

ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ БИОДИНАМИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ДВИГАТЕЛЬНОГО АППАРАТА БАРЬЕРИСТОВ ПРИ АДАПТАЦИИ К ТРЕНИРОВОЧНЫМ И СОРЕВНОВАТЕЛЬНЫМ ФАКТОРАМ

А.А. Семченко, А.В. Ненашева, А.В. Ворожейкина

ФГАОУ ВО «Южно-Уральский государственный университет (НИУ)», Челябинск, Россия

Для связи с авторами: E-mail: semchenkoa@bk.ru

Аннотация:

Бег с барьерами является одним из самых требовательных видов спорта в отношении технического совершенствования двигательных функций. По мнению J. Iskra (2012), структура целостного совершенствования двигательных функций барьеристов в различные фазы системы тренировочно-соревновательной подготовки актуализирует необходимость определенного акцентирования на вопросе изучения сопряженных изменений в функциональных свойствах скелетной мускулатуры. Однако ввиду сложности анализа и высокой затратности инструментальной оценки данных изменений исследования в этом направлении практически не проводятся. Данное обстоятельство предопределило цель нашего исследования – охарактеризовать функциональные изменения биодинамических параметров мышечных групп, реализующих специфическую двигательную деятельность спортсменов-барьеристов, в различные фазы тренировочно-соревновательной подготовки.

Материалы и методы. В исследовании на добровольной основе принимали участие барьеристы высокой и высшей квалификации (n=12). Средний возраст составил $22,8 \pm 0,25$ лет, средний стаж специализации в барьерном беге – $9,14 \pm 0,02$ лет. Мы проводили этапные тестирования биодинамических свойств «стартовых» и «дистанционных» мышечных групп у обследуемых барьеристов. В качестве необходимого инструментария нами был выбран мультисуставный комплекс для нейромышечного тестирования Biodex System 4 Pro (США).

Результаты. Выявлены особенности динамики изменений силовых и скоростных параметров, мощности, билатеральной асимметрии и функционального дисбаланса между мышцами агонистами и антагонистами «стартовых» и «дистанционных» мышечных групп у обследуемых спортсменов при адаптации к специфическим нагрузочным факторам в основные фазы системы тренировочно-соревновательной подготовки.

Заключение. Наиболее выраженные изменения, выявленные нами в процессе поэтапного анализа результатов изокинетического тестирования, объяснимы развитием таких процессов, как формирование миофибрилярного «каркаса» в период базовой подготовки; образование на М-линии миозиновых соединений в ответ на специфические тренировочные воздействия специального этапа; нанизывание структурно-связных ферментных и функциональных белков, накопление и повышение активности которых под воздействием факторов соревновательной подготовки обеспечило силу и быстроту сокращения новых актомиозиновых структур мышц.

Ключевые слова: силовые двигательные способности, «стартовые» и «дистанционные» мышечные группы, изокинетическая полидинамометрия, билатеральное сравнение, тренировочно-соревновательная подготовка, барьерный бег.

FUNCTIONAL CHANGES OF BIODYNAMICAL PARAMETERS OF THE MOTOR SYSTEM OF HURDLERS DURING ADAPTATION TO TRAINING AND COMPETITIVE FACTORS

A.A. Semchenko, A.V. Nenasheva, A.V. Vorozheykina

South Ural State University (National Research University), Chelyabinsk, Russia

Abstract:

Introduction. Hurdling is one of the most demanding sports in terms of the technical improvement of motor functions. According to J. Iskra (2012), the structure of the holistic improvement of the motor functions of hurdlers at different phases of the system of training and preparation for competitions actualizes the need for highlighting the issue of studying the associated changes in the skeletal muscles functions. However, there are very few studies in this field because of the analysis complexity and the high cost of instrumental assessment of those changes. This circumstance turned out to be the prerequisite for the purpose of our study - to characterize the

functional changes in the biodynamic parameters of muscle groups providing specific motor activity of hurdlers at various phases of training and preparation for competitions.

Materials and methods. Highly qualified and elite hurdlers ($n = 12$) participated in the research as a volunteers. The average age was 22.8 ± 0.25 years, the average hurdling experience was 9.14 ± 0.02 years. We carried out benchmark testing of the biodynamic features of the «starting» and «distant» muscle groups of the observed hurdlers. We chose Biodex System 4 Pro (USA) multi-articular complex for neuromuscular testing as the essential tool.

