульсации при гипокинезии конечностей в результате травм, а также нормализации процессов мышечной электрической активности тканей.

Наблюдалась значительная корреляционная зависимость ($r=0,91$) между снижением выраженности клинических проявлений травмы и динамикой электромиографических изменений на травмированной конечности после лечения с использованием ВИМП.

В заключение следует отметить, что метод электромиографии надежен, безболезнен и безвреден, что дает возможность более широко его использовать в спортивной практике для оценки биоэлектрической активности нервно-мышечного аппарата.

Полученные предварительные результаты по использованию ВИМП в клинике спортивных травм позволяют надеяться, что разработанная методика займет достойное место в арсенале способов, применяемых при лечении и реабилитации спортивных травм, увеличит реабилитационный потенциал спортсменов, будет способствовать восстановлению их работоспособности.

1. Николаев, С.Г. Практикум по клинической электромиографии / С.Г. Николаев. – Иваново: Ивановская гос. мед. академия, 2003. – 264 с.
2. Skoromets, A.A. Magnetic stimulation in the recuperative therapy of patients with spondylogenic diseases of the nervous system / A.A. Skoromets, V.V. Nikitina // *Neurosci Behav. Physiol.* – 1999. – Vol. 29, № 2. – P. 211–215.
3. Magnetic fields in physical therapy. Experience in orthopedics and traumatology rehabilitation / M.J. Borg [et al.] // *Minerva Med.* – 1996. – Vol. 87, № 10. – P. 495–497.
4. Физиотерапия травм периферических нервов / Л.П. Стрелис [и др.]. – Томск: Красное знамя, 2001. – 270 с.
5. Зубкова, С.М. Современные аспекты магнитотерапии / С.М. Зубкова // *Физиотерапия, бальнеология и реабилитация.* – 2004. – № 3. – С. 3–10.
6. Антонов, А.Б. Действие импульсного магнитного поля высокой интенсивности на восстановление двигательной функции седалищного нерва после травматического поражения: дис. ... канд. мед. наук: 14.00.34 / А.Б. Антонов. – М., 1990. – 150 с.
7. Cytoplasmic Ca^{2+} oscillations in human leukemia T-cells are reduced by 50 Hz magnetic fields / Y. Galvanovskis [et al.] // *Bioelectromagnetics.* – 1999. – Vol. 20, № 5. – P. 269–276.
8. Скоромец, А.А. Топическая диагностика заболеваний нервной системы: руководство для врачей / А.А. Скоромец, Т.А. Скоромец. – СПб.: Полигон, 2000. – 319 с.

9. Influence of ipsilateral transcranial magnetic stimulation on the triphasic EMG pattern accompanying fast ballistic movements in humans / K. Irlbacher [et al.] // J. Physiol. – 2006. – Vol. 574, pt. 3. – P. 917–928.

10. Electric and magnetic stimulation of human motor cortex: surface EMG and single motor unit responses / B.L. Day [et al.] // J. Physiol. – 1989. – Vol. 412. – P. 449–473.

11. Жулев, В.Н. Системы комплексной магнитотерапии общего воздействия с дискретно управляемой структурой магнитного поля: дис. ... д-ра. техн. наук: 05.11.17 [Электронный ресурс] / В.Н. Жулев. – Рязань, 2004. – 456 с. – Режим доступа: <http://diss.rsl.ru/diss/05/0472/050472023.pdf>. – Дата доступа: 12.10.2005.

12. Кистень, О.В. Клинико-физиологическое обоснование и эффективность применения транскраниальной магнитной стимуляции в восстановительном периоде полушарного инфаркта мозга: автореф. дис. ... канд. мед. наук: 14.00.13 / О.В. Кистень; Белорус. мед. академия последипломого образования. – Минск, 2006. – 20 с.

Поступила 11.05.2009

ПАМЯТНИКИ ПРИРОДЫ БЕЛАРУСИ КАК ОБЪЕКТЫ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО ТУРИЗМА

Л.В. Штефан, канд. геол.-минерал. наук, доцент,

Белорусский государственный университет физической культуры

В статье дано определение экологического туризма, показана его значимость как одного из перспективных направлений развития туризма. Раскрыты основные положения Закона «Об охране природы». Перечислены наиболее значимые памятники природы Республики Беларусь. Приведены данные о состоянии экотуризма как в Беларуси, так и за рубежом.

In the article definition of ecological tourism is given, and its significance as one of the perspective directions of tourism development is shown. The main provisions of the Law “About the Nature Protection” are described. The most significant monuments of the nature in the Republic of Belarus are listed. Data concerning the state of ecotourism in Belarus and abroad are presented.

Одним из приоритетных направлений развития туризма в Республике Беларусь признан экологический туризм. Определение, принятое Всемирной туристской организацией (ВТО), гласит: «Экотуризм включает все формы природного туризма, при которых основной мотивацией туристов является наблюдение и приобщение к природе» [1]. Экологический туризм является видом туризма, наиболее близким к окружающей среде в ее широком понимании. Это выражается в более тесных связях со многими сферами, важными для устойчивого развития отдельных территорий и мировой системы в целом. Концепция устойчивого развития получила особую актуальность в условиях современного экологического кризиса. Из всех видов туристской деятельности именно экологический туризм в наибольшей степени соответствует концепции устойчивого развития туризма [2].