

УДК 004.932.2

DOI: [10.26102/2310-6018/2020.31.4.003](https://doi.org/10.26102/2310-6018/2020.31.4.003)

Экспериментальное исследование влияния фокусировки оптической системы микроскопа на текстурные характеристики изображений ядер клеток костного мозга

А.Н. Проничев, Е.В. Поляков, В.В. Дмитриева, В.С. Козлов

*Национальный исследовательский ядерный университет МИФИ,
Москва, Российская Федерация*

Резюме: Рассматриваемая работа относится к направлению автоматизации медицинской диагностики с применением компьютерной микроскопии. Исследуется влияние фокусировки микроскопа на текстурные характеристики изображений в системе компьютерной микроскопии при решении диагностических задач в онкоморфологии для распознавания злокачественных опухолей. Особую важность указанные вопросы имеют при решении задачи анализа изображений слабоконтрастных объектов - хроматина ядра клеток костного мозга в процессе диагностики опасных онкологических заболеваний системы крови – острых лейкозов. В ходе проведенного эксперимента в качестве исследуемых образцов использовались препараты костного мозга пациентов с острым лимфобластным лейкозом. Препараты предоставлены Лабораторией иммунологии гемопоэза Национального медицинского исследовательского центра онкологии им. Н.Н. Блохина. По результатам эксперимента среди рассмотренных характеристик изображений структуры хроматина ядер клеток костного мозга выявлена высокая чувствительность к фокусировке оптической системы микроскопа текстурной характеристики «момент инерции» красной компоненты R цветовой модели RGB. Приведены практические рекомендации для разработчиков автоматизированных систем по использованию аппарата текстурного анализа в процессе проектирования систем диагностики онкологических заболеваний, основанных на микроскопических методах исследования образцов биологических материалов.

Ключевые слова: цифровая обработка изображений, компьютерная микроскопия, текстурный анализ, автоматическая фокусировка, диагностика острых лейкозов

Для цитирования: Проничев А.Н., Поляков Е.В., Дмитриева В.В., Козлов В.С. Экспериментальное исследование влияния фокусировки оптической системы микроскопа на текстурные характеристики изображений ядер клеток костного мозга. *Моделирование, оптимизация и информационные технологии*. 2020;8(4). Доступно по: <https://moitvvt.ru/ru/journal/pdf?id=849> DOI: 10.26102/2310-6018/2020.31.4.003

An experimental study of the effect of focusing the optical system of a microscope on the textural characteristics of the images of the bone marrow cells nuclei

A.N. Pronichev, E.V. Polyakov, V.V. Dmitrieva, V.S. Kozlov

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

Abstract: This work relates to the direction of automation of medical diagnostics using computer microscopy. The effect of focusing a microscope on the textural characteristics of chromatin images of the nuclei of bone marrow cells in the computer microscopy system when solving diagnostic problems in oncomorphology for the recognition of malignant tumors is investigated. These questions are of particular importance when solving the problem of analyzing images of low-contrast objects-chromatin of the nucleus of bone marrow cells in the diagnosis of dangerous oncological diseases of the blood

system-acute leukemia. During the experiment, bone marrow preparations from patients with acute lymphoblastic leukemia were used as test samples. The preparations were provided by the laboratory of hematopoiesis immunology of the N.N. Blokhin National Medical Research Center of Oncology. The results of the experiment among the characteristics of images of the structure of the chromatin of the nuclei of bone marrow cells revealed the high sensitivity of the focusing optical system of the microscope texture characteristic «moment of inertia» of the red components R of RGB color model. Practical recommendations are given for developers of automated systems on the use of the texture analysis apparatus in the design of cancer diagnostics systems based on microscopic methods of studying samples of biological materials.