Results. The research revealed the peculiarities of the change dynamics of the strength and speed parameters, power, bilateral asymmetry and functional imbalance between agonist and antagonist muscles of the «starting» and «distant» muscle groups of the examined athletes during the adaptation to specific exercise load factors at the main phases of the system of training and preparation for competitions.

Conclusion. The most evident changes revealed in the process of benchmark analysis of isokinetic testing outcomes can be explained by the development of such processes as the development of the myofibrillar «frame» at the initial preparation period; setting of myosin compounds on M-lines as a reaction to specific training effects of a special stage; stringing of structurally-linked enzyme and functional proteins, the accumulation and activity increase of which ensured the contraction strength and speed of new actomyosin muscle structures under the influence of competitive training factors.

Keywords: strength motor capacity, «starting» and «distant» muscle groups, isokinetic polydynamometry, bilateral comparison, training and preparation for competitions, hurdling.

ВВЕДЕНИЕ

Бег с барьерами является одним из самых требовательных видов спорта в отношении технического совершенствования двигательных функций [1, 2, 4, 6, 7].

По мнению J. Iskra (2012), структура целостного совершенствования двигательных функций барьеристов в различные фазы системы тренировочно-соревновательной подготовки актуализирует необходимость определенного акцентирования на вопросе изучения сопряженных изменений в функциональных свойствах скелетной мускулатуры [5]. Однако ввиду сложности анализа и высокой затратности инструментальной оценки данных изменений исследования в этом направлении практически не проводятся.

В единичных исследованиях зарубежных специалистов сообщалось о наличии взаимосвязи эффективности специфической двигательной деятельности с такими показателями, как работа, сила и мощность при проведении изокинетической полидинамометрии [8]. Данное обстоятельство предопределило цель нашего исследования – охарактеризовать функциональные изменения биодинамических параметров мышечных групп, реализующих специфическую двигательную деятельность спортсменов-барьеристов, в различные фазы тренировочно-соревновательной подготовки.

Методика и материал исследования. Ис-

следование проводилось на базе Научно-исследовательского центра спортивной науки Института спорта, туризма и сервиса ФГАОУ ВО ЮУрГУ (Национальный исследовательский университет). В исследовании на добровольной основе принимали участие барьеристы высокой квалификации в количестве 12 человек (из них 2 мастера спорта международного класса, 3 мастера спорта РФ, 4 кандидата в мастера спорта и 3 атлета, имеющих первый взрослый спортивный разряд). Средний возраст составил $22,8 \pm 0,25$ лет, средний стаж специализации в барьерном беге – $9,14 \pm 0,02$ лет.

В соответствии с поставленной целью мы проводили этапные тестирования биодинамических свойств «стартовых» и «дистанционных» мышечных групп у обследуемых барьеристов.

В качестве необходимого инструментария нами был выбран роботизированный мультисуставный комплекс для нейромышечного тестирования Biodex System 4 Pro (США).

Сообразно биодинамике барьерного бега для оценки функциональных изменений «стартовых» и «дистанционных» мышечных групп при адаптации к тренировочным и соревновательным факторам нами были определены такие тестирующие упражнения, как сгибание и разгибание тазобедренного и коленного суставов соответственно.

Угловые скорости выполнения данных упраж-

нений были подобраны нами в соответствии с действующими нормативными величинами для здорового человека: в тесте сгибание/разгибание тазобедренного сустава – 45 град/с и 300 град/с; в тесте сгибание/разгибание коленного сустава – 60 град/с и 300 град/с.

Тестирование проводилось в изокинетическом режиме, позволяющем измерять аккомодационную резистентность функциональных параметров скелетной мускулатуры по заданному диапазону движения.

Статистическая обработка результатов осуществлялась с использованием пакета программ Statistica 10.0. Достоверность различий определялась по таблице вероятностей $p(t) \geq (t_r)$, по распределению Стьюдента. Критическое значение уровня статистической значимости принималось равным 0,05. Декриптивные статистики в тексте представлены как $M \pm m$, где M – среднее арифметическое, а m – ошибка средней.

