

## ИЗМЕНЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ БИНОКУЛЯРНОЙ ПУПИЛЛОМЕТРИИ ПОСЛЕ ВЫСОКОЙ ФИЗИЧЕСКОЙ НАГРУЗКИ У ЛИЦ, ЗАНИМАЮЩИХСЯ СПОРТОМ

*М.В. Цимбал<sup>1</sup>, Н.В. Штейнберг<sup>1</sup>, Д.С. Хомич<sup>1</sup>, Н.А. Егоров<sup>1</sup>, А.В. Туголуков<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>Научно-исследовательский институт гигиены, профпатологии и экологии человека Федерального медико-биологического агентства России, г. Санкт-Петербург, Россия;

<sup>2</sup>ООО «КВАЗАР», г. Москва, Россия

**Цель исследования** – определить особенности изменения показателей бинокулярной пупиллометрии для выявления изменений вегетативной активности у лиц, занимающихся спортом, при высокой физической нагрузке. **Материалы и методы.** В исследовании принимали участие 25 мужчин, регулярно занимающихся спортом, в возрасте от 19 до 34 лет, отнесенные по состоянию здоровья к основной медицинской группе. Оценивался комплекс общепринятых показателей пупиллометрии (диаметр зрачка, время начала зрачковой реакции, амплитуда сужения зрачка, скоростные характеристики сужения и расширения зрачков), полученных с обоих глаз на световой стимул с помощью бесконтактного пупиллометра (ООО «КВАЗАР», г. Москва). Обследование проводилось до физической нагрузки, сразу после нее, а также через 5, 15 и 30 минут. В качестве физической нагрузки использовали тредмил – беговую дорожку Intertrack-750 (SchillerAG, Швейцария). **Результаты.** Результаты пупиллометрического исследования свидетельствуют о том, что у лиц, регулярно занимающихся спортом, при максимальной нагрузке, сопровождающейся эмоциональным напряжением, имеет место преобладание симпатической составляющей, а после физической нагрузки, сопровождающейся утомлением и истощением ВНС, имеет место выраженное преобладание парасимпатической активности. **Заключение.** Полученные данные свидетельствуют о целесообразности применения бинокулярной пупиллометрии в спортивной медицине для оценки вегетативного тонуса и регуляторных механизмов у лиц, регулярно занимающихся спортом.

**Ключевые слова:** бинокулярная пупиллометрия, физическая нагрузка, тредмил (беговая дорожка), вегетативная активность.

**Введение.** Пупиллометрия – при переводе этого термина – измерение зрачка (лат. *pupillae* – зрачок). Тесная связь функции зрачка с различными отделами центральной и вегетативной нервной системы (ЦНС и ВНС) позволяет рассматривать его в качестве чувствительного индикатора функционального состояния человека [1, 2, 6]. Вегетативная нервная система, обеспечивающая адаптацию организма как к различным воздействиям внешней среды, так и к физической нагрузке, реагирует на них одной из первых. Исследование функции зрачка, тесно связанной с состоянием ВНС у лиц, занимающихся спортом, имеет большое значение, поскольку ее нарушение при утомлении может проявляться раньше других признаков, свидетельствующих об истощении ЦНС, автономной нервной системы и адаптационных возможностей, а также о психосоматическом состоянии [3].

В настоящее время развивается направление спортивной медицины, связанное с разра-

боткой и применением новых методов обследований, которые позволяют более полно и эффективно оценивать функциональное состояние спортсменов для выявления отклонений состояния здоровья во время тренировок и для предотвращения нежелательных последствий во время соревнований и после них. Пупиллометрия является одним из перспективных объективных методов оценки состояния вегетативной нервной системы для комплексной оценки функционального состояния у спортсменов, испытывающих высокие физические нагрузки.

**Цель исследования** – определить особенности изменения показателей бинокулярной пупиллометрии при физической нагрузке на беговой дорожке для выявления изменений вегетативной активности у лиц, занимающихся спортом.

**Материал и методы исследования.** В исследовании принимали участие 25 мужчин в возрасте от 19 до 34 лет, регулярно занимаю-

щихся спортом, отнесенные по состоянию здоровья к основной медицинской группе. Работы велись в соответствии с Хельсинкской декларацией. Исследование одобрено комиссией Локального Этического Комитета ФГУП «НИИ ГПЭЧ» ФМБА России (протокол № 2 от 12.03.2018 г.).