Keywords: digital image processing, computer microscopy, texture analysis, automatic focusing, acute leukemia diagnosis

For citation: Pronichev A.N., Polyakov E.V., Dmitrieva V.V., Kozlov V.V. An experimental study of the effect of focusing the optical system of a microscope on the textural characteristics of the images of the bone marrow cells nuclei. *Modeling, optimization and information technology*. 2020; 8(4). Available from: <https://moitvvt.ru/ru/journal/pdf?id=849> DOI: 10.26102/2310-6018/2020.31.4.003 (In Russ).

Введение

При диагностике онкологических заболеваний широко используется метод световой микроскопии для анализа биологических материалов. В большинстве случаев объектами исследования являются мазки крови, цитологические и гистологические препараты (гистологический анализ является золотым стандартом в диагностике онкологических заболеваний).

При диагностике острых лейкозов обязательным этапом в ходе диагностического исследования является анализ мазков крови и костного мозга. Традиционное визуальное исследование клеток крови и костного мозга под микроскопом трудоемко, вызывает большое напряжение зрения врача и его быструю утомляемость, что повышает вероятность ошибки при постановке диагноза. Кроме того, ввиду сложной структуры ядер клеток костного мозга и их значительной вариабельности, для правильной идентификации наблюдаемых клеток требуются высококвалифицированные врачи лабораторной диагностики с большим опытом анализа патологических клеток. Для объективизации исследований и повышения диагностической точности проводятся интенсивные работы по автоматизации анализа исследуемых изображений с применением систем компьютерной микроскопии [1, 2].

Основными структурными элементами таких систем являются роботизированный микроскоп, камера, компьютер. По командам от компьютера осуществляется перемещение предметного столика микроскопа с препаратом по всем трем направлениям. Управляемое компьютерной программой перемещение столика в горизонтальной плоскости обеспечивает сканирование препарата для поиска зон на препарате, необходимых для медицинского анализа, а перемещение столика по вертикали обеспечивает возможность автоматической фокусировки оптической системы микроскопа на объекте исследования. В качестве иллюстрации на Рисунке 1 показан общий вид системы компьютерной микроскопии. Ее структурная схема представлена на Рисунке 2.

Управление от компьютера камерой обеспечивает автоматическую регистрацию наблюдаемой в микроскопе картины препарата. Компьютерный анализ микроскопического изображения с выделением из наблюдаемой картины объектов интереса и распознавания их типа обеспечивает объективизацию медицинской диагностики. Основными этапами процесса распознавания являются предобработка, описание, классификация. Ключевым из них является этап описания, в результате

которого необходимо определить характеристики объекта, на основе которых можно отнести выделенный объект к одному из возможных классов. Считается, что в основе описания объектов зрительного анализа лежат такие характеристики объектов как форма, цвет, текстура, контраст. Но для того, чтобы эти характеристики можно было выделить в системе компьютерной микроскопии, требуется обеспечить надлежащее качество регистрируемого в системе изображения. Оно зависит от множества факторов, основными из которых являются характеристики микроскопа (разрешающая способность, контрастность, яркость) и его настройки (в том числе фокусировка оптической системы) и камеры, регистрирующей формируемое микроскопом изображение (разрешающая способность, уровень шума, глубина кодирования яркости, точность цветопередачи, чувствительность).



Рисунок 1 – Система компьютерной микроскопии.
Figure 1- Computer microscopy system.

