



# Математическая модель агрегации эритроцитов для исследования оптоакустическим методом

**Д.А. Кравчук**

доцент кафедры электрогидроакустической и медицинской техники Южного федерального университета ИНЭП; г. Ростов-на-Дону

e-mail: denik545@ya.ru

**Аннотация.** В работе представлена схема упаковки для организации сфер, представляющих собой эритроциты, для образования агрегата. Этот кластер помещали случайным образом для создания агрегированного образца крови. Следует отметить, что это очень быстрый метод, потому что ячейки размещаются в фиксированных местоположениях в агрегате, а также способны формировать компактные кластеры. Метод разработан для моделирования оптоакустического сигнала для оценки уровня агрегации.

**Ключевые** лазер, диагностика, оптоакустические волны, биожидкость, виртуальный прибор.

## Введение

Агрегация эритроцитов может служить диагностическим параметром для патологических состояний. Последствием усиленной агрегации являются в первую очередь закупоривание участков кровеносных сосудов, в которых должно было бы произойти сдвиговое [5] разрушение агрегатов, вследствие чего возникает локальная ишемия, повышение давления и пр.

Конфигурация кровяных тканей агрегированных эритроцитов может быть получена различными методами при свободной упаковке. В двух измерениях для создания плотно упакованных кластеров эритроцитов можно использовать обычные схемы упаковки. Например, плотность упаковки кругов почти 90% может быть достигнута с помощью схемы гексагональной упаковки [5].

## Моделирование

Зададимся размерами агрегируемого кластера и фиксированной величиной гематокрита. В этом исследовании были исследованы свойства ОА-сигнала образцов крови при 40%-ном гематокрите и при различных условиях кластеризации или агрегации. Был выбран уровень гематокрита 40%, потому что он близок к нормальному уровню гематокрита 45% в нормальной крови человека [5]. Затем

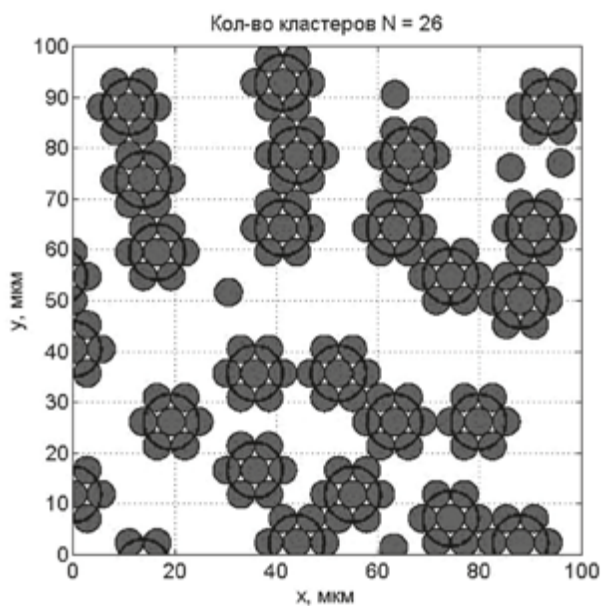
найдем пространственные положения случайно распределенных, хорошо разделенных изотропных кластеров одинакового размера в пределах области исследования с использованием того же алгоритма. Количество ячеек было позиционировано с использованием гексагональной упаковки для каждого кластера.

Изначально большое количество кругов, представляющих эритроциты, укладывалось в прямоугольную область по схеме гексагональной упаковки [5]. После этого были выбраны координаты центра круга, расположенного в центральной части этой прямоугольной области. Координаты центров других кругов регистрировались в соответствии с их расстояниями относительно этой контрольной точки для формирования таблицы поиска. Следующим шагом было – взять координаты требуемого количества кругов, прикрепленных к кластеру, из этой таблицы поиска и поместить их относительно центра кластера. Круги, не принадлежащие какому-либо кластеру, были размещены в пределах области исследования при условии не перекрывания друг с другом. Таким образом, были получены пространственные распределения неперекрывающихся, изотропных и идентичных кластеров, содержащих неперекрывающиеся ячейки. Кроме того, для каждого агрегирующего условия был рассчитан средний радиус вращения кластеров для количественного определения среднего размера кластера [1-3]. Радиус вращения кластера определяли, используя квадрат расстояний ячеек от центра кластера, таких как:

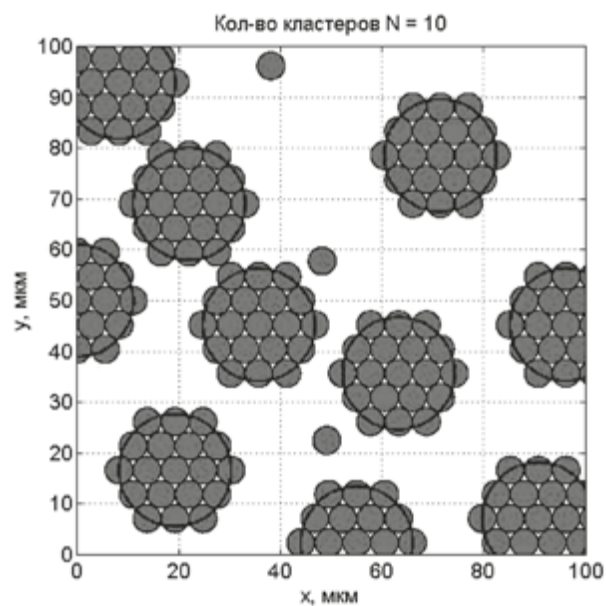
$$R_g = \left( \frac{3}{5} a^2 + \frac{1}{n_c} \sum_{j=1}^{n_c} r_j^2 \right)^{1/2} \quad (1)$$

