

## Выбор оптимальных параметров метода сегментации цифровых изображений мокроты

*А.Н. Наркевич, К.А. Виноградов, С.А. Сысоев, Д.В. Плотников*

*Красноярский государственный медицинский университет  
им. проф. В.Ф. Войно-Ясенецкого, Красноярск*

**Аннотация:** В статье рассмотрено применение критериев оценки качества сегментации цифровых изображений мокроты, окрашенной по методу Циля-Нильсена для выбора оптимального параметра «сигма» вейвлет преобразования Mexican Hat. В качестве материала исследования использовались 830 цифровых изображений, полученных при микроскопии мазков мокроты. Для оценки оптимальности подбора значения параметра  $\sigma$  использовались: среднее число объектов, выделенных на изображениях, доля пропущенных кислотоустойчивых микобактерий на изображениях, критерий однородности и 3 комплексных критерия оценки качества сегментации изображений. Проведенный анализ показал, что при увеличении параметра  $\sigma$  происходит незначительное снижение значение критерия однородности. При этом увеличение параметра  $\sigma$  с 2,4 и более согласно комплексным критериям происходит повышение качества сегментации изображений. Таким образом, наиболее оптимальными значениями параметра  $\sigma$  вейвлета Mexican Hat для сегментации цифровых изображений мокроты, окрашенной по методу Циля-Нильсена, являются значения в интервале от 2,90 до 3,09.

**Ключевые слова:** метод Циля-Нильсена, сегментация изображений, критерии оценки качества, вейвлет преобразование, Mexican Hat.

В настоящее время автоматизированный анализ цифровых изображений, в том числе в медицине, приобретает все большее распространение. Процесс автоматизированного анализа изображений, как правило, представляет собой ряд этапов, первым из которых является сегментация цифрового изображения [1 – 4]. Основной целью сегментации изображения является исключение тех участков изображения, которые не имеют ценности для дальнейшего анализа, после чего производится идентификация или распознавание оставшихся после сегментации частей изображения [5]. Для обработки сигналов различной природы на сегодняшний день часто находят применение вейвлет-анализ [6, 7], который позволяет преобразовать сигнал в более удобный вид для дальнейшей обработки.

Цифровое изображение представляет собой двумерный сигнал, обработка которого может производиться с помощью двумерных вейвлет-преобразований [8, 9]. Одним из таких преобразований может служить вейвлет Mexican Hat («мексиканская шляпа») [10, 11], основным недостатком которого является необходимость выбора оптимального параметра  $\sigma$ . Данный параметр является единственным параметром вейвлета Mexican Hat, который может изменяться в зависимости от задачи применения данного преобразования.

### Материал и методы

В качестве материала исследования использовались 830 цифровых изображений, полученных при микроскопии мазков мокроты, окрашенной по методу Циля-Нильсена с использованием тринокулярного микроскопа Микромед 1 вар. 3-20 при увеличении 10x60 с установленной цифровой камерой TourCam UCMOS01300KPA с разрешением 0,3 МР. Каждое изображение имело разрешение 572x422 пикселей.

Для подбора оптимального значения параметра  $\sigma$ , произведено преобразование всех 830 изображений вейвлетом Mexican Hat с использованием различных значений  $\sigma$  в диапазоне от 2,0 до 4,0 с шагом 0,01. Для оценки оптимальности подбора значения параметра  $\sigma$  использовались: среднее число объектов, выделенных на изображениях после преобразования, доля пропущенных кислотоустойчивых микобактерий на изображениях от имеющихся на них кислотоустойчивых микобактерий и следующие критерии оценки качества сегментации изображений [12]:

1. Критерий однородности, который основан на вычислении дисперсии величины соответствующего признака изображения, используемого для сегментации. Данный критерий рассчитывался для признаков R, G, B пикселей в цветовой схеме RGB; H, S, V – в цветовой

схеме HSV и яркости (Y) пикселя. Значение критерия измеряется в диапазоне от 0 до 1. Чем ближе к 1, тем выше качество сегментации изображения.

2. Комплексный критерий  $F$ , учитывающий, как однородность объектов, так и их количество. Минимальное значение данного критерия 0, а максимальное значение не ограничено. Чем меньше значение критерия, тем выше качество сегментации изображения.

3. Комплексный критерий  $F'$  – модифицированный критерий  $F$  с включением «штрафа» за большое количество мелких областей. Диапазон изменений значения критерия и его интерпретация не отличаются от критерия  $F$ .