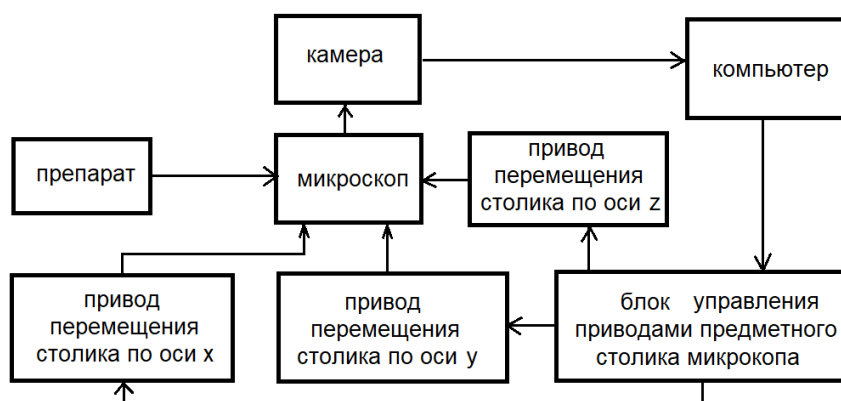


Рисунок 2 – Структурная схема системы компьютерной микроскопии
Figure 2 - Block diagram of the computer microscopy system

При классификации типа клеток значимыми признаками являются особенности строения ядра клеток и наблюдаемая при микроскопическом анализе структура хроматина. Поэтому настройка оптической системы микроскопа должна обеспечить фокусировку именно на структуре хроматина ядра клетки.

Так как при диагностике острых лейкозов анализ клеток крови и костного мозга выполняется при большом увеличении микроскопа с использованием 100 кратного

объектива, глубина резкости получаемых при таком увеличении изображений крайне незначительна. Даже небольшое вертикальное смещение положения предметного столика микроскопа с установленном на нем исследуемым препаратом приводит к расфокусировке изображений структуры хроматина, что препятствует правильной идентификации типа клеток. Поэтому в автоматических системах фокусировки важно обеспечить максимально точную настройку фокуса на изображении хроматина ядра клеток. Это особенно важно в системе уменьшения шума и коррекции яркости изображений, основанной на съемке серии изображений, каждое из которых должно быть максимально сфокусировано [3-5].

Одним из подходов к созданию систем автоматической фокусировки оптической системы микроскопов является применение оценки резкости изображения на основе анализа градиентных изображений (например, на основе оператора Собеля) [6]. Но в условиях слабоконтрастных объектов и в присутствии шума камеры этот подход зачастую приводит к получению изображений с «размытостью» структуры хроматина.

При решении задач распознавания типов клеток на микроскопических изображениях широко используется метод текстурного анализа [7-10]. При этом в качестве признаков для распознавания клеток используются текстурные характеристики, рассчитанные для внутренней области ядра клетки. Поскольку текстурные характеристики ориентированы на количественное описание текстур, то можно предположить, что «размытие» изображения хроматина ядра клетки на несфокусированном изображении должно соответственно изменить значения текстурных характеристик.

Анализ публикаций в области компьютерной микроскопии показывает недостаточную исследованность влияния фокусировки микроскопа на текстурные характеристики клеток крови и костного мозга. Решение этой проблемы составляет цель настоящей работы.

Материалы и методы

Для получения изображений использовалась система компьютерной микроскопии в составе роботизированного микроскопа Olympus CX31 с цветной камерой Watec-231 и компьютера (см. Рисунок 1). Съемка изображений проводилась при установленном объективе с масляной иммерсией и кратностью увеличения 100x (соответствует наблюдению через окуляры микроскопа с 1000 кратным увеличением, при стандартных окулярах с кратностью увеличения 10x). Изображения размером 720x576 пикселей записывались в формате BMP с цветовым 24 битным кодированием RGB (по 8 бит на цветовой канал, что обеспечивает более 16 миллионов цветовых оттенков на пиксель цифрового изображения). В качестве объектов исследования использованы препараты костного мозга от пациентов с заболеванием острый лимфобластный лейкоз В и Т типа. Препараты были предоставлены лабораторией иммунологии гемопоэза Национального медицинского исследовательского центра онкологии им. Н.Н.Блохина. Общий вид исследуемого препарата представлен на Рисунке 3.



Рисунок 3 – Общий вид препарата костного мозга на предметном стекле для микроскопического исследования.

Figure 3 - General view of the bone marrow preparation on a slide for microscopic examination.