Результаты исследования и их обсуждение. Согласно полученным нами данным изокинетического тестирования «стартовых» мышечных групп в период базовой подготовки, у обследуемых барьеристов выявлялась латеральная асимметрия между максимальными показателями мышечной силы опорной и маховой ноги ($p \leq 0,05$) (таблица 1).

При этом наблюдалось аналогичное достоверное различие в процентном отношении пика вращающего момента к весу тела спортсменов, в связи с чем можно предположить, что подобная функциональная различность обуславливается неравномерным соотношением масс контралатеральных конечностей.

Асимметрия силовых характеристик между опорной частью ТБС и маховой нами была также установлена на специальном этапе при угловой скорости в 300 град/с ($p \leq 0,05$) (таблица 2). Отсутствие подобного различия на низкой угловой скорости свидетельствует о более высоком уровне силовой выносливости маховой ноги, что логично соотносится с особенностями данного этапа системы тренировочно-соревновательной подготовки (ТСП) барьеристов – высоким объемом тренировочной работы, связанной с отработкой движений маховой ногой в режиме субмаксимальной мощности продолжительностью до 4 минут, т.е. в условиях анаэробно-гликолитического энергообеспечения.

Тенденция достоверного увеличения максимальной мышечной силы «стартовых» мышечных групп фиксировалась при переходе от базового к специальному этапу ($p \leq 0,05$), однако в период соревновательной практики

Таблица 1 – Показатели силовых двигательных способностей «стартовых» мышечных групп у высококвалифицированных барьеристов в период базовой подготовки ($M \pm m$)

Сустав, угл. скорость	Параметр	Пик ВРМ, Нм		Пик ВРМ/ВТ, %	
		↑	↓	↑	↓
ТБС (опорная нога), 45 град/с		153,12±0,71	212,1±9,75	201,47±3,87	247,36±16,75
ТБС (маховая нога), 45 град/с		140,39±5,01	191,91±0,28	184,13±5,09°	252,31±11,8
ТБС (опорная нога), 300 град/с		40,5±2,04	136,08±2,01	53,94±0,42	179,23±3,44
ТБС (маховая нога), 300 град/с		34,9±0,16°	129,1±1,04°	48,53±2,19°	169,28±1,19°

Примечание: ТБС – тазобедренный сустав; ↑, ↓ – сгибание и разгибание сустава; ° – $p \leq 0,05$ – различия достоверны относительно опорной и маховой ноги

Таблица 2 – Показатели силовых двигательных способностей «стартовых» мышечных групп у высококвалифицированных барьеристов на специальном этапе системы ТСП ($M \pm m$)

Сустав, угл. скорость	Параметр	Пик ВРМ, Нм		Пик ВРМ/ВТ, %	
		↑	↓	↑	↓
ТБС (опорная нога), 45 град/с		161,04±3,15	234,2±1,07	202,05±1,57	293,51±10,5
ТБС (маховая нога), 45 град/с		155,87±0,77	229,54±15,1	195,57±4,8	288,05±6,14
ТБС (опорная нога), 300 град/с		46,02±0,32	144,54±2,22	57,41±1,15	181,08±5,31
ТБС (маховая нога), 300 град/с		41,31±2,13°	133,08±3,6°	51,37±2,04°	166,96±1,1°

Примечание: ТБС – тазобедренный сустав; ↑, ↓ – сгибание и разгибание сустава; ° – $p \leq 0,05$ – различия достоверны относительно опорной и маховой ноги

статистически значимых отличий мы не обнаружили (таблица 3).

На этом фоне интерес представляла динамика показателей средней мощности данных мышечных групп, достоверное увеличение которых и при сгибании ТБС, и при его разгибании было установлено, напротив, только в соревновательный период ($p \leq 0,05$) (таблица 4).