4. Комплексный критерий  $Q$ . Диапазон изменений значения критерия и его интерпретация не отличаются от критерия  $F$  и  $F'$ .

Критерии оценки качества сегментации изображения рассчитывались для каждого изображения после его преобразования, после чего определялось среднее значение критериев для всего набора изображений преобразованных вейвлетом Mexican Hat с определенным параметром  $\sigma$ . Оптимальными значениями параметра  $\sigma$  считались значения, при которых получаемые изображения имели наименьшее среднее число объектов после преобразования, наименьшую долю пропущенных кислотоустойчивых микобактерий на всех изображениях от имеющихся на них кислотоустойчивых микобактерий, наибольшее среднее значение критерия однородности для анализируемых цветовых признаков и наименьшие средние значения критериев  $F$ ,  $F'$  и  $Q$ .

### **Результаты и обсуждение**

На рисунке 1 представлено изменение среднего числа объектов на преобразованных вейвлетом Mexican Hat изображениях в зависимости от параметра  $\sigma$ . Необходимо отметить, что при увеличении параметра  $\sigma$  до 2,4 происходит увеличение среднего числа объектов на изображениях, что

---

приводит к увеличению времени распознавания объектов на последующих этапах автоматизированного анализа таких изображений. При дальнейшем увеличении параметра  $\sigma$  до 3,0 происходит существенное снижение среднего числа объектов на изображениях, а при его изменении от 3,0 до 4,0 наблюдается наименьшее среднее число объектов на изображениях.

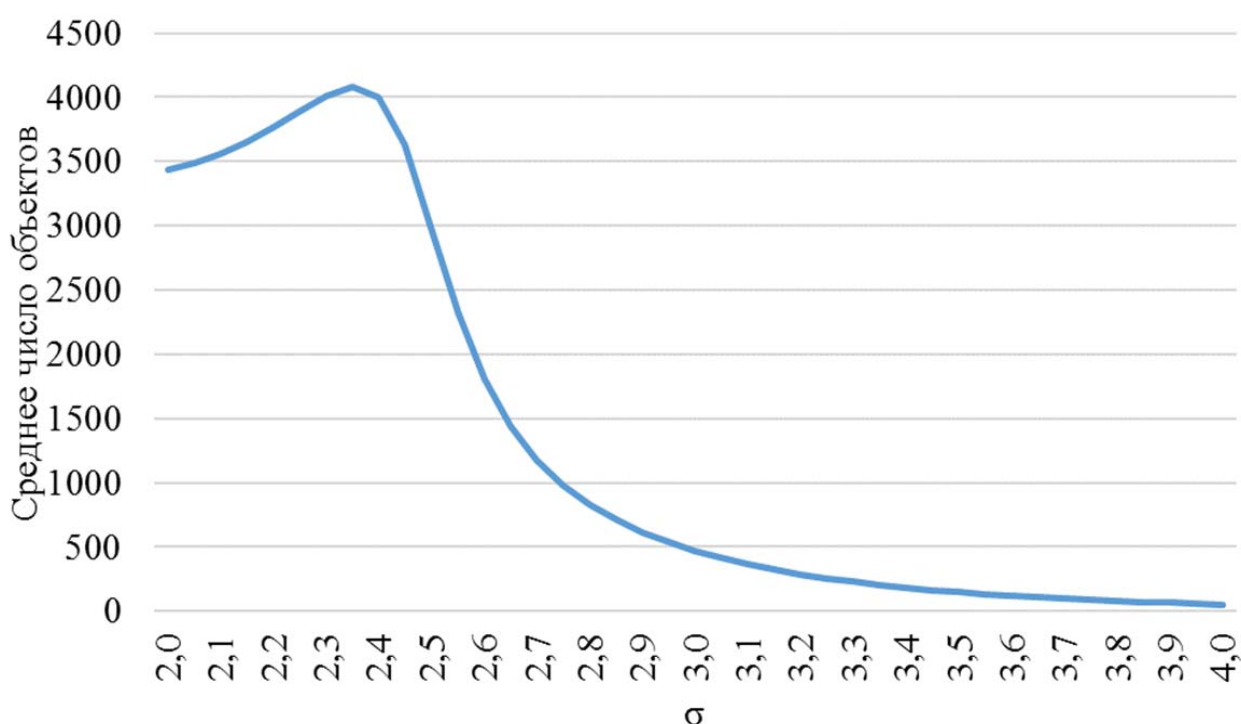


Рис. 1. – Изменение среднего числа объектов на изображениях в зависимости от параметра  $\sigma$  вейвлета Mexican Hat

Снижение числа объектов при увеличении параметра  $\sigma$  приводит к увеличению их размеров, что несколько снижает их однородность, о чем свидетельствует изменение среднего значения критерия однородности представленного на рисунке 2. Так увеличение параметра  $\sigma$  приводит к снижению среднего значения критерия однородности по всем цветовым признакам изображения. В большей степени данная тенденция проявляется при изменении критерия однородности по признаку G. Несмотря на

снижение среднего значения критерия однородности по остальным цветовым признакам изображений, данное снижение является незначительным.

