

УДК 612.766.1

## **К ВОПРОСУ ОБ ИНДИВИДУАЛЬНЫХ ФОРМАХ АНАЛИЗА ТРЕМО - И ТЕППИНГОГРАММ ПАЛЬЦЕВ РУК**

**Н.Е. Медведева<sup>1</sup>, А.Я. Рыжов<sup>2</sup>, Л.В. Волнухина<sup>3</sup>,  
Д.И. Игнатьев<sup>2</sup>, С.В. Комин<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>МОУ Гимназия № 44, Тверь

<sup>2</sup>Тверской государственный университет, Тверь

<sup>3</sup>ООО «Савватеево», Тверь

В статье, имеющей методическое направление, отражены результаты анализа осциллографических данных тремо- и теппингограмм пальцев рук. Представлены непараметрические методы оценки результатов экспериментальных исследований с точки зрения законов их распределения. Определены выраженные различия показателей правой и левой рук интервалограмм тремора и теппинга, как в индивидуальном, так и в групповом вариантах.

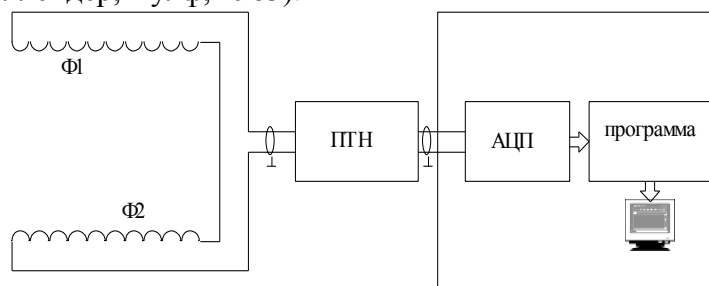
**Ключевые слова:** *физиологический тремор, теппинг, управление движениями, распределение интервалов, варибельность данных.*

Двигательные системы человека, как известно, иерархичны по уровням управления и сложны по формам регуляции, что предъявляет к методикам исследования движений особые требования. В этом плане существенный интерес представляют ритмические движения пальцев рук, при изучении которых отбор экспериментальных методик может отразить, разные уровни регуляции сходных по структуре двигательных актов. Подобные исследования, направленные на получение репрезентативных данных статистических выборок испытуемых должны базироваться на результатах экспериментальной работы индивидуального характера, позволяющей достаточно полно выявить физиологические механизмы управления двигательной сферой человеческого организма (Рыжов, 1998; Комин и др., 2005; Breme, Guler, 2005). Непроизвольные ритмические движения дистальных кинематических звеньев конечностей, обозначаемые как физиологический тремор, несмотря на значительный исторический пласт их исследований, в настоящее время не имеют унифицированных авторитетных объяснений природы их механизмов, если не считать клинических проявлений. Произвольные ритмические движения дистальных звеньев рук, известные как теппинг-тест, широко используются не только для характеристики нервно-мышечного аппарата, но и в качестве показателя состояния ЦНС испытуемых. В то же время теппинговые движения пальцев рук являются в своей основе периодическим процессом, который при соответствующих регистрации и анализе может, как и тремор, составить основу лабораторного моделирования сенсомоторной работы (Knyazeva et al., 1994;

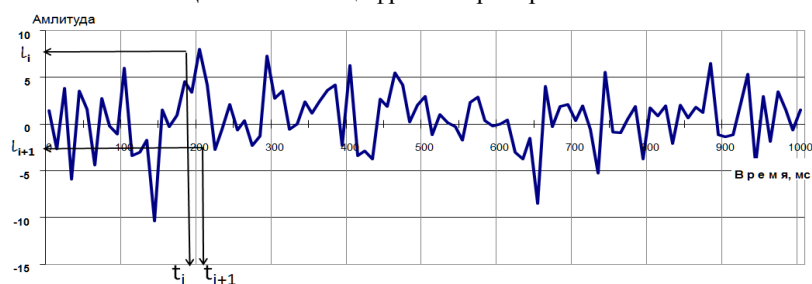
Цель представляемой методической работы – количественный анализ результатов индивидуальных исследований временных параметров произвольных (физиологический тремор) и произвольных (теппинг) ритмических двигательных актов пальцев рук.