Единообразная картина динамики групповых

показателей средней мощности наблюдалась нами и при анализе биодинамических характеристик «дистанционных» мышечных групп у обследуемых барьеристов (таблица 5). Это позволило нам предположить, что специфические факторы целенаправленного повышения спортивного мастерства бегунов с барьерами на специальном этапе системы ТСП активизируют механизмы гипертрофии существующих мышечных волокон, а также

Таблица 3 – Показатели изменений пика вращающего момента в «стартовых» мышечных группах у высококвалифицированных барьеристов в системе ТСП ($M \pm m$), Нм

Этап		Сустав, угл. скорость			
		ТБС (опорная нога), 45 град/с	ТБС (маховая нога), 45 град/с	ТБС (опорная нога), 300 град/с	ТБС (маховая нога), 300 град/с
Базовый	↑	153,12±0,71	140,39±5,01	40,5±2,04	34,9±0,16
	↓	212,1±9,75	191,91±0,28	136,08±2,01	129,1±1,04
Специальный	↑	161,04±3,15*	155,87±0,77*	46,02±0,32*	41,31±2,13*
	↓	234,2±1,07*	229,54±15,1*	144,54±2,22*	133,08±3,6*
Соревновательный	↑	169,2±1,19	160,16±4,82	48,57±1,97	45,04±2,37
	↓	242,07±2,78	247,84±1,76	144,39±0,94	138,7±8,55

Примечание: ТБС – тазобедренный сустав; ↑, ↓ – сгибание и разгибание сустава; * – $p \leq 0,05$ – различия достоверны относительно базового и специального этапов

Таблица 4 – Динамика изменений средней мощности при тестировании «стартовых» мышечных групп у высококвалифицированных барьеристов в системе ТСП ($M \pm m$), Вт

Этап		Сустав, угл. скорость			
		ТБС (опорная нога), 45 град/с	ТБС (маховая нога), 45 град/с	ТБС (опорная нога), 300 град/с	ТБС (маховая нога), 300 град/с
Базовый	↑	61,49±7,17	56,29±2,86	15,24±4,2	13,31±1,65
	↓	85,46±4,72	77,23±7,93	54,34±2,19	51,85±1,97
Специальный	↑	64,62±1,17	62,26±2,11	17,76±1,04	15,57±3,32
	↓	94,48±2,84	93,95±1,22	57,93±1,46	53,12±2,03
Соревновательный	↑	69,76±1,51^	68,62±0,95^	23,17±2,2^	22,72±0,92^
	↓	101,79±1,42^	100,59±2,3^	62,28±0,73^	58,05±0,61^

Примечание: ТБС – тазобедренный сустав; ↑, ↓ – сгибание и разгибание сустава; ^ – $p \leq 0,05$ – различия достоверны относительно специального и соревновательного этапов

Таблица 5 – Динамика изменений средней мощности при тестировании «дистанционных» мышечных групп у высококвалифицированных барьеристов в системе ТСП ($M \pm m$), Вт

Этап		Сустав, угл. скорость			
		КС (опорная нога), 45 град/с	КС (маховая нога), 45 град/с	КС (опорная нога), 300 град/с	КС (маховая нога), 300 град/с
Базовый	↑	61,49±7,17	56,29±2,86	15,24±4,2	13,31±1,65
	↓	85,46±4,72	77,23±7,93	54,34±2,19	51,85±1,97
Специальный	↑	64,62±1,17	62,26±2,11	17,76±1,04	15,57±3,32
	↓	94,48±2,84	93,95±1,22	57,93±1,46	53,12±2,03
Соревновательный	↑	69,76±1,51^	68,62±0,95^	23,17±2,2^	22,72±0,92^
	↓	101,79±1,42^	100,59±2,3^	62,28±0,73^	58,05±0,61^

Примечание: КС – коленный сустав; ↑, ↓ – сгибание и разгибание сустава; ^ – $p \leq 0,05$ – различия достоверны относительно специального и соревновательного этапов

механизмы усиления и синхронизации большего количества двигательных единиц в них, за счет чего происходит значительное увеличение максимальных силовых возможностей двигательного аппарата спортсменов. Однако на этапе соревновательной подготовки рост функциональных возможностей двигательного аппарата барьеристов связан, вероятнее, с механизмом повышения активности миоминовой АТФ-азы за счет появления новых гликолитических мышечных волокон, вследствие чего увеличивается не максимальная мышечная сила, а скорость ее генерации (мощность). В этой связи подобные функциональные изменения могут выступать в качестве маркера процесса совершенствования двигательных возможностей скелетных мышц, реализующих соревновательные действия барьериста. На специальном этапе при сравнительной билатеральной оценке мышц сгибателей КС показатели суммарной мышечной силы в повторе с максимально выполненной работой опорной ноги достоверно превосходили показатели маховой (на 12,26 с) на угловой скорости 300 град/с ($p \leq 0,05$). Данный факт может свидетельствовать, на наш взгляд, о недостаточности синтеза нейромедиаторов в представленной мышечной группе на фоне развивающегося утомления, что привело к угнетению процесса генерации максимальной силы во всем диапазоне движения. Следует отметить, что отсутствие по-

