

УДК 004.633.2+611.018.5

DOI: [10.26102/2310-6018/2020.30.3.011](https://doi.org/10.26102/2310-6018/2020.30.3.011)

Исследование эффективности классификации изображений клеток костного мозга в компьютерных системах диагностики острых лейкозов и минимальной остаточной болезни.

В.В. Дмитриева¹, Н.Н. Тупицын², Е.В. Поляков¹, А.Д. Самсонова¹

¹Национальный исследовательский ядерный университет МИФИ,
Москва, Российская Федерация

²Национальный медицинский исследовательский центр онкологии им. Н. Н. Блохина,
Москва, Российская Федерация

Резюме: Статья посвящена оценке модели классификации изображений клеток костного мозга при диагностике острого лейкоза и минимальной остаточной болезни с применением нейронной сети. В эксперименте использовалась выборка из 13 типов клеток: базофилы, лимфоциты, моноциты, палочкоядерные нейтрофилы, сегментоядерные нейтрофилы, эозинофилы, лимфобласты, миелобласты, пролимфоциты, промиелоциты, нормоциты, метамиелоциты, миелоциты. Изображения клеток костного мозга получены с препаратов Лаборатории иммунологии гемопоэза Национального медицинского исследовательского центра онкологии им. Н.Н. Блохина. Описание клеток выполнялось двадцатью шестью признаками. Представлены модели используемых признаков – средних значений цветовых компонент H, S цветовой модели HSB (H – цветовой тон, S – насыщенность, B – яркость), морфологических характеристик – площади, коэффициента формы, диаметра, отношение максимального расстояния от центра масс до края объекта к минимальному); текстурные характеристики области изображения, ограниченной контуром клетки, для матрицы пространственной смежности – энергия, момент инерции, энтропия, локальная однородность, максимальная вероятность по цветовым компонентам R, G, B и значению яркости. Проведены экспериментальные испытания рассматриваемого классификатора. Экспериментальная выборка содержала 636 клеток тринадцати разных типов. Установлено, что применение модели нейронной сети при выбранной системе признаков обеспечивает 90% точность классификации исследуемых типов клеток. Полученные результаты носят предварительный характер. Для повышения достоверности оценок в дальнейших исследованиях требуется увеличение обучающей выборки с учетом типов клеток и вариабельности изображений клеток.

Ключевые слова: распознавание образов, классификация клеток костного мозга, диагностика острого лейкоза, компьютерная микроскопия

Для цитирования: Дмитриева В.В., Тупицын Н.Н., Поляков А.Д., Самсонова Е.В. Исследование эффективности классификации изображений клеток костного мозга в компьютерных системах диагностики острых лейкозов и минимальной остаточной болезни. *Моделирование, оптимизация и информационные технологии*. 2020;8(3). Доступно по: https://moit.vivt.ru/wp-content/uploads/2020/08/DmitrievaSoavtors_3_20_1.pdf DOI: 10.26102/2310-6018/2020.30.3.011.

The study of the effectiveness of classification of images of bone marrow cells in computer systems for diagnostics of acute leukemia and minimal residual disease

V.V. Dmitrieva¹, N.N. Tupitsyn², E.V. Polyakov¹, A.D. Samsonova¹

¹*National Research Nuclear University MEPhI (Moscow Engineering Physics Institute),
Moscow, Russian Federation*

²*N. N. Blokhin National Medical Research Center of Oncology, Moscow, Russian
Federation*

Abstract: The article is devoted to evaluating the model of classification of images of bone marrow cells in the diagnosis of acute leukemia and minimal residual disease using a neural network. The experiment used a sample of 13 cell types: basophils, lymphocytes, monocytes, rod-shaped neutrophils, segmentonuclear neutrophils, eosinophils, lymphoblasts, myeloblasts, prolymphocytes, promyelocytes, normocytes, metamyelocytes, myelocytes. Images of bone marrow cells were obtained from preparations of the Laboratory of hematopoietic immunology of the N. N. Blokhin National medical research center of oncology. The description of cells was performed by twenty-six signs. Models of the used features are presented – the average values of the color components H, S of the color model HSB (H - color tone, S-saturation, B-brightness), morphological characteristics - area, shape coefficient, diameter, the ratio of the maximum distance from the center of mass to the edge of the object to the minimum; textural characteristics of the image area bounded by the cell contour for the spatial adjacency matrix - energy, moment of inertia, entropy, local uniformity, maximum probability for the color components R, G, B, and brightness value. Experimental tests of the classifier under consideration were carried out. The experimental sample contained 636 cells of thirteen different types. It was found that the use of the neural network model for the selected feature system provides 90% accuracy of classification of the studied cell types. The results obtained are of a preliminary nature. An increase in the training sample is required to increase the reliability of estimates in further studies, taking into account the cell types and variability of cell images.