**Методика.** На первом этапе исследований эксперименты осуществлялись при помощи специально разработанного электронно-вычислительного комплекса «Tremor» (Гречишкин и др., 2005), схема которого показана на рис. 1. Испытуемому, находящемуся в положении сидя с фиксированным на специальном устройстве предплечьем и пястью правой руки, предлагалось удерживать пальцы между измерительными обмотками  $\Phi 1$  и  $\Phi 2$ . При этом на пальцы надевался специальный наконечник массой 30 г, со встроенным намагниченным образцом, регистрирующим произвольные движения пальцев по вертикальной амплитуде в мкм и частоте в дв/с. В качестве первой случайной исследуемой величины выбрано значение  $\Delta t_i = t_i - t_{i-1}$  – интервал времени между двумя последовательными максимумами (минимумами) произвольных колебаний (рис. 2).

По своему внешнему виду статистический ряд данных, осциллографически характеризующих физиологический тремор как правой так и левой рук, напоминает распределение Релея-Райса (Зюко, 1980; Холлендер, Вулф, 1983).



Р и с . 1 . Электронно-вычислительный комплекс Tremor:  $\Phi 1, \Phi 2$  – пара измерительных обмоток, ПТН – преобразователь ток-напряжение, АЦП – аналого-цифровой преобразователь



Р и с . 2 . Обозначения точек расчета характеристик тремографического сигнала:  $l_i, l_{i+1}$  – значения соответствующих экстремумов,  $t_i, t_{i+1}$  – времена соответствующих экстремумов

Субъективная оценка подтверждается результатами проверки степени совпадения знаков по критерию согласия Пирсона, который для указанных знаков равен:  $\chi^2 = 6,01$  (Холлендер, Вулф, 1983).

В процессе обработки цифрового сигнала, пропорционального спонтанному перемещению пальцев, программа «Tremor» осуществляет поиск осциллографических экстремумов (рис. 2). Затем производится расчет их номеров и положений во времени (частота движений) и пространстве (амплитуда), как представлено в табл. 1 и 2.

Таблица 1  
Формат данных, выводимых измерительной системой Tremor

Номер	Время	Интервалы времени
$i$	$t_i$	
$i+1$	$t_{i+1}$	$t_{i+1} - t_i$
$i+2$	$t_{i+2}$	$t_{i+2} - t_{i+1}$
$i+3$	$t_{i+3}$	$t_{i+3} - t_{i+2}$

Таблица 2  
Данные, характеризующие физиологический тремор  
левой и правой руки испытуемой М., 36 лет

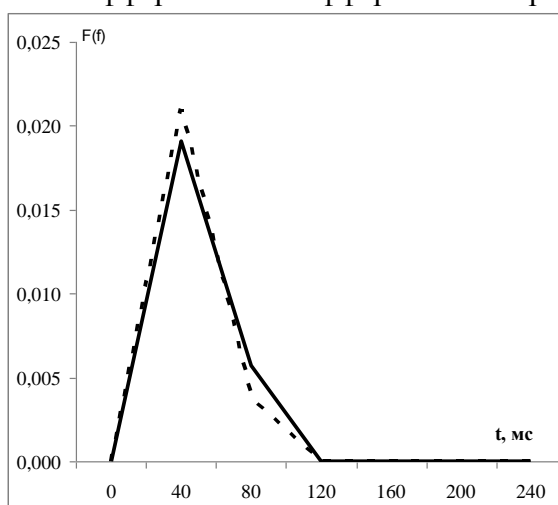
$\Delta t$	Значение плотности вероятности (правая рука)	Значение плотности вероятности (левая рука)
0	0,000	0,000
20	0,005	0,009
40	0,019	0,021
60	0,019	0,015
80	0,006	0,004
100	0,001	0,000
120	0,000	0,000

Объективный анализ осуществлён на основе знакового критерия Вилкоксона, выбор которого обусловлен тем, что распределительные законы анализируемых массивов не являются нормальными. Поэтому случайные значения разности экспериментальных данных, соответствующих левой и правой руке не подчиняются как нормальному закону, так закону распределения Стьюдента (Гмурман, 1977).