добного функционального дисбаланса между этими показателями на угловой скорости 60 град/с констатирует необходимость проведения этапной изокинетической полидинамометрии у барьеристов и на высоких (≥ 180 град/с), и на низких (< 180 град/с) скоростях для выявления возможных патобномеханических явлений и их своевременной коррекции. При анализе показателей отношения реципрокных мышечных групп у обследуемых барьеристов в период специальной подготовки было установлено, что данные показатели выше на 5,33% при угловой скорости 300 град/с в ТБС опорной ноги и на 5,11% выше в КС маховой ноги при той же угловой скорости ($p \leq 0,05$) (рисунок 1). Поскольку данное достоверное увеличение не превышало физиологически допустимых интервалов функционального дисбаланса между мышцами агонистами и антагонистами одного сустава ($> 10\%$), а также к соревновательному этапу произошло выравнивание этих показателей, можно предположить, что эти колебания связаны с адаптивным процессом совершенствования механизмов коактивации мышц сгибателей и разгибателей у спортсменов-барьеристов в условиях высокой интенсивности тренировочной программы специального этапа, что позволило на этапе соревновательной практики генерировать в «стартовых» и «дистанционных» мышечных группах максимально быстрое сокращение.

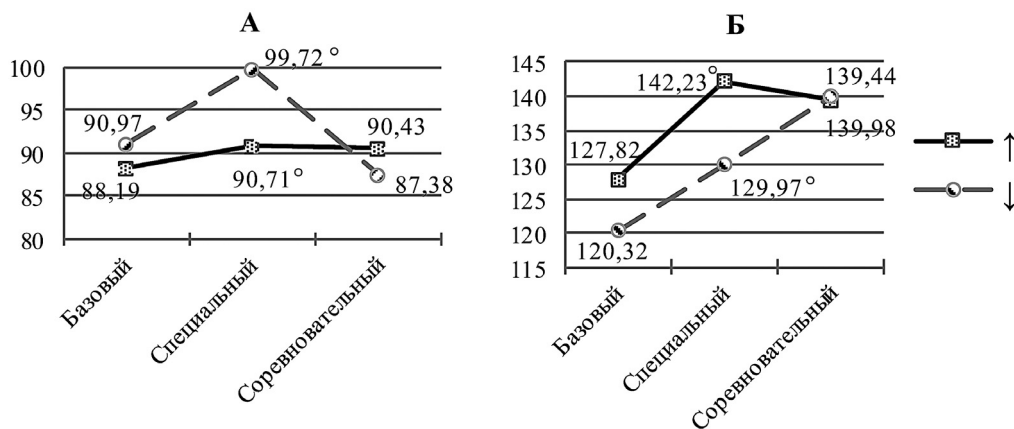


Рисунок 1 – Изменения показателей отношения агонистов и антагонистов «стартовых» (А) и «дистанционных» (Б) мышечных групп у высококвалифицированных барьеристов в динамике тренировочно-соревновательной подготовки

Примечание: ↑, ↓ – сгибание и разгибание сустава; ° – $p \leq 0,05$ – различия достоверны относительно реципрокных мышечных групп

ЗАКЛЮЧЕНИЕ. Наиболее выраженные изменения, выявленные нами в процессе поэтапного анализа результатов изокинетического тестирования «стартовых» и «дистанционных» мышечных групп у барьеристов высокой и высшей квалификации, объяснимы развитием таких процессов, как формирование миофибрилярного «каркаса» в период базовой подготовки; образование на М-линиях миомиозиновых соединений в ответ на специфические тренировочные воздействия специального этапа; нанизывание структурно-связных ферментных и функциональных белков (миозин, F-актин, тропонин, тропомиозин), на-

копление и повышение активности которых под воздействием факторов соревновательной подготовки обеспечило силу и быстроту сокращения новых актомиозиновых структур мышц.