Keywords: pattern recognition, image processing, microscopic analysis automation, acute leukemia diagnosis

For citation: Dmitrieva V.V., Tupitsyn N.N., Polyakov E.V., Samsonova A.D. The study of the effectiveness of classification of images of bone marrow cells in computer systems for diagnostics of acute leukemia and minimal residual disease. *Modeling, Optimization and Information Technology*. 2020;8(3). Available from: https://moit.vivt.ru/wp-content/uploads/2020/08/DmitrievaSoavtors_3_20_1.pdf DOI: 10.26102/2310-6018/2020.30.3.011(In Russ).

Введение

Микроскопическое исследование состава клеток костного мозга крови является одним из видов анализов, выполняемых при диагностике острого лейкоза и минимальной остаточной болезни. Эту трудоемкую и утомительную работу, требующую концентрированного внимания, выполняет врач клинической лабораторной диагностики. Для достижения необходимого уровня точности диагностики нужна высокая квалификация врача с большим опытом анализа патологических клеток.

Одним из актуальных направлений в повышении точности классификации клеток костного мозга при микроскопическом исследовании является применение компьютерных систем распознавания образов.

В цифровой обработке изображения можно выделить ряд этапов, относящихся к распознаванию образов - предобработка, описание, классификация. На этапе предобработки выполняется выделение на изображении областей, соответствующих отдельным клеткам. Обычно эту процедуру называют сегментацией изображения. Операция сегментации является важным этапом, от ее точности зависит точность классификации клеток. Этап описания для выделенных клеток связан с измерением их характеристик. На последующем этапе - классификации проводится отнесение клетки к одному из заданных типов. Результаты распознавания исследуемых объектов при

прочих заданных условиях зависят от описания (системы признаков), методов классификации, метрик, количества типов клеток и объема выборки. В данной работе при выбранных типах клеток, признаках, метриках рассматриваются классификаторы.

Для классификации микроскопических изображений клеток крови и костного мозга используются различные методы [1-14]. Здесь отметим нейронные сети (точность 72% и выше) [3, 4, 13, 14], метод К-ближайших соседей (точность от 80%) [5], Байесовский классификатор (точность 87%) [6-12] и др., что говорит о значительном интересе исследователей к этой проблеме. В то же время следует подчеркнуть – при проведении диагностических исследований врачей интересуют результаты классификации с учетом целого ряда значимых факторов, отраженных в выборке клеток своего медицинского учреждения. К ним относятся: вариабельность изображений клеток, условия изготовления препаратов для микроскопического исследования, популяционная активность заболевания в данном регионе. Перечисленные вопросы представлены в литературе недостаточно. Нет сведений об эффективности классификаторов изображений при выбранной системе признаков и для классификации многообразия типов клеток костного мозга с препаратов Лаборатории иммунологии гемопоэза Национального медицинского исследовательского центра онкологии им. Н. Н. Блохина.

Задача проектирования автоматической системы распознавания клеток костного мозга относится к категории сложных задач и требует поэтапного решения.

Цель работы – проведение предварительных экспериментов по оценке классификации тринадцати типов клеток костного мозга с применением нейронных сетей при выбранной системе признаков для микроскопических изображений препаратов Лаборатории иммунологии гемопоэза Национального медицинского исследовательского центра онкологии им. Н. Н. Блохина.

Исходными данными являются аппаратное и программное обеспечение системы компьютерной микроскопии для диагностики острых лейкозов и минимальной остаточной болезни, методы описания типов исследуемых клеток костного мозга, цифровые изображения препаратов костного мозга.

Материалы и методы

Аппаратное обеспечение для регистрации изображений в памяти компьютера: микроскоп биологический Olympus BX-43 с камерой Imperx IPX-4M1ST-GCFB.

Программное обеспечение – операционная система Windows 10. Программы, реализующие рассматриваемые методы классификации написаны на языке C++.