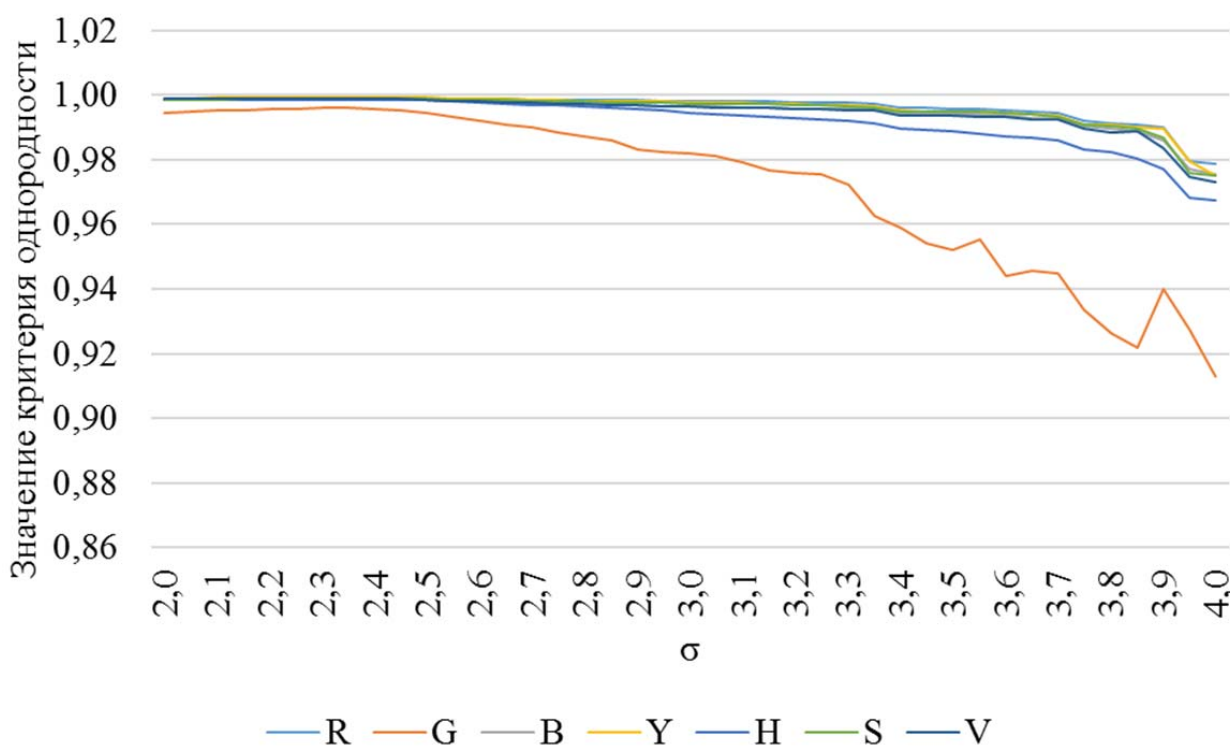


Рис 2. – Изменение средних значений критериев однородности качества сегментации изображений в зависимости от параметра  $\sigma$  вейвлета Mexican Hat

Как представлено на рисунке 3, среднее значение критерия F, не учитывающего количество мелких объектов на сегментированном изображении, в зависимости от параметра  $\sigma$  практически не меняется. При этом среднее значение критериев F' и Q, учитывающих количество данных объектов, при увеличении параметра  $\sigma$  от 2,0 до 2,4 возрастает, а при дальнейшем увеличении данного параметра средние значения критериев F' и Q снижается, что свидетельствует о повышении качества сегментации изображений. При его изменении от 3,0 до 4,0 наблюдается постепенное снижение среднего значения критериев качества сегментации F' и Q.