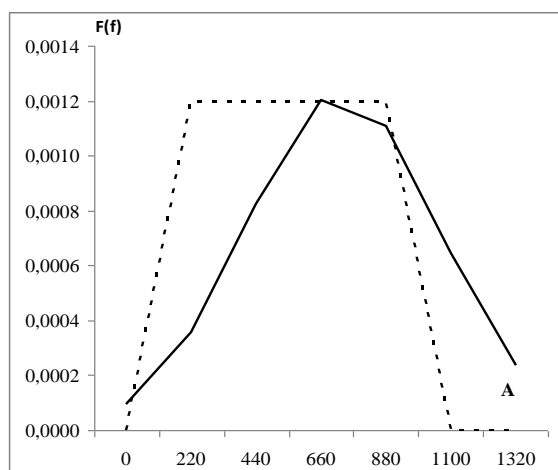
Представленные в табл. 3 результаты объективного анализа статистической эквивалентности данных с вероятностью ошибки второго рода, не превышающей значения  $\alpha=0,1$ , позволяют утверждать, что по критерию знаковых рангов Вилкоксона законы распределения, характеризующие статистические данные левой и правой рук, не отличаются друг от друга по математическому ожиданию.

В аналогичном положении испытуемого регистрировались произвольные ритмические движения пальцев его руки посредством

электронно-вычислительного комплекса Stepper (Гречишкин и др., 2005) (рис. 4). При этом фиксация предплечья и пясти была идентична фиксации руки при регистрации тремограммы, а длины движущихся пальцев в обоих случаях у одного и того же испытуемого – практически одинаковы. При теппингографии инструктаж испытуемых был направлен не на силу ударов, а на их частоту. Поэтому при ритмических движениях равных по длине дистальных звеньев рук в качестве основного критерия уровней их регуляции служит частотный параметр и, соответственно, временная разница в двигательных циклах подъем-спуск при треморе и удар-замах при теппинге. Естественно, время двигательного цикла теппинга, как произвольного движения, априори должно превышать время произвольного цикла тремора, вследствие разницы протяжения афферентных и эфферентных нервных путей ЦНС.



А



Б

Р и с . 3 . Результат наложения графиков плотностей вероятности временных интервалов (А) и амплитуды (Б), характеризующие данные левой и правой рук испытуемой М., 36 лет

Данные, характеризующие сходство (различие) законов распределения на основе знакового критерия Вилкоксона

$\Delta t$ , мс	Статистические данные		Параметры в распределении Вилкоксона	
	правая рука	левая рука	ранг	переменная-счётчик
	$P_{\text{пр}}(\Delta t)$	$P_{\text{лев}}(\Delta t)$	$R_i$	$m_i$
0	0,000	0,000	1	0
20	0,005	0,009	2	0
40	0,019	0,021	3	0
60	0,019	0,015	4	1
80	0,006	0,004	5	1
100	0,001	0,000	6	1
120	0,000	0,000	7	0
Параметр $T^+ =$				15
Параметр $t(0,1;7) =$				22

Визуально на теппингографической кривой (рис. 4), своеобразно представляющей лабораторную модель сенсомоторной работы, отмечаются в общих чертах периоды работоспособности: а) вработывание (поиск оптимального процесса) – движения 1-16; б) оптимальная, устойчивая работоспособность – 16-58; в) утомление – движения 58-88, включая конечный порыв – 61-73. Естественно, подобная лабораторная модель требует более тщательного и четкого математического анализа.

Поскольку в доступной литературе не было найдено осциллографических аналогов регистрации теппинга, данная методика запатентована нашей лабораторией в Федеральной службе по интеллектуальной собственности, патентом с товарным знаком (Роспатент). Она зарегистрирована как «Устройство для проведения теппинг-теста» (патент на полезную модель № 113131 от 10.02.2012).

Математическая обработка результатов помимо вычисления статистических параметров включала парный и лонгитудинальный корреляционный анализ, проводимый индивидуально, по групповым выборкам и совокупно (по всему массиву).

Наличие законов распределения, адекватных исследуемым случайным величинам, позволяет провести анализ степени совпадения статистических данных (Рыжов и др., 1994; Вентцель, Овчаров, 2000), характеризующих физиологические параметры левой и правой рук (табл. 5, рис. 5).