На основе опыта прикладных исследований в области медицинской и технической диагностики с применением комплексного цветового, морфологического, текстурного анализа [15-18] для рассматриваемого случая выбрана система из двадцати шести признаков. Данная система признаков клеток костного мозга включает:

- среднее значение цветовых компонент H, S модели HSB в области изображения, ограниченной контуром клетки;
- морфологические характеристики клетки (площадь, коэффициент формы, диаметр, отношение максимального расстояния от центра масс до края клетки к минимальному);
- текстурные характеристики области изображения, ограниченной контуром клетки, для матрицы пространственной смежности (энергия, момент инерции, энтропия, локальная однородность, максимальная вероятность) по цветовым компонентам R, G, B и значению яркости. Общетеоретические вопросы текстурного анализа изложены в работе [19].

При определении средних значений цветовых компонент использовалась модель

$$K_{cp} = (\sum_{i=0}^N \sum_{j=0}^M K(i, j)) / (N * M)$$

Здесь K_{cp} – среднее значение цветовой компоненты (соответственно H, S или V); $K(i, j)$ – значение цветовой компоненты (соответственно H, S или V) в пикселе цифрового изображения с координатами i по оси абсцисс и j по оси ординат; N, M – размер цифрового изображения в пикселях по оси абсцисс и оси ординат соответственно.

Морфологические признаки были определены по следующим моделям:

$$\text{Площадь } S = (\sum_{i=0}^N \sum_{j=0}^M C(i, j)),$$

здесь $C(i, j)=1$, если пиксель с координатами принадлежит оцениваемой клетке и $C(i, j)=0$, в противном случае.

$$\text{Коэффициент формы } K\phi = \frac{P^2}{4\pi S},$$

где P -периметр исследуемой клетки в пикселях, S -площадь исследуемой клетки в пикселях.

$$\text{Диаметр } D = \sqrt{4S/\pi},$$

где S -площадь исследуемой клетки в пикселях.

Отношение максимального расстояния от центра масс до края клетки к минимальному

$$K_r = \text{MAX}(d(\phi)) / \text{MIN}(d(\phi)),$$

где $d(\phi)$ - расстояние между центром масс геометрической фигуры, ограниченной контуром клетки и точкой на контуре клетки, находящейся на линии, проходящей из центра масс через эту точку и образующей угол ϕ с горизонтальной осью. Максимум и минимум рассматриваются среди всех углов в диапазоне от 0 до 2π .

Применялись следующие модели текстурных признаков:

$$\text{энергия } \sum_i \sum_j g_{ij}^2;$$

$$\text{момент инерции } \sum_i \sum_j (i - j)^2 g_{ij},$$

$$\text{энтропия } (\sum_i \sum_j g_{ij} \text{Ln} g_{ij}),$$

$$\text{локальная однородность } (\sum_i \sum_j \frac{g_{ij}}{1+(i-j)^2}),$$

$$\text{максимальная вероятность } (\max_i \max_j g_{ij}).$$

Эти признаки применялись для каждой из цветových компонент R, G, B и для значения яркости, которое рассчитывалось как среднее значение по трем компонентам R, G, B.

В вышеприведенных формулах $g(i, j)$ – элемент нормализованной матрицы пространственной смежности с индексами i и j . Матрица пространственной смежности (МПС, или матрица Харалика) является квадратной матрицей. Элементы МПС $G(i, j)$ содержат количество соседних элементов в изображении (пикселей) яркостью i с элементами изображения с яркостью j . При расчете признаков используют нормализованную матрицу пространственной смежности (НМПС). Для этого каждый элемент матрицы $G(i, j)$ делят на общую сумму элементов матрицы. Получают $g(i, j)$ - относительные частоты наличия на изображении соседних пикселей с яркостью i и j .

Изображения препаратов костного мозга содержали различные типы лейкоцитарных клеток, в том числе и бластные клетки (всего 636 клеток). Изображения клеток костного мозга получены с препаратов Лаборатории иммунологии гемопоза Национального медицинского исследовательского центра онкологии им. Н. Н. Блохина. Окрашивание препаратов осуществлялось по методу Май-Грюнвальд-Романовского.

В работе исследовались следующие типы клеток для их классификации: базофилы, лимфоциты, моноциты, палочкоядерные нейтрофилы, сегментоядерные нейтрофилы, эозинофилы, лимфобласты, миелобласты, пролимфоциты, промиелоциты, нормоциты, метамиелоциты, миелоциты. Состав экспериментальной выборки отражен в Таблице.