Для оценки функционального состояния ВНС использовали оценку зрачковой реакции с обоих глаз на световой стимул с помощью бесконтактного пупиллометра [4] в естественных условиях сначала в состоянии покоя (до физической нагрузки), затем сразу после физической нагрузки и через 5, 15 и 30 минут. Бесконтактный пупиллометр, разработанный ООО «КВАЗАР» (г. Москва) при научно-методическом сопровождении НИИ гигиены, профпатологии и экологии человека (г. Санкт-Петербург), включает в себя следующие элементы: корпус, держатель, приемник, температурный датчик, камеру, кожух, индикатор положения, два инфракрасных (ИК) светодиода, красный светодиод, источник белого света, датчик освещенности и компьютер с программным обеспечением. Наиболее близким по технической сущности к указанному пупиллометру является разработанный ранее в научно-исследовательском институте гигиены, профпатологии и экологии человека (ФГУП «НИИ ГПЭЧ» ФМБА России) стационарный цифровой бинокулярный комплекс КСРЗРц-01 [5].

График зависимости диаметра зрачка от времени при реакции зрачка на световой стимул представляется пупиллограммой. Характерный вид пупиллограммы представлен на

рис. 1. В зрачковой реакции выделяют три характерные фазы: латентную фазу (Фл), фазу сужения (Фс), фазу расширения (Фр).

Для количественной оценки зрачковой реакции проводилась математическая обработка пупиллограммы по ряду общепринятых пупиллометрических параметров, таких как:  $D_n$ , мм – начальный диаметр зрачка, предшествовавший стимулу;  $D_k$ , мм – конечный диаметр зрачка;  $T_l$ , с – время латентного периода зрачковой реакции;  $T_c$ , с – время сужения зрачка (парасимпатическая фаза);  $T_r$ , с – время расширения зрачка (симпатическая фаза);  $V_c$ , мм/с – средняя скорость сужения зрачка;  $V_r$ , мм/с – средняя скорость расширения зрачка;  $A_c$ , мм – амплитуда сужения зрачка.

Время сужения и время расширения зрачка отражают функции холинергической (парасимпатической) и адренергической (симпатической) составляющих двойной иннервации зрачка. Скорости сужения и расширения указывают на активность парасимпатической и симпатической составляющих в фазе сужения и расширения зрачка, амплитуда сужения свидетельствует о вегетативной активности в пупиллометорной системе.

Физическая нагрузка проводилась в специально оборудованном помещении при температуре окружающей среды от +20 до +24 °С, относительной влажности воздуха до 40–80 % с применением аттестованной беговой дорожки Intertrack-750 (SchillerAG, Швейцария). Начальная скорость движения дорожки соответствует 5 км/ч. В дальнейшем происходит увеличение скорости на 1,5 км/ч каждые 2 минуты. При достижении 18,5 км/ч

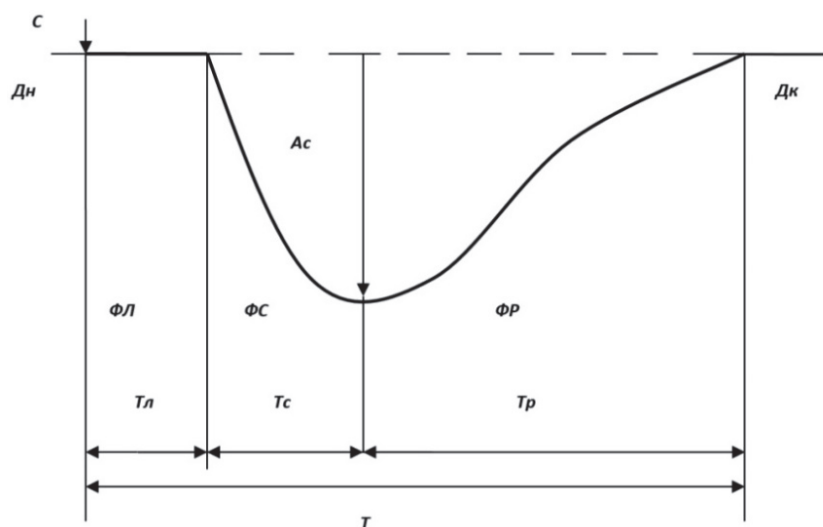


Рис. 1. Вид пупиллограммы и ее фазы  
Fig. 1. Pupillogram and its phases

скорость более не увеличивается, а удерживается. Нагрузка производилась до достижения испытуемым пульса, рассчитываемого по формуле «220 – возраст (полных лет)», или до отказа испытуемого продолжать бег. Статистическая обработка осуществлялась с использованием t-критерия Стьюдента в программе GraphPadPrism 6.