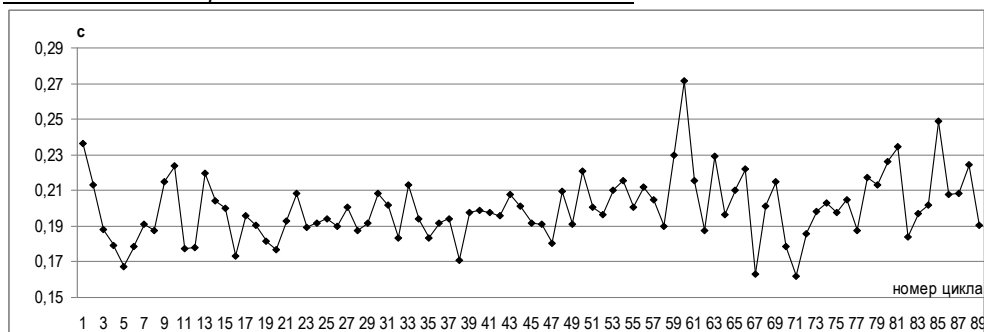


Рис. 4. Теппингограмма пальцев испытуемой М., 36 лет

Таблица 4  
Формат данных, выводимых измерительной системой Impuls

Номер	Время	Период
I	$t_i$	$t_i - t_{i-1}$
i+1	$t_{i+1}$	$t_{i+1} - t_i$
i+2	$t_{i+2}$	$t_{i+2} - t_{i+1}$
i+3	$t_{i+3}$	$t_{i+3} - t_{i+2}$

Таблица 5  
Данные, характеризующие теппинг-тест левой и правой рук  
испытуемой М., 36 лет

$\Delta t$	Значение плотности вероятности (правая рука)	Значение плотности вероятности (левая рука)
171	0,0117	0,0057
187	0,0278	0,0161
203	0,0213	0,0217
219	0,0053	0,0141
235	0,0005	0,0044
251	0,0004	0,0007
267	0,0001	0,0000

Субъективный анализ графиков, представленных на рис. 5, позволяет дать предварительное заключение о статистической неоднородности данных теппинг-теста левой и правой руки. Результаты объективного анализа статистической эквивалентности данных представлены в табл. 5.

С вероятностью ошибки второго рода, не превышающей значения  $\alpha=0,1$ , можно утверждать, что по критерию знаковых рангов Вилкоксона законы распределения, характеризующие статистические данные теппинг-теста левой и правой руки принадлежат разным генеральным совокупностям.

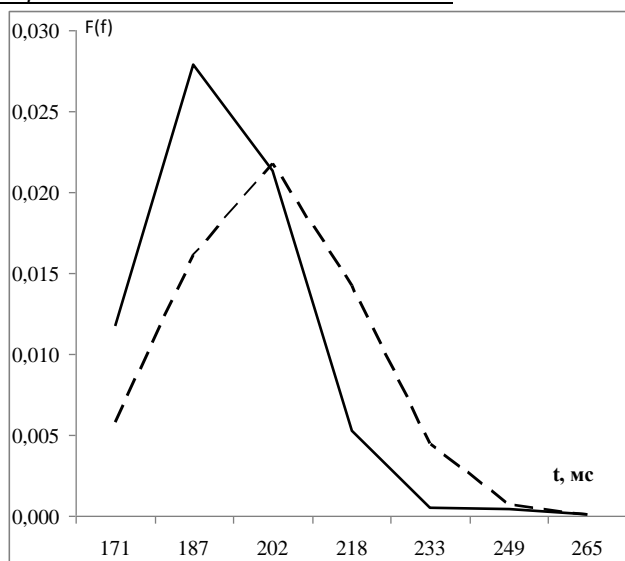
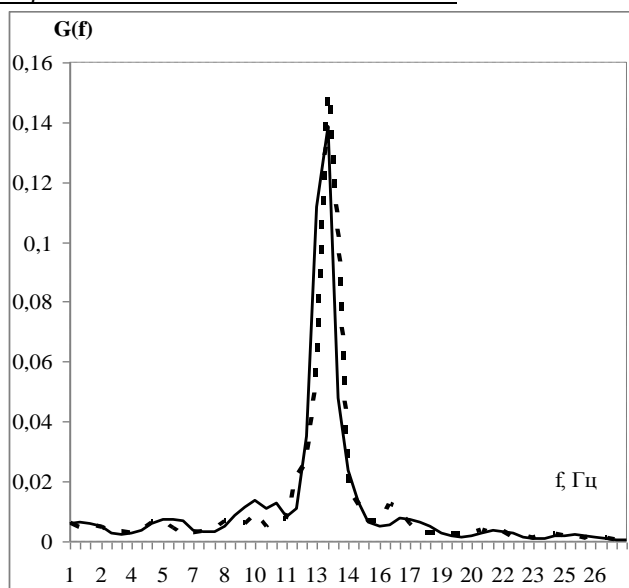


