



Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова
Факультет вычислительной математики и кибернетики
Кафедра математических методов прогнозирования

Оспанов Аят Махатович

**Разработка, исследование и программная реализация
нового математического метода автоматизированной
идентификации состояния липидного слоя на
изображениях интермаргинального пространства века**

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА

Научный руководитель:

к.ф-м.н., доцент

И.Б. Гуревич

Москва, 2016

Оглавление

Введение.....	3
1. Постановка задачи.....	7
2. Метод автоматизации анализа функционального состояния мейбомиевых желез. .	9
2.1 Разработка и обоснование метода автоматизации анализа функционального состояния мейбомиевых желез	9
2.2 Основные результаты и их обсуждение	10
3 Программная реализация разработанного метода идентификации состояния липидного слоя	13
Заключение	18
Использованная литература.....	19
Приложение. Листинг программной реализации.	21

Введение

Работа посвящена:

- 1) постановке и решению математических задач, связанных с разработкой метода, обеспечивающего автоматизированную идентификацию состояния липидного слоя на изображениях интермаргинального пространства века;
- 2) программной реализации разработанного метода;
- 3) исследованию разработанного метода и его программной реализации в вычислительных экспериментах.

Морфометрическое исследование липидного слоя века глаза человека имеет важное значение как для биологии для систематизации знаний о структурной организации на тканевом и органном уровне в нормальных условиях, так и для медицины – для цитологической диагностики синдрома сухого глаза [7, 11].

Синдром сухого глаза – одно из самых распространенных глазных заболеваний. Это комплекс признаков ксероза поверхности глазного яблока вследствие длительного нарушения стабильности слезной пленки. Он может развиваться как изолированная патология, являться следствием или осложнять течение других болезней. В 85% случаев причиной синдрома становится повышенная испаряемость слезной пленки и лишь в 15% случаев заболевание начинается со снижения слезопродукции. В молодом возрасте это связано, как правило, с хроническим мейбомиевым блефаритом, а в старшем возрасте – с периодом перименопаузы, т.к. мейбомиевые железы андрогензависимы [15].

Мейбомиевы железы – видоизменённые сальные железы, открывающиеся на краях век. Основная функция мейбомиевых желез -выделение жирового секрета в интермаргинальное пространство век, откуда секрет мигательными движениями молекулярным слоем «размазывается» по глазной поверхности, образуя тончайшую пленку на поверхности слезной жидкости, препятствуя последней активно испаряться [15].

Дисфункция мейбомиевых желез – это хроническое нарушение их секреторной функции, которое характеризуется обструкцией их выводных протоков и/или изменением секреции и сопровождается нарушением стабильности слезной пленки, поражением глазной поверхности и синдромом сухого глаза (60% его причин) [15].

Одним из способов диагностирования данного нарушения является компьютерная обработка интерференционной картины липидного слоя с помощью программы «Lacima», позволяющая оценить его толщину и характер распределения липидов прекорнеальной слезной пленки [15]. К сожалению, не вся вырабатываемая железами жировая смазка идет на построение липидного слоя и по ее толщине невозможно судить об объеме секреции

жировой смазки мейбомиевыми железами. Следовательно, диагностирование данным способом является неточным.

В интермаргинальном пространстве век находится липидный слой, наиболее полно отражающий функциональные способности мейбомиевых желез внутри века. Поскольку степень прокрашивания липидов в интермаргинальном пространстве напрямую зависит от количества вырабатываемых липидов, т.е. от функции мейбомиевых желез, то результаты подобного исследования могут иметь важное значение в диагностике синдрома сухого глаза.

В этой связи был предложен новый способ оценки функционального состояния мейбомиевых желез по наличию липидов в мазке-отпечатке интермаргинального пространства века на миллипоровом фильтре после окрашивания в парах осмия (патент РФ №2373832). Оценочная шкала функционального состояния мейбомиевых желез основывается на интенсивности и площади прокрашивания липидного слоя на миллипоровом фильтре:

- 3 балла (Рис. 1) характеризуют нормальную функциональную активность мейбомиевых желез и проходимость ее выводных протоков; зона окрашивания при этом представляет сплошную гомогенно окрашенную полосу черного цвета с расширениями в местах, соответствующих устьям выводных протоков;



Рис.1. Изображение отпечатка липидного слоя, соответствующее 3 баллам.

- 2 балла (Рис. 2) свидетельствуют об умеренном снижении функциональной активности мейбомиевых желез при полной проходимости выводных протоков; отмечается менее интенсивно окрашенная и суженная полоса с округлыми расширениями черного цвета в области устьев проходимых выводных протоков мейбомиевых желез.