Используемая нейронная сеть имела четыре слоя:

- входной слой был представлен двадцатью шестью нейронами (соответствовало количеству рассматриваемых в работе признаков);
- два внутренних слоя содержали по шестнадцать нейронов (определено по результатам эксперимента);
- выходной слой состоял из тринадцати нейронов (соответствовало количеству типов клеток, рассматриваемых в работе).

Таблица – Состав выборки клеток костного мозга.
Table – Composition of the sample of bone marrow cells

Тип клетки	Количество изображений
Базофилы	25
Лимфоциты	76
Моноциты	75
Палочкоядерные нейтрофилы	75
Сегментоядерные нейтрофилы	75
Эозинофилы	50
Лимфобласты	14
Миелобласты	59
Пролимфоциты	28
Промиелоциты	74
Нормоциты	30
Метамиелоциты	24
Миелоциты	31

Результаты

В эксперименте оценивалась точность классификации изображений лейкоцитов костного мозга для классификатора на основе нейронной сети. Результаты эксперимента: точность классификации для тринадцати типов исследованных клеток 90%.

Обсуждение

По данным публикаций [4, 5, 14, 15] точность классификации клеток крови и костного мозга с применением нейронных сетей составляет от 72% и выше. В нашем случае получена точность 90%. Естественно, что наилучшие результаты в точности классификации получаются при бинарной классификации (когда в выборке присутствует только два класса клеток). Понятно, что при увеличении количества типов клеток точность классификации (при заданной системе признаков и типе классификатора) уменьшается. Также следует отметить, что достоверность результатов классификации существенным образом зависит от объема выборки. Чем больший объем экспериментальной выборки, тем достовернее результаты классификации. Таким образом, полученный нами результат является предварительным, соответствующим начальному этапу решения сложной задачи автоматической классификации множества типов клеток костного мозга при диагностике острых лейкозов и минимальной остаточной болезни. Требуется дальнейшие исследования с увеличением объема выборки и включения в состав типов исследуемых клеток большего количества классов.

Заключение.

Настоящая работа посвящена исследованию классификатора на базе нейронной сети при заданной системе признаков для тринадцати типов клеток костного мозга в системах компьютерного распознавания изображений при диагностике острых лейкозов и минимальной остаточной болезни. Выборка состояла из 636 клеток. В эксперименте получена 90% точность классификации. Результаты носят предварительный характер. Для повышения достоверности оценок в дальнейших исследованиях требуется увеличение обучающей выборки с учетом типов клеток и вариабельности изображений клеток.

Благодарности

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ по проекту №18-29-09115.

ЛИТЕРАТУРА

1. Zheng X, Wang Y, Wang G, Liu J. Fast and robust segmentation of white blood cell images by self-supervised learning. *Micron*. 2018;107:55-71. Epub. <https://doi.org/10.1016/j.micron.2018.01.010>
2. Acharya V., Kumar P. Detection of acute lymphoblastic leukemia using image segmentation and data mining algorithms. *Medical & Biological Engineering & Computing*. 2019;57(8):1783–1811. <https://doi.org/10.1007/s11517-019-01984-1>
3. Mohapatra, S., Patra, D., Kumar, S. *et al.* Lymphocyte image segmentation using functional link neural architecture for acute leukemia detection. *Biomed. Eng. Lett.* 2012;2:100–110. <https://doi.org/10.1007/s13534-012-0056-9>
4. F. Cao, J. Lu, Jianjun Chu, Zhenghua Zhou, J. Zhao and Guoqiang Chen, "Leukocyte image segmentation using feed forward neural networks with random weights," *2015 11th International Conference on Natural Computation (ICNC)*, Zhangjiajie, 2015:736-742 <https://doi.org/10.1109/ICNC.2015.7378082>
5. Bhende P.G. Analysis of Blood Cells using Image Processing. *International Journal of Science & Technology*. 2012;2(3):59-64.
6. Alférez S. *et al.* Automatic recognition of atypical lymphoid cells from peripheral blood by digital image analysis. *American journal of clinical pathology*. 2015;143(2):168-176.
7. Rawat J., Bhadauria H., Singh A., Virmani J. Review of leukocyte classification techniques for mi-croscopic blood images. *Computing for Sustainable Global Development (INDIACom)*, 2015 2nd Interna-tional Conference on IEEE. 2015:1948-1954.
8. Wang Q., Wang J., Zhou M. *et al.* Spectral-spatial feature-based neural network method for acute lymphoblastic leukemia cell identification via micro-scopic hyperspectral imaging technology. *Biomedical Optics Express*. 2017;8(6):3017-3028.
9. Rawat J., Singh A., Bhadauria H. *et al.* Clas-sification of acute lymphoblastic leukaemia using hy-brid hierarchical classifiers. *Multimedia Tools and Applications*. 2017:1-29.
10. Amin M. M. *et al.* Recognition of acute lymphoblastic leukemia cells in microscopic images using K-means clustering and support vector machine classifier. *Journal of medical signals and sensors*. 2015;5(1).
11. Linder J., Zahniser D. J. Digital imaging in hematology. *MLO: Medical Laboratory Observer*. 2012;44(5).
12. Horn C. L., Mansoor A., Wood B. *etal.* Performance of the CellaVision® DM96 system for detecting red blood cell morphologic abnormal-ities. *Journal of pathology informatics*. 2015;6.