**Результаты исследования и их обсуждение.** На основании результатов, полученных по данным пупиллометрии, выявлены некоторые особенности изменения показателей. В целом по выборке согласно результатам, представленным в таблице, выявлены следующие достоверные ( $p < 0,05$ ) изменения показателей зрачковой реакции относительно фоновых данных: сразу после окончания бега начальный диаметр зрачков (Дн) был достоверно увеличен, через 5 минут он восстанавливался и появлялась тенденция к уменьшению этого показателя, через 15 и 30 минут наблюдалось достоверное уменьшение диаметра зрачков (такой же направленности было уменьшение конечного диаметра зрачков).

Амплитуда сужения сразу после окончания бега на дорожке не изменялась относительно фоновых данных, однако через 5 минут появлялась тенденция к уменьшению показателя, а через 15 и 30 минут после прекращения беговой нагрузки Ас достоверно

уменьшилась. Скорость сужения зрачков также достоверно падала через 15 и 30 минут после окончания беговой нагрузки. Динамика изменений показателей пупиллометрии представлена графически на рис. 2.

Таким образом, сразу после физической нагрузки мы наблюдаем достоверное увеличение как начального, так и конечного диаметров зрачков, что свидетельствует об активации симпатической составляющей пупилломоторной системы. Через 5 минут после физической нагрузки на тредмиле наблюдается тенденция к уменьшению диаметров зрачков, амплитуды их сужения и скорости сужения, а через 15 и 30 минут эти показатели достоверно уменьшаются по сравнению с фоновыми данными, что свидетельствует об активации парасимпатической составляющей автономной нервной системы.

Результаты пупиллометрического исследования свидетельствуют о том, что у лиц, регулярно занимающихся спортом, при максимальной нагрузке, сопровождающейся эмоциональным напряжением, имеет место преобладание симпатической составляющей, а после физической нагрузки, сопровождающейся утомлением и истощением ВНС, имеет место выраженное преобладание парасимпатической активности. Полученные результаты согласуются с данными других авторов,

**Изменение показателей пупиллометрии после физической нагрузки на беговой дорожке**  
**Changes in pupillometry data after treadmill exercises**

Показатели пупиллометрии Parameter	До физической нагрузки Before exercise stress	Сразу после нагрузки Immediately after exercise stress	Через 5 минут после окончания нагрузки 5 min after exercise stress	Через 15 минут после окончания нагрузки 15 min after exercise stress	Через 30 минут после окончания нагрузки 30 min after exercise stress
Дн, мм Initial diameter, mm	4,19 ± 0,15	4,44* ± 0,11	4,11 ± 0,17	3,92* ± 0,16	3,98* ± 0,15
Дк, мм Final diameter, mm	4,08 ± 0,15	4,35* ± 0,11	4,01 ± 0,16	3,89* ± 0,15	3,89* ± 0,11
Ас, мм Constriction amplitude, mm	0,89 ± 0,07	0,89 ± 0,05	0,83 ± 0,08	0,77* ± 0,06	0,76* ± 0,04
Тл, с Latency period, s	0,28 ± 0,01	0,29 ± 0,01	0,29 ± 0,01	0,27 ± 0,01	0,28 ± 0,01
Vс, мм/с Constriction velocity, mm/s	1,30 ± 0,10	1,27 ± 0,07	1,22 ± 0,11	1,16* ± 0,09	1,15* ± 0,06
Vр, мм/с Dilatation velocity, mm/s	0,38 ± 0,03	0,38 ± 0,02	0,35 ± 0,03	0,35 ± 0,03	0,34 ± 0,02

\* – различия достоверны ( $p < 0,05$ ) по сравнению с данными до нагрузки.

\* – the differences are significant ( $p < 0.05$ ) compared with the data obtained before exercise stress.