При съемке на препарате выполнялся поиск бластных клеток и производилась их съемка при разной настройке фокуса оптической системы микроскопа. Полученные с помощью системы компьютерной микроскопии изображения обрабатывались программой расчета текстурных характеристик. При обработке изображения выделялась зона ядра бластной клетки, присутствующей на изображении. Микроскопическое изображение бластных клеток представлено на Рисунке 4.

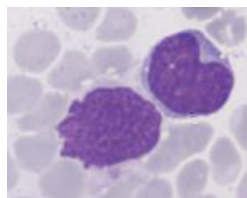


Рисунок 4 – Изображение бластных клеток, анализируемых в системе компьютерной микроскопии.
 Figure 4 - Image of blast cells analyzed in a computer microscopy system.

Расчет текстурных характеристик для выделенной зоны производился на основе построения матриц пространственной смежности. Матрицы строились для шести цветовых компонент моделей RGB и HSV. Для каждой из матриц рассчитывалось по пять текстурных признаков: энергия ASM, момент инерции CON, энтропия ENT, локальная однородность LUN, максимальная вероятность MPR:

$$ASM = \sum_i \sum_j g_{ij}^2;$$

$$CON = \sum_i \sum_j (i - j)^2 g_{ij};$$

$$ENT = \sum_i \sum_j g_{ij} \ln g_{ij};$$

$$LUN = \sum_i \sum_j \frac{g_{ij}}{1 + (i - j)^2};$$

$$MPR = \max_i \max_j g_{ij}.$$

Здесь $g(i,j)$ – элемент нормализованной матрицы пространственной смежности с индексами i и j . Элемент матрицы пространственной смежности $G(i,j)$ определяет количество пикселей в рассматриваемой зоне изображения (области ядра клетки костного мозга) с яркостью i , имеющих соседние пиксели с яркостью j . Под яркостью понимается значение рассматриваемой цветовой компоненты. Элементы нормализованной матрицы пространственной смежности определяются выражением $g(i,j) = G(i,j) / \sum_i \sum_j g_{ij}$.

Разработана методика проведения эксперимента, цель которого определить текстурные признаки, на основании измерения которых можно оценить сфокусированность оптической системы микроскопа на хроматине ядра клеток в препарате костного мозга и крови. Это необходимо для обеспечения точной фокусировки при съемке серии кадров при реализации метода уменьшения шума в системе компьютерной микроскопии при автоматизированной диагностике острых лейкозов [3-5]. Поскольку при острых лейкозах субстратом опухоли являются бластные клетки, то в проводимом эксперименте в качестве объекта измерения выбраны клетки именно этого типа.

Для количественной оценки чувствительности рассматриваемых текстурных характеристик к сфокусированности изображения хроматина ядра клеток костного мозга предложено вычислять коэффициент чувствительности K по следующей формуле:

$$K = |P_0 - P_1| / (S_0 + S_1).$$

Здесь P_0 и S_0 среднее значение и среднеквадратическое отклонения рассматриваемой текстурной характеристики, рассчитанной по выборке из 256 кадров для позиции предметного столика микроскопа, соответствующей максимальной резкости изображения хроматина ядра клетки костного мозга. P_1 и S_1 соответствующие значения, рассчитанные для позиции предметного столика микроскопа в одном дискретном шаге смещения от положения максимальной резкости.

При проведении эксперимента выполнялись следующие операции.

1. Установка предметного столика микроскопа в позицию, соответствующую визуально воспринимаемой максимальной резкости изображения структуры хроматина ядра бластной клетки на препарате костного мозга при наблюдении изображения на экране монитора компьютера.
2. Смещение позиции предметного столика на минимальный шаг регулятора дискретного перемещения вверх. Проведение съемки первой серии из 256 кадров.
3. Смещение предметного столика в обратном направлении (вниз) на один шаг (этой позиции должна соответствовать максимальная резкость изображения хроматина ядра бластной клетки) и проводится съемка второй серии из 256 кадров.
4. Смещение предметного столика в том же направлении (вниз) на один дискретный шаг и съемка третьей серии из 256 кадров.
5. Аналогично после смещения на один дискретный шаг выполняется съемка четвертой серии из 256 кадров.