13. Su M.-C., Cheng C.-Y., Wang P.-C. A neural-network-based approach to white blood cell classification. *The Scientific World Journal*. 2014;2014.
14. Tay D., Poh C. L., Kitney R. I. A novel neural-inspired learning algorithm with application to clinical risk prediction. *Journal of biomedical informatics*. 2015;54:305-314.
15. Поляков Е.В. Анализ эффективности методов и моделей обработки изображений препаратов крови и костного мозга для автоматизированной диагностики острых лейкозов. *Системный анализ и управление в биомедицинских системах*. 2019;18(2):133-144.
16. Nikitaev, V.G., Pronichev, A.N., Polyakov, E.V. et al. Application of texture analysis methods to computer microscopy in the visible range of electromagnetic radiation. *Bull. Lebedev Phys. Inst.* 2016;43:306–308. <https://doi.org/10.3103/S1068335616100055>
17. Nikitaev V.G., Pronichev A.N., Polyakov E.V. et al. Textural characteristics of bone marrow blast nucleus images with different variants of acute lymphoblastic leukemia. *Journal of Physics: Conference Series*. 2018;(945):012008. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/945/1/012008>.
18. Nikitaev V.G., Pronichev A.N., Polyakov E.V., Dmitrieva V. Approach to building knowledge bases in information-measuring systems diagnostics of acute leukemias. *Journal of Physics: Conference Series*. 2018;(945):012007. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/945/1/012007>
19. Haralick R. M., Shanmugam K., Dinstein I. Textural features for image classification. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*. 1973; SMC-3: 610-621.

REFERENCES

1. Zheng X, Wang Y, Wang G, Liu J. Fast and robust segmentation of white blood cell images by self-supervised learning. *Micron*. 2018;107:55-71. Epub. <https://doi.org/10.1016/j.micron.2018.01.010>
2. Acharya V., Kumar P. Detection of acute lymphoblastic leukemia using image segmentation and data mining algorithms. *Medical & Biological Engineering & Computing*. 2019;57(8):1783–1811. <https://doi.org/10.1007/s11517-019-01984-1>
3. Mohapatra, S., Patra, D., Kumar, S. et al. Lymphocyte image segmentation using functional link neural architecture for acute leukemia detection. *Biomed. Eng. Lett.* 2012;2:100–110. <https://doi.org/10.1007/s13534-012-0056-9>
4. F. Cao, J. Lu, Jianjun Chu, Zhenghua Zhou, J. Zhao and Guoqiang Chen, "Leukocyte image segmentation using feed forward neural networks with random weights," *2015 11th International Conference on Natural Computation (ICNC)*, Zhangjiajie, 2015:736-742 <https://doi.org/10.1109/ICNC.2015.7378082>
5. Bhende P.G. Analysis of Blood Cells using Image Processing. *International Journal of Science & Technology*. 2012;2(3):59-64.
6. Alférez S. et al. Automatic recognition of atypical lymphoid cells from peripheral blood by digital image analysis. *American journal of clinical pathology*. 2015;143(2):168-176.
7. Rawat J., Bhadauria H., Singh A., Virmani J. Review of leukocyte classification techniques for mi-croscopic blood images. *Computing for Sustainable Global Development (INDIACom)*, 2015 2nd Interna-tional Conference on IEEE. 2015:1948-1954.
8. Wang Q., Wang J., Zhou M. et al. Spectral-spatial feature-based neural network method for acute lymphoblastic leukemia cell identification via micro-scopic hyperspectral imaging technology. *Biomedical Optics Express*. 2017;8(6):3017-3028.
9. Rawat J., Singh A., Bhadauria H. et al. Clas-sification of acute lymphoblastic leukaemia using hy-brid hierarchical classifiers. *Multimedia Tools and Applications*. 2017:1-29.