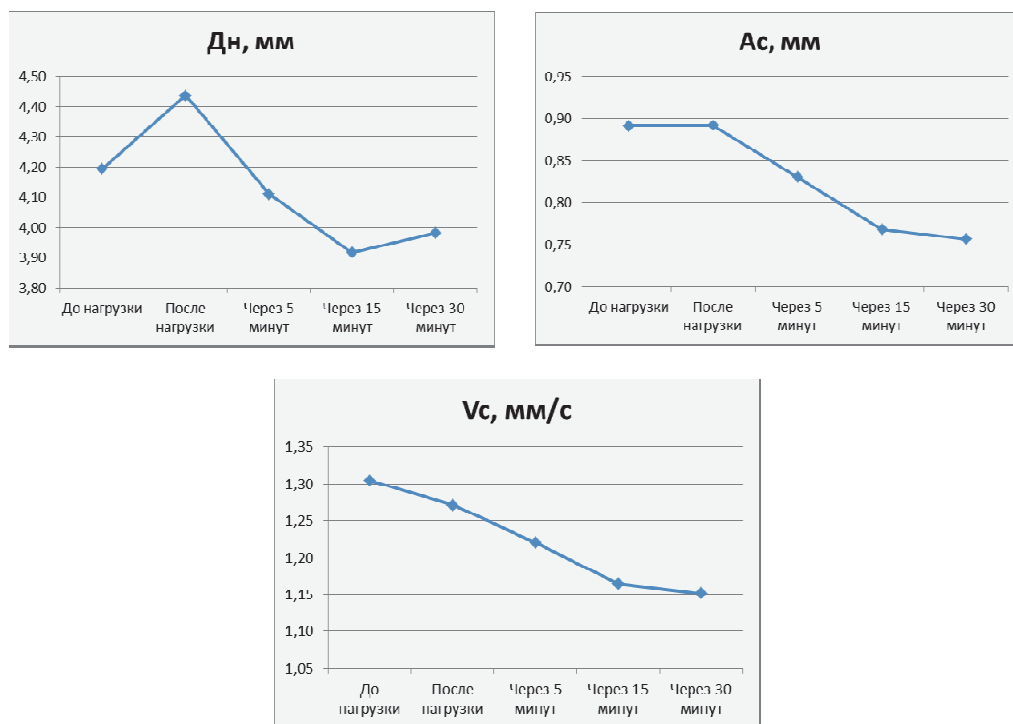


Рис. 2. Изменение показателей пупиллометрии (Дн, Ас, Vc) по группе после физической нагрузки на беговой дорожке  
Fig. 2. Changes in pupillometry (initial diameter, constriction amplitude, constriction velocity) after treadmill exercise

изучавших реакцию пупилломоторной системы у спортсменов при физической нагрузке, в том, что у них имеет место высокая активность парасимпатической составляющей автономной нервной системы [7, 8].

**Заключение.** Результаты проведенного исследования на бесконтактном пупиллометре свидетельствуют о том, что пупиллометрические показатели изменяются при высокой физической нагрузке и представляют интерес при оценке состояния вегетативной регуляции, утомления и адаптационных возможностей, времени восстановления после нагрузки у лиц, занимающихся спортом, во время тренировок. Оценка динамики изменений показателей пупиллометрии поможет корректировать тренировочный процесс, нормировать тренировочные нагрузки, анализировать функциональную и профессиональную пригодность, и, таким образом, проводить более тщательный отбор на соревнования. Итак, полученные данные свидетельствуют о целесообразности применения бинокулярной пупиллометрии в качестве дополнительного метода в спортивной медицине для оценки вегетативного тонуса и регуляторных механизмов у лиц, регулярно занимающихся спортом.