Рис. 5. Результат наложения графиков, характеризующие плотность вероятности параметров теппинг-теста левой и правой рук испытуемой М., 36 лет

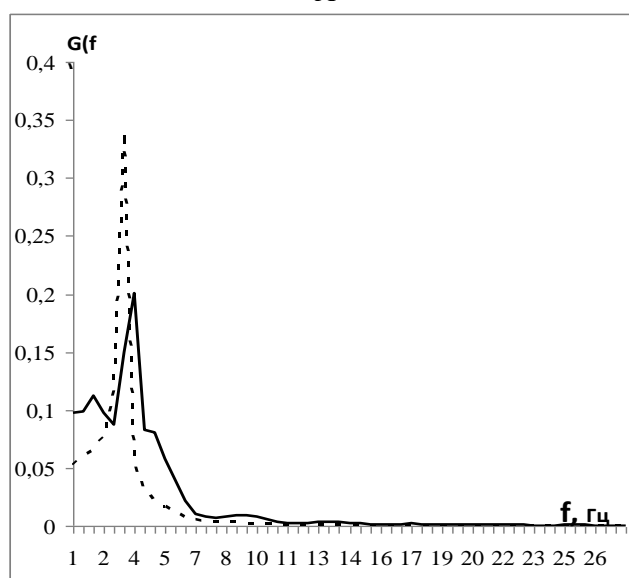
Таблица 5

Данные, характеризующие сходство (различие) законов распределения на основе знакового критерия Вилкоксона

Δt, мс	Статистические данные		Параметры в распределении Вилкоксона	
	правая рука	левая рука	ранг	переменная-счётчик
	$P_{пр}(\Delta t)$	$P_{лев}(\Delta t)$	$R_i$	$m_i$
171	0,0117	0,0057	1	0
187	0,0278	0,0161	2	0
203	0,0213	0,0217	3	1
219	0,0053	0,0141	4	1
235	0,0005	0,0044	5	1
251	0,0004	0,0007	6	1
267	0,000	0,000	7	0
Параметр $T^+ =$				25
Параметр $t(0,1;7) =$				22



А



Б

Рис. 6. Нормированная спектральная плотность мощности тремора правой (сплошная линия) и левой (штриховая) рук (А).

Нормированная спектральная плотность мощности теппинга правой (сплошная линия) и левой (штриховая) рук (Б) испытуемой М., 36 лет

Таким образом, установлено, что в физиологическом треморе, как совокупном процессе всего массива, преобладают низкочастотные составляющие сигнала, а при выполнении теппинг-теста – высокочастотные (рис. 6) (Андреева, Хуторская, 1987).

Полагаем, что использование силомоментных датчиков –



перспективная форма неинвазивной методики исследования ранних неврологических нарушений, в связи с чем рекомендуем использовать не только амплитудно-частотные характеристики тремора и теппинга, но учитывать длину волн, а также количество и характер пиков в спектре мощности его сигнала.