Если сделать еще один шаг вниз в смещении предметного столика, то на экране компьютера визуально наблюдается заметная размытость (несфокусированность) изображения, в то время как в позициях первой, второй и третьей серий кадров визуального различия практически незаметны.

1. Обработка каждого изображения в сериях снятых кадров с выделением зоны ядра бластной клетки, присутствующей на изображении и сохранением бинарной маски изображения с зоной выделения ядра бластной клетки.
2. Расчет текстурных характеристик (ASM - энергия, CON - момент инерции, ENT - энтропия, LUN - локальная однородность, MPR - максимальная вероятность) для шести цветовых компонент R,G,B и H,S,V для выделенной зоны на изображении.
3. Построение графиков зависимости текстурных признаков в зависимости от номера кадра в серии кадров для пяти позиций предметного столика.
4. Анализ графиков с выявлением резких изменений в значении текстурной характеристики при переходах из одной позиции предметного столика к другой с сохранением постоянного значения характеристики в позиции сфокусированности оптической системы на хроматине ядра бластной клетки в препарате костного мозга.
5. Расчет коэффициента чувствительности текстурных характеристик к сфокусированности изображения.

Результаты

В результате проведенного эксперимента построены графики зависимости тридцати текстурных характеристик в зависимости от номера кадра в проведенных сериях съемки изображений препаратов костного мозга и проведен расчет чувствительности текстурных характеристик к сфокусированности изображения.

В качестве иллюстрации результатов на Рисунке 5 показаны графики для следующих текстурных характеристик:

- момент инерции CON для красной цветовой компоненты R модели RGB
- энтропия для компоненты H - цветовой тон модели HSV;
- локальная однородность для компоненты H - цветовой тон модели HSV.

По оси абсцисс отложены номера кадров при съемке серий изображений. Для наглядности на графиках отражены только первые 10 кадров из серии в 256 кадров для каждой позиции столика.