#### Литература

1. Бакуткин, В.В. Исследование зрачковых реакций в медицинской практике / В.В. Бакуткин, И.В. Бакуткин, А.Н. Данилов. – Саратов: Амирит, 2017. – 120 с.
2. Вельховер, Е.С. Пупиллодиагностика / Е.С. Вельховер, В.Ф. Ананин. – М.: Изд-во УДН, 1991. – 212 с.
3. Кальницкая, В.Е. Бинокулярная синхронная пупиллометрия в мониторинге функционального состояния спортсменов высокой квалификации / В.Е. Кальницкая, А.И. Погребной // Физиология и спортивная медицина. – 2012. – Вып. 2. – С. 41–45.
4. Пат. 2604938 Российская Федерация. Бесконтактный пупиллометр для скрининг-диагностики функционального состояния организма / Заявитель и патентообладатель А.В. Туголуков. – № 2015107892/14; заявл. 06.03.2015; опублик. 20.12.2016, Бюл. № 35. – 17 с.
5. Регистрационное удостоверение на медицинское изделие Комплекс скрининговой регистрации одновременной бинокулярной зрачковой реакции на световой стимул цифровой для оценки функционального состояния организма КСРЗРц-01 № РЗН 2015/3110 от 18 сентября 2015 г.

6. Томсон, Х.С. Зрачок и вегетативная нервная система / Х.С. Томсон; под ред. С. Лессела. – М.: Медицина, 1983. – С. 264–279.

7. Assessment of autonomic function in high level athletes by pupillometry / J.A. Filipe, F. Falca-o-Reis, J. Castro-Correia, H. Barros //

*AutonNeurosci.* – 2003. – Vol. 104, no. 1. – P. 66–72.

8. Assessment of Parasympathetic Activity in Athletes: Comparing Two Different Methods / J. Stang, M.O. Couto, T. Stensrud et al. // *Medicine and Science in Sports and Exercise.* – 2016. – Vol. 48, no. 2. – P. 316–322.

**Цимбал Марина Васильевна**, кандидат медицинских наук, ведущий научный сотрудник, Федеральное государственное унитарное предприятие «Научно-исследовательский институт гигиены, профпатологии и экологии человека» Федерального медико-биологического агентства России. 188663, Ленинградская область, Всеволожский район, г. п. Кузьмоловский, ст. Капитолово, корп. № 93г. E-mail: mar.tsimbal@yandex.ru, ORCID: 0000-0003-2940-4124.

**Штейнберг Наталья Владимировна**, научный сотрудник, Федеральное государственное унитарное предприятие «Научно-исследовательский институт гигиены, профпатологии и экологии человека» Федерального медико-биологического агентства России. 188663, Ленинградская область, Всеволожский район, г. п. Кузьмоловский, ст. Капитолово, корп. № 93г. E-mail: ncnatalya@mail.ru, ORCID: 0000-0001-5595-7123.

**Хомич Дарья Сергеевна**, научный сотрудник, Федеральное государственное унитарное предприятие «Научно-исследовательский институт гигиены, профпатологии и экологии человека» Федерального медико-биологического агентства России. 188663, Ленинградская область, Всеволожский район, г. п. Кузьмоловский, ст. Капитолово, корп. № 93г. E-mail: daria1815@yandex.ru, ORCID: 0000-0002-7710-3089.

**Егоров Николай Андреевич**, старший научный сотрудник, Федеральное государственное унитарное предприятие «Научно-исследовательский институт гигиены, профпатологии и экологии человека» Федерального медико-биологического агентства России. 188663, Ленинградская область, Всеволожский район, г. п. Кузьмоловский, ст. Капитолово, корп. № 93г. E-mail: e\_nicolay78@mail.ru, ORCID: 0000-0001-6578-051X.

**Туголуков Александр Владимирович**, генеральный директор, ООО «КВАЗАР». 143026, г. Москва, тер. Сколково инновационного центра, ул. Нобеля, д. 7, часть 14. E-mail: atug@mail.ru, ORCID: 0000-0003-0809-6134.

*Поступила в редакцию 10 мая 2019 г.*

---

DOI: 10.14529/hsm19s104

## CHANGES IN BINOCULAR PUPILLOMETRY IN ATHLETES AFTER HIGH EXERCISE STRESS

**M.V. Tsimbal**<sup>1</sup>, mar.tsimbal@yandex.ru, ORCID: 0000-0003-2940-4124,

**N.V. Steinberg**<sup>1</sup>, ncnatalya@mail.ru, ORCID: 0000-0001-5595-7123,

**D.S. Khomich**<sup>1</sup>, daria1815@yandex.ru, ORCID: 0000-0002-7710-3089,

**N.A. Egorov**<sup>1</sup>, e\_nicolay78@mail.ru, ORCID: 0000-0001-6578-051X,

**A.V. Tugolukov**<sup>2</sup>, atug@mail.ru, ORCID: 0000-0003-0809-6134

<sup>1</sup>Research Institute of Hygiene, Occupational Pathology and Human Ecology, St. Petersburg, Russian Federation,