где  $n_c$  – число ячеек, присоединенных к кластеру, а  $r_j$  – расстояние центра  $j$ -й ячейки от центра кластера. Численные значения  $R_g$  были получены для всех кластеров, связанных с реализацией ткани.

Среднее число эритроцитов в кластере варьировалось от 7 до 61 от самого низкого до самого высокого уровня кластеризации. Среднее число частиц, связанных с кластером, лежало в диапазоне от 7 до 61. Минимальное значение среднего радиуса кластеров оценивалось в 5,51 мкм, а наивысшего агрегата – 16,06 мкм.



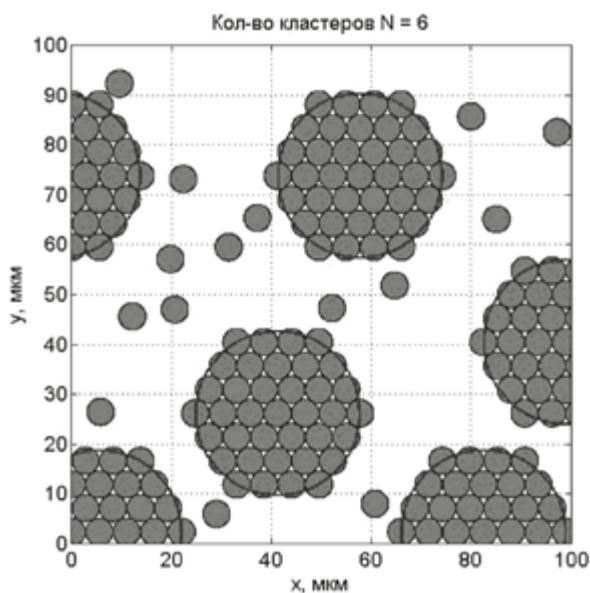
а



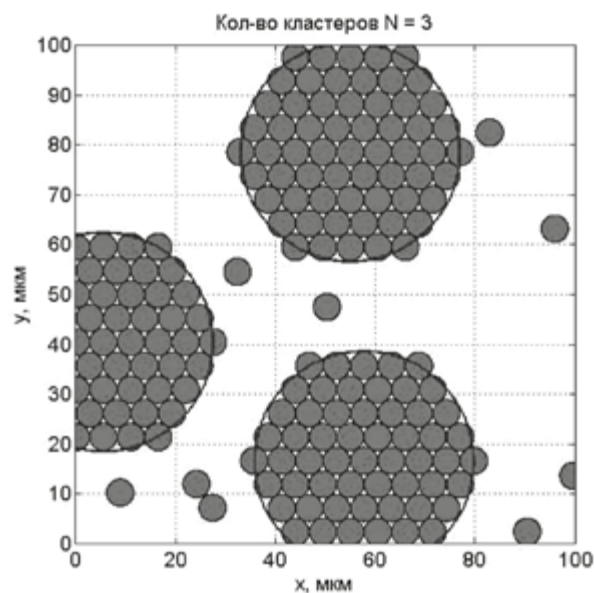
б

Рис. 1. Агрегированные эритроциты. Максимальные уровни агрегации

а: в кластере агрегата 7 эритроцитов, 6 агрегатов (5 неагрегированных эритроцитов); б: агрегированные эритроциты; в кластере агрегата 19 эритроцитов, 10 агрегатов (3 неагрегированных эритроцита)



а



б

Рис. 2. Агрегированные эритроциты

а: в кластере агрегата 37 эритроцитов, 6 агрегатов (15 неагрегированных эритроцитов); б: агрегированные эритроциты, в кластере агрегата 61 эритроцит; 3 агрегата (9 неагрегированных эритроцита)

### Заключение

В работе обсуждается потенциал использования ОА-методов для оценки уровня агрегации эритроцитов в крови человека [4, 6-10]. С этой целью была разработана двумерная модель упаковки эритроцитов в агрегаты для моделирования ОА-сигна-

ла от агрегированных образцов крови. Разработаны пространственные модельные распределения проб крови, содержащих неагрегированные и агрегированные эритроциты, с возможностью изменения уровня агрегации и гематокрита. Моделирование проводилось в среде *Mathlab*.