Полученные результаты свидетельствуют о том, что применение критерия  $F$  для оценки качества сегментации цифровых изображений мокроты, окрашенной по методу Циля-Нильсена нецелесообразно ввиду отсутствия учета данным критерием количества мелких объектов и отсутствия существенного изменения при изменении параметра  $\sigma$  вейвлета Mexican Hat.

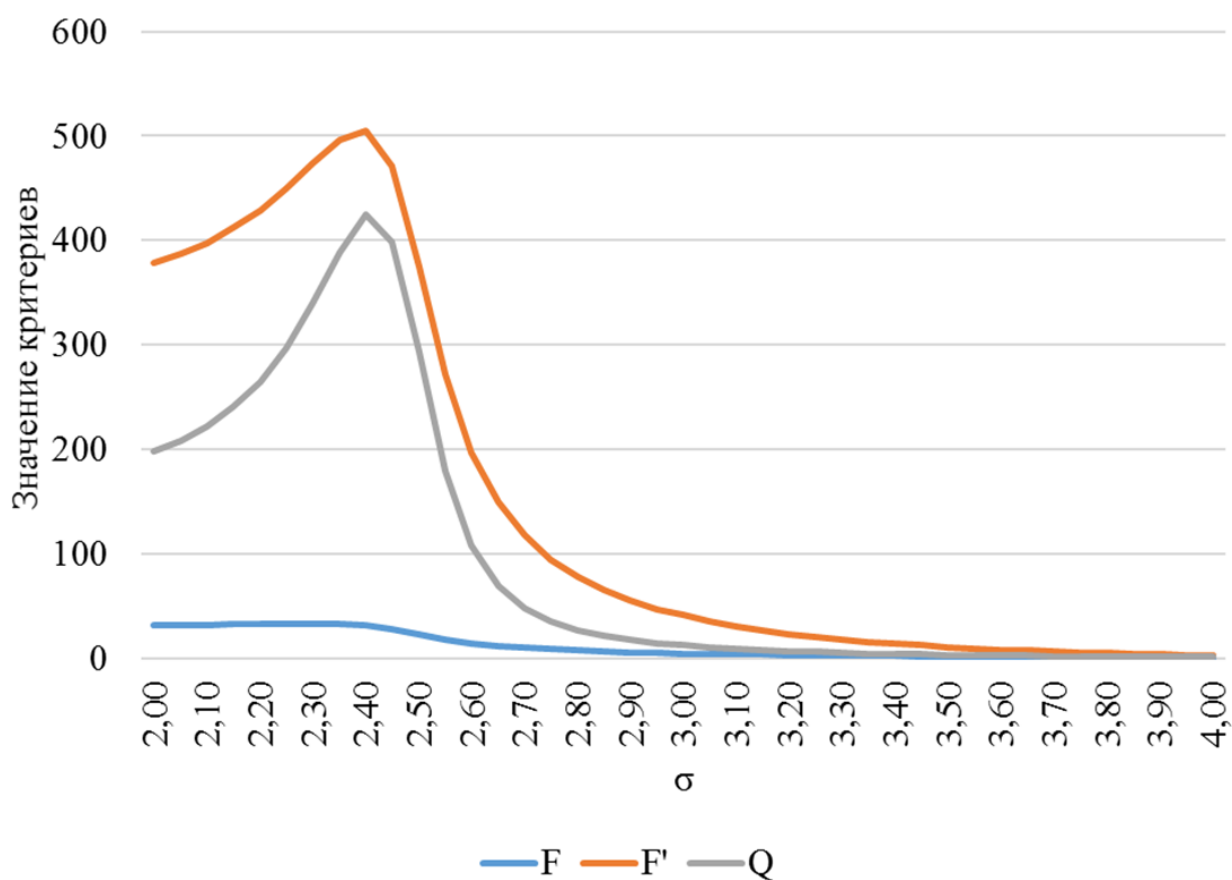


Рис. 3 – Изменение средних значений комплексных критериев оценки качества сегментации изображений в зависимости от параметра  $\sigma$  вейвлета Mexican Hat

Анализ изменения доли пропущенных кислотоустойчивых микобактерий в зависимости от параметра  $\sigma$  вейвлета Mexican Hat показывает, что при изменении его значения до 3,1 на изображениях не происходит пропуск кислотоустойчивых микобактерий. При увеличении

параметра  $\sigma$  с 3,1 до 4,0 происходит существенный рост доли пропущенных кислотоустойчивых микобактерий, что, несмотря на улучшение значений критериев качества классификации на данном интервале не позволяет использовать такие значения параметра  $\sigma$ , так как при анализе в целом качества автоматизированного анализа изображения будет наблюдаться существенное увеличение ложноотрицательных результатов.