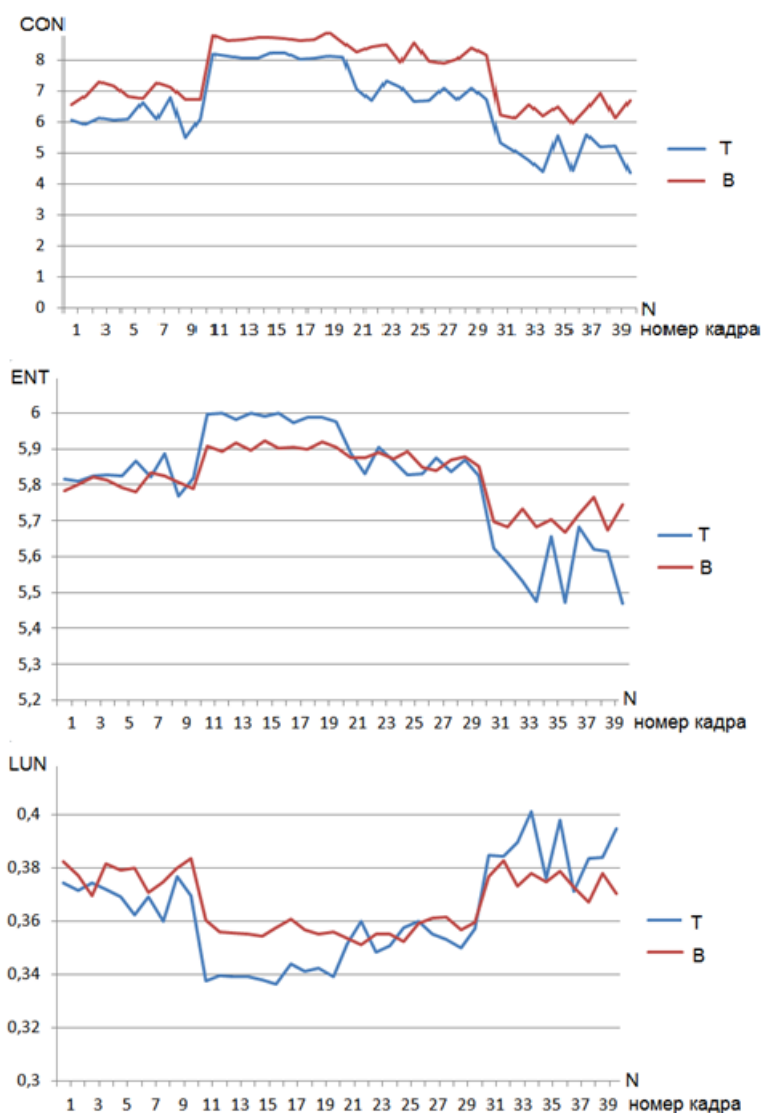


Рисунок 5 - Зависимость текстурных характеристик CON (момент инерции) для компоненты R (красный цвет) цветовой модели RGB, ENT (энтропия) и LUN (локальная однородность) для компоненты H (цветовой тон) для цветовой модели HSV от вертикальной позиции предметного столика микроскопа для двух экспериментов: с применением препарата от пациента с острым лимфобластным лейкозом Т-типа и с применением препарата от пациента с острым лимфобластным лейкозом В-типа.

Figure 5 - Dependence of the texture characteristics CON (moment of inertia) for the R (red) component of the RGB color model, ENT (entropy) and LUN (local uniformity) for the H (color tone) component of the HSV color model on the vertical position of the microscope slide for two experiments: using a preparation from a patient with acute T-type lymphoblastic leukemia and using a preparation from a patient with acute B-type lymphoblastic leukemia.

Обсуждение

В результате анализа полученных графических зависимостей текстурных характеристик от номера кадра в серии изображений и расчета коэффициентов чувствительности выявлены текстурные характеристики, наиболее адекватно отражающие сфокусированность изображений с незначительной чувствительностью к шуму камеры, присутствующей на изображениях, регистрируемых в системе компьютерной микроскопии. На Рисунках 5 отражены результаты двух экспериментов для бластных клеток при остром лейкозе В-типа и Т-типа. Как следует из графиков для клетки В, переход от первой серии кадров ко второй (точка 11 на оси абсцисс) сопровождается более резким изменением значений текстурной характеристики по сравнению с переходом от второй к третьей серии кадров (точка 21 на оси абсцисс). По-видимому, это обусловлено тем обстоятельством, что положение предметного столика микроскопа с максимальной сфокусированностью в данном эксперименте соответствовало промежутку между позициями предметного столика во второй и третьей серии кадров.

На основе полученных экспериментальных зависимостей и расчетов можно сделать вывод, что наиболее адекватно реагирует на изменение фокусировки оптической системы микроскопа препарата текстурная характеристика CON - момент инерции для красной компоненты R цветовой модели RGB.

Установление факта адекватного реагирования текстурной характеристики - момента инерции для красной компоненты цветовой модели RGB делает возможным использование этой характеристики в системе автоматической фокусировки изображений микроскопических препаратов. Последнее особенно важно в решении задач съемки серий изображений исследуемых клеток при реализации методов уменьшения шума в системах компьютерной микроскопии для распознавания клеток крови и костного мозга при диагностике острых лейкозов.