Таким образом, благодаря описанным выше функциональным изменениям обеспечивается динамическая стабильность двигательного аппарата барьеристов при подведении их к кульминационным состязаниям, а также увеличивается реципрокное время иннервации мышечных групп, ответственных за реализацию соревновательного упражнения в барьерном беге.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ледовская, О. А. Индивидуализация процесса технической подготовки юных барьеристов с учетом их антропометрических особенностей и посильности формируемого двигательного действия / О. А. Ледовская // Сибирский педагогический журнал. – 2008. – № 6. – С. 369-374.
2. Мирзоев, О. М. Критерии оценки технического и тактического мастерства легкоатлетов-спринтеров и барьеристов в условиях соревновательной деятельности / О. М. Мирзоев // Олимпийский бюллетень. – 2011. – № 12. – С. 179-184.
3. Jarver, J. The hurdles – Contemporary theory, technique and training / J. Jarver, El Camino Real : Tafnews Press. – 1997. – 131 p.
4. Integrative role of awareness levels of athletes of their individual gender characteristics / N. V. Uvarina, A. V. Vorogejkina, N. V. Mamylna, A. A. Semchenko, A. A. Podgorbunskikh // Journal of Pharmaceutical

Sciences and Research. – 2017. – Vol. 9, № 7. – P. 1184-1187.

5. Iskra, J. Scientific research in hurdle races / J. Iskra, Katowice: AWF. – 2012. – 131 p.
6. McDonald, C. Linear kinematics of the men's and woman's hurdles races / C. McDonald, J. Dapena, // Medicine and Science in Sports Exercise. – 1991. – № 23(12). – P. 1382-1402.
7. Psychophysiological Determinants of Successful Training and Competitive Activity of Martial Artists / V. I. Pavlova, D. A. Saraykin, Yu. G. Kamskova, N. A. Belousova, Ya. V. Latyushin, A. A. Semchenko // Journal of Pharmaceutical Sciences and Research. – 2017. – Vol. 9, № 10. – P. 1792-1796.
8. Sanfi Lippo, J. L. Hamstring strength and morphology progression after return to sport from in-jury / J. L. Sanfi Lippo, A. Slider, M. A. Sherry, M. J. Tuite, B. C. Heiderscheit // Med Sci sports Exerc. – 2013. – № 45(3). – P. 448-453.

LIST OF REFERENCES

1. Ledovskaya, O. A. Individualization of the process of technical training of young hurdlers considering their anthropometric features and the feasibility of the motor action being formed O. A. Ledovskaya // Siberian Pedagogical Journal. – 2008. – № 6. – P. 369–374.
2. Mirzoev, O. M. Assessment criteria of the technical and tactical skills of athletes-sprinters and hurdlers in conditions of competitive activity / O. M. Mirzoev // Olympic Bulletin. – 2011. – № 12. – P. 179-184.
3. Jarver, J. The hurdles – Contemporary theory, technique and training / J. Jarver, El Camino Real: Tafnews Press. – 1997. – 131 p.
4. Integrative role of awareness levels of athletes of their individual gender characteristics / N. V. Uvarina, A. V. Vorogejkina, N. V. Mamylna, A. A. Semchenko, A. A. Podgorbunskikh // Journal of Pharmaceutical Sci-

ences and Research. – 2017. – Vol. 9, № 7. – P. 1184-1187.

5. Iskra, J. Scientific research in hurdle races / J. Iskra, Katowice: AWF. – 2012. – 131 p.
6. McDonald, C. Linear kinematics of the men's and woman's hurdles races / C. McDonald, J. Dapena, // Medicine and Science in Sports Exercise. – 1991. – № 23(12). – P. 1382-1402.
7. Psychophysiological Determinants of Successful Training and Competitive Activity of Martial Artists / V. I. Pavlova, D. A. Saraykin, Yu. G. Kamskova, N. A. Belousova, Ya. V. Latyushin, A. A. Semchenko // Journal of Pharmaceutical Sciences and Research. – 2017. – Vol. 9, № 10. – P. 1792-1796.
8. Sanfi Lippo, J. L. Hamstring strength and morphology progression after return to sport from in-jury / J. L. Sanfi Lippo, A. Slider, M. A. Sherry, M. J. Tuite, B. C. Heiderscheit // Med Sci sports Exerc. – 2013. – № 45(3). – P. 448-453.