10. Amin M. M. et al. Recognition of acute lymphoblastic leukemia cells in microscopic images using K-means clustering and support vector machine classifier. *Journal of medical signals and sensors*. 2015;5(1).
11. Linder J., Zahniser D. J. Digital imaging in hematology. *MLO: Medical Laboratory Observer*. 2012;44(5).
12. Horn C. L., Mansoor A., Wood B. et al. Performance of the CellaVision® DM96 system for detecting red blood cell morphologic abnormalities. *Journal of pathology informatics*. 2015;6.
13. Su M.-C., Cheng C.-Y., Wang P.-C. A neural-network-based approach to white blood cell classification. *The Scientific World Journal*. 2014;2014.
14. Tay D., Poh C. L., Kitney R. I. A novel neural-inspired learning algorithm with application to clinical risk prediction. *Journal of biomedical informatics*. 2015;54:305-314.
15. Polyakov E.V. Analiz effektivnosti metodov i modelej obrabotki izobrazhenij preparatov krovi i kostnogo mozga dlya avtomatizirovannoj diagnostiki ostryh lejkozov. *Sistemnyj analiz i upravlenie v biomedicinskih sistemah*. 2019;18(2):133-144.
16. Nikitaev, V.G., Pronichev, A.N., Polyakov, E.V. et al. Application of texture analysis methods to computer microscopy in the visible range of electromagnetic radiation. *Bull. Lebedev Phys. Inst.* 2016;43:306–308. <https://doi.org/10.3103/S1068335616100055>
17. Nikitaev V.G., Pronichev A.N., Polyakov E.V. et al. Textural characteristics of bone marrow blast nucleus images with different variants of acute lymphoblastic leukemia. *Journal of Physics: Conference Series*. 2018;(945):012008. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/945/1/012008>.
20. Nikitaev V.G., Pronichev A.N., Polyakov E.V., Dmitrieva V. Approach to building knowledge bases in information-measuring systems diagnostics of acute leukemias. *Journal of Physics: Conference Series*. 2018;(945):012007. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/945/1/012007>
18. Haralick R. M., Shanmugam K., Dinstein I. Textural features for image classification. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*. 1973; SMC-3: 610-621.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Дмитриева Валентина Викторовна, канд.техн. наук, доцент, отделение лазерных и плазменных технологий офиса образовательных программ, Национальный исследовательский ядерный университет МИФИ, Москва, Российская Федерация.

e-mail: vvdmityeva@mephi.ru

ORCID: [0000-0002-9202-6691](https://orcid.org/0000-0002-9202-6691)

Тупицын Николай Николаевич, д-р. медиц. наук, профессор, заведующий лабораторией иммунологии гемопоэза, Национальный медицинский исследовательский центр онкологии им. Н.Н. Блохина, Москва, Российская Федерация.

e-mail: nntca@yahoo.com

Valentina V. Dmitrieva, Phd In Engineering, Associate Professor, Department Of Laser And Plasma Technologies Of Educational Programs Office, National Research Nuclear University Mephi (Moscow Engineering Physics Institute), Moscow, Russian Federation.

Nykolay N. Tupitsyn, Dr. Sci. (Medicine), Professor, Head Of The Laboratory Of Hematopoiesis Immunology, N.N. Blokhin National Medicine Research Center Of Oncology, Moscow, Russian Federation.

Поляков Евгений Валерьевич, ассистент, отделение биотехнологий офиса образовательных программ, Национальный исследовательский ядерный университет МИФИ, Москва, Российская Федерация.

e-mail: evpolyakov@mephi.ru

ORCID: [0000-0002-5346-6504](https://orcid.org/0000-0002-5346-6504)

Evgeniy V. Polyakov, Assistant, Department Of Biotechnology Of Educational Programs Office, National Research Nuclear University Mephi (Moscow Engineering Physics Institute), Moscow, Russian Federation

Самсонова Александра Дмитриевна, аспирант, кафедра компьютерных медицинских систем, Национальный исследовательский ядерный университет МИФИ, Москва, Российская Федерация.

e-mail: samsonova183@gmail.com

Alexandra D. Samsonova, Phd Student, Department Of Computer Medical Systems, National Research Nuclear University Mephi (Moscow Engineering Physics Institute), Moscow, Russian Federation