<sup>2</sup>Company “Kvazar”, Moscow, Russian Federation

**Aim.** The article deals with studying the changes in binocular pupillometry to establish vegetative activity in athletes after high exercise stress. **Materials and methods.** 25 male athletes aged 19–34 years with no health limitations participated in the study. We estimated a set of the commonly accepted parameters of pupillometry (pupil diameter, pupil reaction initiation time,

pupil constriction diameter, pupil constriction velocity) by measuring pupil reaction to a light stimulus with the help of a non-contact pupilometer (KVAZAR, Moscow). The examination was conducted prior to physical stress and 5, 15, and 30 minutes after. Intertrack-750 treadmill (SchillerAG, Switzerland) was used for testing. **Results.** The results obtained in a pupillometric study prove that there is a predominance of the sympathetic component in athletes at maximal load accompanied by emotional stress. After physical stress accompanied by fatigue and nervous system exhaustion, there is a pronounced predominance of the parasympathetic component. **Conclusion.** The data obtained prove that binocular pupillometry can be effectively used in sports medicine to estimate vegetative tone and regulatory mechanisms in athletes.

**Keywords:** binocular pupillometry, exercise stress, treadmill, vegetative activity.

### Reference

1. Bakutkin V.V., Bakutkin I.V., Danilov A.N. *Issledovaniye zrachkovykh reaktsiy v meditsinskoj praktike* [The Study of Pupillary Reactions in Medical Practice]. Saratov, Amirit Publ., 2017. 120 p.
2. Vel'khover, E.S., Ananin V.F. *Pupillodiagnostika* [Pupillodiagnosics]. Moscow, UDN Publ., 1991. 212 p.
3. Kal'nitskaya V.E., Pogrebnoy A.I. [Binocular Synchronous Pupillometry in Monitoring the Functional Status in High Level Athletes]. *Fiziologiya i sportivnaya meditsina* [Physiology and Sports Medicine], 2012, no. 2, pp. 41–45. (in Russ.)
4. Tugolukov A.V. *Beskontaktnyy pupillometr dlya skrining-dagnostiki funktsional'nogo sostoyaniya organizma* [Contactless Pupillometer for Screening Diagnostics of the Functional State of the Body]. Patent RF, no. 2604938, 2016.
5. The Registration Certificate for Medical Product Complex by Screening Registration the Simultaneous Binocular Pupillary Response on Light Stimulus Digital for Analysis the Functional State of the Organism KSRZRts-01. No. RZN 2015/3110 From 18.09.2015. (in Russ.)
6. Tomson Kh.S., Lessel S. [Pupil and Autonomic Nervous System]. *Meditsina* [Medicine], 1983, pp. 264–279. (in Russ.)
7. Filipe J.A., Falca-o-Reis F., Castro-Correia J., Barros H. Assessment of Autonomic Function in High Level Athletes by Pupillometry. *AutonNeurosci*, 2003, vol. 104, no. 1, pp. 66–72. DOI: 10.1016/S1566-0702(02)00268-0
8. Stang J., Couto M.O., Stensrud T., Mowinckel P., Moreira A.O., Carlsen K.H. Assessment of Parasympathetic Activity in Athletes: Comparing Two Different Methods. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 2016, vol. 48, no. 2, pp. 316–322. DOI: 10.1249/MSS.0000000000000769

Received 10 May 2019

### ОБРАЗЕЦ ЦИТИРОВАНИЯ

Изменение показателей бинокулярной пупиллометрии после высокой физической нагрузки у лиц, занимающихся спортом / М.В. Цимбал, Н.В. Штейнберг, Д.С. Хомич и др. // Человек. Спорт. Медицина. – 2019. – Т. 19, № S1. – С. 30–35. DOI: 10.14529/hsm19s104

### FOR CITATION

Tsimbal M.V., Steinberg N.V., Khomich D.S., Egorov N.A., Tugolukov A.V. Changes in Binocular Pupillometry in Athletes after High Exercise Stress. *Human. Sport. Medicine*, 2019, vol. 19, no. S1, pp. 30–35. (in Russ.) DOI: 10.14529/hsm19s104