## Литература

1. Кравчук Д.А., Старченко И.Б. Математическое моделирование оптикоакустического сигнала от сферических поглотителей на примере эритроцитов / Известия Юго-Западного государственного университета. Серия «Управление, вычислительная техника, информатика». / Медицинское приборостроение. 2017. Т. 7. № 3(24). С. 101–107.
2. Старченко И.Б., Кравчук Д.А., Кириченко И.А. Прототип оптикоакустического лазерного цитомера / Медицинская техника. 2017. № 5. С. 4–7.
3. Кравчук Д.А. Система проточной лазерной диагностики жидкостей при генерации оптикоакустического сигнала на рассеивателях сферической формы / Качество и жизнь. 2017. - № 4. С. 74–78.
4. Кравчук Д.А. О методе моделирования оптикоакустических сигналов от источников сферической формы на примере эритроцитов / Качество и жизнь. 2017. - № 4. С. 78–80.
5. Meiselman H.J. «Red blood cell aggregation: 45 years being curious», *Biorheology* 46, 1–19 (2009).
6. Кравчук Д.А. Экспериментальные исследования и моделирование процесса генерации оптикоакустических волн. Электронный научный журнал «Инженерный вестник Дона». 2017. Т. 45. № 2. URL [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2017/4234](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2017/4234).
7. Кравчук Д.А. Теоретические исследования генерации оптикоакустических волн в жидкости цилиндрическими поглотителями. Электронный научный журнал «Инженерный вестник Дона». 2017. Т. 46. № 3. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/N3y2017/4350](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/N3y2017/4350) ISSN 2073-8633.
8. Кравчук Д.А. Аналитический результат генерации оптикоакустических волн для сферических поглотителей в дальнем поле. Электронный научный журнал «Инженерный вестник Дона». 2017. Т. 47. №4. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2017/4436](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2017/4436).
9. I.B. Starchenko, D.A. Kravchuk, and I.A. Kirichenko An Optoacoustic Laser Cytometer Prototype. *Biomedical Engineering*, Vol. 51, No. 5, January, 2018, pp. 308–312.
10. Кравчук Д.А. Применение оптикоакустических методов в биомедицинских исследованиях Электронный научный журнал «Инженерный вестник Дона», № 4 (2017). URL: <http://www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2017/4484>.

## Mathematical Model of Aggregation of Erythrocytes for a Research by an Optoacoustic Method

D.A. Kravchuk, associate professor of electrohydroacoustic and medical equipment of Southern Federal University (Institute of economy of business); Rostov-on-Don

e-mail: [denik545@ya.ru](mailto:denik545@ya.ru)

**Summary.** In paper the diagram of package for the organization of the spheres representing erythrocytes for formation of the aggregate is provided. This cluster was placed in a random way for creation of the aggregated blood sample. It is necessary to mark that it is very fast method because cells are placed in the fixed locations in the aggregate and also are capable to create compact clusters. The method is developed for simulation of an optoacoustic tone for aggregation level assessment.

**Keywords:** laser, diagnostics, optoacoustic waves, bio-liquid, virtual device.

### References:

1. Kravchuk D.A., Starchenko I.B. Mathematical modeling of an optoakustichesky signal from spherical absorbers on the example of erythrocytes. *News of the Southwest state university. Series: Management, computer facilities, informatics. Medical instrument making*. 2017, Volume 7, No. 3 (24). pp. 101–107.
2. Starchenko I.B., Kravchuk D.A., Kirichenko I.A. Prototip optoacoustic laser cytometer. *Medical equipment*. 2017, No. 5. pp. 4–7.
3. Kravchuk D.A. The system of flowing laser diagnostics of liquids at generation of an optoacoustic signal on lenses of spherical shape. *Quality and life*. Moscow, 2017, No. 4. pp. 74–78.
4. Kravchuk D.A. About a method of modeling of optoacoustic signals from sources of spherical shape on the example of erythrocytes. *Quality and life*. Moscow, 2017, No. 4. pp. 78–80.
5. Meiselman H.J. Red blood cell aggregation: 45 years being curious. *Biorheology* 46. 2009.
6. Kravchuk D.A. Pilot studies and modeling of process of generation of optoacoustic waves. *Online scientific magazine «Inzhenerny Vestnik Dona»*. 2017, Volume 45, No. 2. Available at: [www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2017/4234](http://www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2017/4234)
7. Kravchuk D.A. Theoretical researches of generation of optoacoustic waves in liquid cylindrical absorbers. *Online scientific magazine «Inzhenerny Vestnik Dona»*. 2017, Volume 46, No. 3. Available at: [www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/N3y2017/4350](http://www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/N3y2017/4350) ISSN 2073-8633.
8. Kravchuk D.A. Analytical result of generation of optoacoustic waves for spherical absorbers in the distant field. *Online scientific magazine «Inzhenerny Vestnik Dona»*. 2017, Volume 47, No. 4. Available at: [www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2017/4436](http://www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2017/4436).
9. Starchenko I.B., Kravchuk D.A., Kirichenko I.A. An Optoacoustic laser cytometer prototype. *Biomedical Engineering*. January, 2018, Volume 51, No. 5. pp. 308–312.
10. Kravchuk D.A. Application of optoacoustic methods in biomedical researches the *Online scientific magazine «Inzhenerny Vestnik Dona»*. 2017, No. 4. Available at: <http://www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2017/4484>.