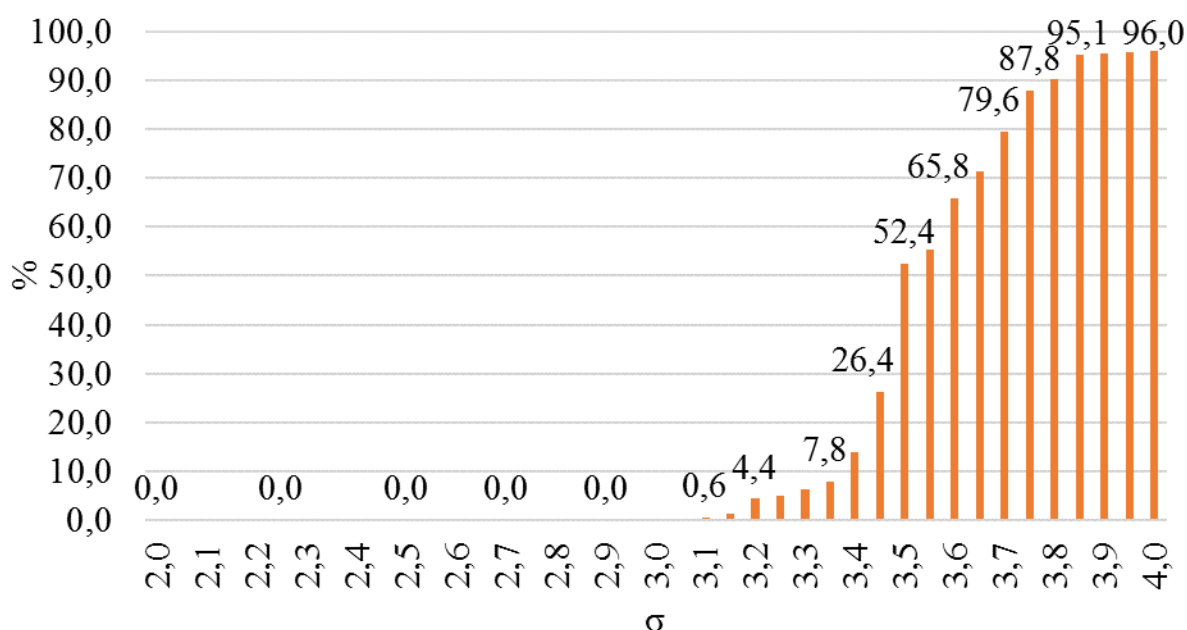


Рис. 4 – Доля пропущенных кислотоустойчивых микобактерий в зависимости от параметра  $\sigma$  вейвлета Mexican Hat

### Заключение

С использованием критериев оценки качества сегментации цифровых изображений был проведен анализ качества сегментации изображений мокроты, окрашенной по методу Циля-Нильсена с использованием вейвлет преобразования Mexican Hat с различными значениями параметра  $\sigma$ . Данный анализ показал, что при увеличении параметра  $\sigma$  происходит незначительное снижение значение критерия однородности. При этом увеличение параметра  $\sigma$  с 2,4 и более на основании критериев  $F'$  и  $Q$  происходит повышение

качества сегментации изображений, но увеличение параметра  $\sigma$  от 3,1 и более приводит к пропуску кислотоустойчивых микобактерий с изображения.

Таким образом, наиболее оптимальными значениями параметра  $\sigma$  вейвлета Mexican Hat для сегментации цифровых изображений мокроты, окрашенной по методу Циля-Нильсена, являются значения в интервале от 2,90 до 3,09. При таких значениях параметра  $\sigma$  наблюдаются: наименьшее среднее число объектов после преобразования, наименьшая доля пропущенных кислотоустойчивых микобактерий на всех изображениях от имеющихся на них кислотоустойчивых микобактерий и наименьшие средние значения критериев  $F'$  и  $Q$ .