### Список литературы

- Андреева Е.А., Хуторская О.Е.* 1987. Спектральный метод анализа электрической активности мышц. М.: Наука. 104 с.
- Вентцель Е.С., Овчаров Л.А.* 2000. Теория вероятностей и её инженерные приложения. М.: Высш. шк. 480 с.
- Гмурман В.Е.* 1977. Теория вероятностей и математическая статистика. М.: Высш. шк. 479 с.
- Гречишкин Р.М., Сошин С.С., Комин С.В., Рыжов А.Я., Щербакова Н.Е.* 2005. Физиологическая оценка системы управления произвольными и произвольными движениями руки // Актуальные проблемы физиологии труда. Тверь: ТвГУ. 153 с.
- Зюко А.Г.* 1980. Теория передачи сигналов. М.: Связь. 288 с.
- Комин С.В., Рыжов А.Я., Сурсимова О.Ю.* 2005. Проблема управления ритмическими движениями руки в возрастном аспекте // Сб. ст. Всерос. науч.-практ. конф., посвящ. 35-летию ВЛГАФК (9-10 ноября 2005 г.) Великие Луки: Изд-во ВЛГАФК. С. 294-304.
- Пат.* 113131. Российская Федерация. МПК<sup>51</sup> А61В5/00. Устройство для проведения теппинг-теста / Р.М. Гречишкин, А.Я. Рыжов, Д.И. Игнатъев, А.Б. Залетов. 4 с.
- Рыжов А.Я.* 1998. Физиолого-гигиеническая оценка сенсомоторной работоспособности человека в условиях прогрессирующей компьютеризации // Медицина труда в третьем тысячелетии: тез. докл. междунар. конф. М. 182 с.
- Рыжов А.Я., Тихомиров Н.Б., Кремлева Т.Г.* 1994. Количественный анализ физиологической кривой работоспособности на модели нервно-напряженного труда // Координация соматосенсорных и вегетативных функций при трудовой деятельности. Тверь: ТвГУ. С. 41-49.
- Холлендер М., Вулф Д.* 1983. Непараметрические методы статистики. М.: Финансы и статистика. 460 с.
- Breme N., Guler H.C.* 2005. Method for analysis of abnormal body tremors // US patent 6936016 B2.
- Knyazeva M.O., Kurganskaya M.E., Kurganski A.V.* 1994. Interhemispheric interaction on children of 7-8: analysis of EEG coherence and finger tapping parameters // Behavioral Brain Reseach. V. 61. P. 47.
- Ondo W.G., Sutton L., Dat Vuong K., Lai D., Jankovic J.* 2003. Hearing impairment in essential tremor // Neurology. V. 61. № 8. P. 1093-1097.
- O'Suilleabhain P.E., Matsumoto J.Y.* 1998. Time-frequency analysis of tremors // Brain. V. 121. P. 2124-2127.

**TO THE QUESTION OF INDIVIDUAL FORMS OF ANALYSIS  
OF TREMO- AND TEPPINGRAM OF THE FINGERS**

**N.E. Medvedeva<sup>1</sup>, A.Ya. Ryzhov<sup>2</sup>, L.V. Volnuhina<sup>3</sup>,  
D.I. Ignatiev<sup>2</sup>, S.V. Komin<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Gymnasium № 44, Tver

<sup>2</sup>Tver State University, Tver

<sup>3</sup>ООО «Savvateevo», Tver

The analysis of oscyllographic data on tremoro- and teppingogramms of fingers is presented. The nonparametrical method of their evaluation is developed. Pronounced differences in parameters of tepping- and tremor-tests of right and left hands in individual and group variants are revealed.

**Keywords:** *physiological tremor, tepping, distribution of intervals, managing of movements, variability of the data.*

*Об авторах:*

МЕДВЕДЕВА Надежда Евгеньевна – учитель биологии, МОУ гимназия № 44, 170043, Тверь, Октябрьский пр-т, д. 57, e-mail: medvedeva2007@rambler.ru.

РЫЖОВ Анатолий Яковлевич – доктор биологических наук, профессор кафедры биологии, ФГБОУ ВПО «Тверской государственный университет», 170100, Тверь, ул. Желябова, д. 33, e-mail: medbio@tversu.ru.

ВОЛНУХИНА Людмила Владимировна – кандидат биологических наук, ООО «Савватеево», 170026, Тверь, ул. Коноплянниковой, д. 17, корп. 1, e-mail: volnuhinalyusi@mail.ru.

ИГНАТЬЕВ Данила Игоревич – старший лаборант кафедры биологии, ФГБОУ ВПО «Тверской государственный университет», 170100, Тверь, ул. Желябова, д. 33, e-mail: danilaignatiev@yandex.ru.

КОМИН Сергей Владимирович – доктор биологических наук, профессор, заведующий кафедрой теоретических основ физического воспитания, ФГБОУ ВПО «Тверской государственный университет», 170100, Тверь, ул. Желябова, д. 33, e-mail: komsv53@mail.ru.

Медведева Н.Е. К вопросу об индивидуальных формах анализа тремо- и теппингограмм пальцев рук / Н.Е. Медведева, А.Я. Рыжов, Л.В. Волнухина, Д.И. Игнатъев, С.В. Комин // Вестн. ТвГУ. Сер. Биология и экология. 2014. № 1. С. 47-56.