Заключение

Настоящая работа посвящена исследованию влияния фокусировки на текстурные характеристики микроскопических изображений ядер бластных клеток при диагностике острых лейкозов с применением информационных технологий. Рассмотрены тридцать текстурных характеристик. Это ASM - энергия, CON - момент инерции, ENT - энтропия, LUN - локальная однородность, MPR - максимальная вероятность, рассчитанные по матрице пространственной смежности для цветовых компонент R(красный цвет), G(зеленый), B (синий), H (цветовой тон), S (насыщенность), V (значение максимума из R, G, B компонент). В итоге экспериментальных исследований установлено, что наилучший результат по чувствительности к качеству фокусировки микроскопа дает применение текстурной характеристики CON - момент инерции для компоненты R цветовой модели RGB. Рекомендуется использование указанной характеристики при автоматической фокусировке, в том числе с проведением съемки серий кадров для уменьшения влияния шума на результат измерения признаков распознавания клеток. Что в конечном итоге призвано повысить точность диагностики опасных онкологических заболеваний - острых лейкозов с применением методов и средств компьютерной микроскопии.

Благодарности

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ по проекту №18-07-01456.

ЛИТЕРАТУРА

1. Nair P.A., Roy R.M. Automated Detection of Leukaemia Based on Microscopic Images- A Review. *International Journal of Innovative Science and Research Technology*. 2017;2(12):290-293(на англ).
2. Amin M.M., Kermani S., Talebi A., Oghli M.G. 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):49-58 (на англ.).
3. Nikitaev V.G., Nagornov O.V., Pronichev A.N., Polyakov E.V., Dmitrieva V.V. Model of image sensor signal correction in the computer microscopy system. *Journal of Physics: Conference Series*. 2019;1205(1):012041. Доступно по: doi:10.1088/1742-6596/1205/1/012041(на англ.).
4. Nikitaev V.G., Nagornov O.V., Pronichev A.N., Polyakov E.V., Dmitrieva V.V. Method for optical radiation sensor signal irregularity correction in the computer microscopy system. *Journal of Physics: Conference Series*. 2019;1189(1):012026. Доступно по: doi:10.1088/1742-6596/1189/1/012026 (на англ.).
5. Никитаев В.Г., Проничев А.Н., Поляков Е.В., Дмитриева В.В. Способ коррекции сигнала датчика изображения слабоконтрастных объектов в системах компьютерной микроскопии при онкологической диагностике. Патент RU 2712941 С1 03.02.2020.
6. He C., Li X., Yu Y., Ye Z, Kang H. Microscope images automatic focus algorithm based on eightneighborhood operator and least square planar fitting. *Optik - International Journal for Light and Electron Optics*. 2020;206:164232. Доступно по: doi:10.1016/j.ijleo.2020.164232 (на англ.).
7. Díaz G., Manzanera A. Automatic analysis of microscopic images in hematological cytology applications. In: Gonz´alez F.A., Romero E. (eds.) *Biomedical Image Analysis and Machine Learning Technologies: Applications and Techniques*. 2009;978:1605669564. Доступно по: doi:10.4018/978-1-60566-956-4.ch008 (на англ.).
8. Mohapatra S., Patra D., Satpathy S. Automated leukemia detection in blood microscopic images using statistical texture analysis. In: *Proceedings of the 2011 International Conference on Communication, Computing & Security*. ICCCS 2011, Odisha, India, February 12-14. 2011:184-187. Доступно по: doi:10.1145/1947940.1947980 (на англ.).
9. Bodzas A., Kodytek P., Zidek J. Automated detection of acute lymphoblastic leukemia from microscopic images based on human visual perception. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*.2020;8:1005. Доступно по: doi:10.3389/fbioe.2020.01005 (на англ.).
10. Mohammed Z.F., Abdulla A.A. An efficient CAD system for ALL cell identification from microscopic blood images. *Multimedia Tools and Applications*.2020:1-14. Доступно по: doi:10.1007/s11042-020-10066-6 (на англ.).