### Литература

1. Agoston M.K. Computer graphics and geometric modeling: implementation and algorithms. London: Springer, 2005. 907 p.
2. Воронин В.В., Сизякин Р.А., Гапон Н.В., Франц В.А., Колосов А.Ю. Алгоритм реконструкции изображений на основе анализа локальных бинарных окрестностей // Инженерный вестник Дона. 2013. №3. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2013/1857](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2013/1857).
3. Наркевич А.Н., Виноградов К.А., Корецкая Н.М. Параметризация объектов на цифровых микроскопических изображениях мокроты, окрашенной по методу Циля-Нильсена // Сибирское медицинское обозрение. 2017. №5. С. 53-59.
4. Наркевич А.Н., Шеломенцева И.Г., Виноградов К.А., Сысоев С.А. Сравнение методов сегментации цифровых микроскопических изображений мокроты, окрашенной по методу Циля-Нильсена // Инженерный вестник Дона. 2017. №4. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2017/4430](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2017/4430).



5. Liu D., Wang S., Huang D., Deng G., Zeng F., Chen H. Medical image classification using spatial adjacent histogram based on adaptive local binary patterns // *Computers in Biology and Medicine*. 2016. №72. pp. 185-200.
  6. Cazelles B., Cazelles K., Chavez M. Wavelet analysis in ecology and epidemiology: impact of statistical tests // *Journal of the Royal Society, Interface*. 2013. №91. e20130585.
  7. Xionga F., Oib X., Nattela S., Comtoisb P. Wavelet analysis of cardiac optical mapping data // *Computers in Biology and Medicine*. 2015. №65. pp. 243–255.
  8. Hsu C.Y., Lai Y.L., Chen C.C., Lee Y.T., Tseng K.K., Lai Y.K., Zheng C.Y., Jheng H.C. Time sequence image analysis of positron emission tomography using wavelet transformation // *Technology and health care*. 2015. №24. pp. 393-400.
  9. Ou X., Pan W., Zhang X., Xiao P. Skin image retrieval using Gabor wavelet texture feature // *International journal of cosmetic science*. 2016. №6. pp. 607-614.
  10. Jin F., Feng D. Image registration algorithm using Mexican hat function-based operator and grouped feature matching strategy // *PLoS One*. 2014. №4. e95576.
  11. Megardon G., Tandonnet C., Sumner P., Guillaume A. Limitations of short range Mexican hat connection for driving target selection in a 2D neural field: activity suppression and deviation from input stimuli // *Frontiers in computational neuroscience*. 2015. №9. pp. 128.
  12. Захаров А.В., Кольцов П.П., Котович Н.В., Кравченко А.А., Куцаев А.С., Осипов А.С. Критерии оценки качества сегментации изображений // *Труды научно-исследовательского института системных исследований Российской академии наук*. 2012. Т. 2. № 2. С. 87-99.
-

## References

1. Agoston M.K. Computer graphics and geometric modeling: implementation and algorithms. London: Springer, 2005. 907 p.
2. Voronin V.V., Sizyakin R.A., Gapon N.V., Frants V.A., Kolosov A.Yu. Inzhenernyj vestnik Dona (Rus). 2013. №3. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2013/1857](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2013/1857).
3. Narkevich A.N., Vinogradov K.A., Koretskaya N.M. Sibirskoe meditsinskoe obozrenie. 2017. №5. pp. 53-59.
4. Narkevich A.N., Shelomentseva I.G., Vinogradov K.A., Sysoev S.A. Inzhenernyj vestnik Dona (Rus). 2017. №4. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2017/4430](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2017/4430).
5. Liu D., Wang S., Huang D., Deng G., Zeng F., Chen H. Computers in Biology and Medicine. 2016. №72. pp. 185-200.
6. Cazelles B., Cazelles K., Chavez M. Journal of the Royal Society, Interface. 2013. №91. e20130585.
7. Xionga F., Oib X., Nattela S., Comtoisb P. Computers in Biology and Medicine. 2015. №65. pp. 243–255.
8. Hsu C.Y., Lai Y.L., Chen C.C., Lee Y.T., Tseng K.K., Lai Y.K., Zheng C.Y., Jheng H.C. Technology and health care. 2015. №24. pp. 393-400.
9. Ou X., Pan W., Zhang X., Xiao P. International journal of cosmetic science. 2016. №6. pp. 607-614.
10. Jin F., Feng D. PLoS One. 2014. №4. e95576.
11. Megardon G., Tandonnet C., Sumner P., Guillaume A. Frontiers in computational neuroscience. 2015. №9. pp. 128.
12. Zakharov A.V., Kol'tsov P.P., Kotovich N.V., Kravchenko A.A., Kutsaev A.S., Osipov A.S. Trudy nauchno-issledovatel'skogo instituta sistemnykh issledovaniy Rossiyskoy akademii nauk. 2012. T. 2. № 2. pp. 87-99.