REFERENCES

1. Nair P.A., Roy R.M. Automated Detection of Leukaemia Based on Microscopic Images- A Review. *International Journal of Innovative Science and Research Technology*. 2017;2(12): 290-293.
2. Amin M.M., Kermani S., Talebi A., Oghli M.G. 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):49-58.
3. Nikitaev V.G., Nagornov O.V., Pronichev A.N., Polyakov E.V., Dmitrieva V.V. Model of image sensor signal correction in the computer microscopy system. *Journal of Physics: Conference Series*. 2019;1205(1):012041. Available from: doi:10.1088/1742-

- 6596/1205/1/012041.
4. Nikitaev V.G., Nagornov O.V., Pronichev A.N., Polyakov E.V., Dmitrieva V.V. Method for optical radiation sensor signal irregularity correction in the computer microscopy system. *Journal of Physics: Conference Series*. 2019;1189(1):012026. Available from: doi:10.1088/1742-6596/1189/1/012026.
 5. Nikitaev V.G., Pronichev A.N., Polyakov E.V., Dmitrieva V.V. Method of image sensor signal low-contrast objects correction in computer microscopy systems in oncological diagnostics. Patent RU 2712941 C1 03.02.2020 (In Russ).
 6. He C., Li X., Yu Y., Ye Z, Kang H. Microscope images automatic focus algorithm based on eightneighborhood operator and least square planar fitting. *Optik - International Journal for Light and Electron Optics*.2020;206:164232. Available from: doi:10.1016/j.ijleo.2020.164232.
 7. Díaz G., Manzanera A. Automatic analysis of microscopic images in hematological cytology applications. In: Gonz´alez F.A., Romero E.(eds.) *Biomedical Image Analysis and Machine Learning Technologies: Applications and Techniques*. 2009;978:1605669564. Available from: doi:10.4018/978-1-60566-956-4.ch008.
 8. Mohapatra S., Patra D., Satpathy S. Automated leukemia detection in blood microscopic images using statistical texture analysis. In: *Proceedings of the 2011 International Conference on Communication, Computing & Security*. ICCCS 2011, Odisha, India, February 12-14. 2011:184-187. Available from: doi:10.1145/1947940.1947980.
 9. Bodzas A., Kodytek P., Zidek J. Automated detection of acute lymphoblastic leukemia from microscopic images based on human visual perception. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*.2020;8:1005. Available from: doi:10.3389/fbioe.2020.01005.
 10. Mohammed Z.F., Abdulla A.A. An efficient CAD system for ALL cell identification from microscopic blood images. *Multimedia Tools and Applications*.2020:1-14. Available from: doi:10.1007/s11042-020-10066-6.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Проничев Александр Николаевич, канд.техн. наук, доцент, отделение биотехнологий офиса образовательных программ, Национальный исследовательский ядерный университет МИФИ, Москва, Российская Федерация.

e-mail: anpronichev@mephi.ru

ORCID: [0000-0003-0443-8504](https://orcid.org/0000-0003-0443-8504)

Aleksander N. Pronichev, Phd In Engineering, Associate Professor, Department Of Biotechnologies Of Educational Programs Office, National Research Nuclear University Mephi (Moscow Engineering Physics Institute), 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 Biotechnologies Of Educational Programs Office, National Research Nuclear University Mephi (Moscow Engineering Physics Institute), Moscow, Russian Federation

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

Valentina V. Dmitrieva, Phd In Engineering, Associate Professor, Department Of Laser And Plasma Technologies Of Educational Programs Office, National Research Nuclear

университет МИФИ, Москва, Российская
Федерация.
e-mail: yvdmitriyeva@mephi.ru
ORCID: [0000-0002-9202-6691](https://orcid.org/0000-0002-9202-6691)

University Mephi (Moscow Engineering
Physics Institute), Moscow, Russian
Federation.

Козлов Владимир Сергеевич, аспирант, кафедра
компьютерных медицинских систем,
Национальный исследовательский ядерный
университет МИФИ, Москва, Российская
Федерация.
e-mail: yova_29@mail.ru

Vladimir S. Kozov, Phd Student, Department
Of Computer Medical Systems, National
Research Nuclear University Mephi (Moscow
Engineering Physics Institute), Moscow,
Russian Federation