Рис.2. Изображение отпечатка липидного слоя, соответствующее 2 баллам.

- 1 балл (Рис. 3) указывает на выраженное снижение функциональной активности мейбомиевых желез и проходимости ее выводных протоков; в пределах неравномерной по ширине окраски оттенками серого цвета полосы встречаются лишь единичные точки темного цвета в проекции устьев выводных протоков мейбомиевых желез.



Рис.3. Изображение отпечатка липидного слоя, соответствующее 1 баллу.

- 0 баллов (Рис. 4) соответствуют полному отсутствию секрета мейбомиевых желез, либо закупорке их выводных протоков; отмечаются лишь отдельные бледно-серые мазки на полоске фильтра и мелкоточечные затемнения, обусловленные наличием секрета сальных желез Цейса, открывающихся в области корней ресниц.



Рис. 4. Изображение отпечатка липидного слоя, соответствующее 0 баллам.

Данный метод оценки состояния мейбомиевых желез достаточно новый. Поэтому вышеприведенная шкала оценивания не является исчерпывающей. Для более полной и

точной оценки требуется проводить трудоемкие исследования, такие как оценивание яркости, изменений толщины и т.п.

Эти исследования могли бы продвигаться гораздо быстрее и быть экономически эффективнее при снижении временных и материальных затрат за счет автоматизации и оптимизации методов обработки и анализа изображений на основе применения методов современных математических теорий анализа изображений и распознавания образов [1]. Современное состояние этих теорий позволяет решить задачу создания специализированных алгоритмическо-программных комплексов (АПК), обеспечивающих автоматическое извлечение информации из биомедицинских изображений и создающих объективную основу для оптимизации принятия диагностических решений врачами-практиками и врачами-исследователями в интерактивном и автоматическом режимах [12].

В последующих разделах приведены описания разработанного нового информационного метода анализа состояния липидного слоя на изображениях интермаргинального пространства века глаза человека, его программной реализации, а также результаты использования разработанного метода и программных средств.

Работа состоит из Введения, 3-х параграфов, Заключения, Списка использованной литературы (17 названий) и Приложения.

Во Введении описывается медицинская задача, требующая больших затрат человеческих ресурсов, но которую можно упростить путем применения к данной задаче современного математического подхода, позволяющего автоматизировать ее решение.

В параграфе 1 «Постановка задачи» рассматриваются математические аспекты задачи исследования и формулируются основные требования к разрабатываемому методу.

В параграфе 2 «Метод автоматизации анализа функционального состояния мейбомиевых желез» описывается разработанный метод и приводятся результаты его экспериментального использования.

В параграфе 3 «Программная реализация разработанного метода идентификации состояния липидного слоя» описываются основные программно-технические характеристики и интерфейс реализованного метода.

В Заключении приведены основные результаты, полученные в данной работе, и направления дальнейших исследований.

В Приложении приведен листинг программной реализации разработанного метода.

1. Постановка задачи

Основная задача данной работы заключается в автоматизации анализа изображений интермаргинального пространства века и оценивания функционального состояния мейбомиевых желез [2].

В качестве исходных данных использованы изображения мазков-отпечатков интермаргинального пространства века на миллиметровом фильтре после окрашивания в парах осмия (патент РФ №2373832) (Рис. 5).

Изображения предоставлены Лабораторией фундаментальных исследований в офтальмологии Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Научно-исследовательский институт глазных болезней» (руководитель - к.м.н. А.А. Федоров).

Каждое изображение представляет собой тоновой снимок, на котором темные области являются отпечатком мейбомиевых желез [4].



Рис. 5. Изображения мазков-отпечатков интермаргинального пространства века.

Для более точного анализа функционального состояния мейбомиевых желез нужно разработать метод, функциональные возможности которого должны обеспечивать обработку и анализ изображений в автоматическом режиме с целью определения следующих параметров:

- 1) яркость отпечатка вдоль проведенной линии;
- 2) математическое ожидание и среднеквадратическое отклонение яркости отпечатка на проведенной линии;
- 3) математическое ожидание и среднеквадратическое отклонение яркости отпечатка для выделенной области;
- 4) изменение толщины отпечатка.

2. Метод автоматизации анализа функционального состояния мейбомиевых желез.

2.1 Разработка и обоснование метода автоматизации анализа функционального состояния мейбомиевых желез

Разработанный метод предназначен для получения морфометрических данных по изображениям мазков-отпечатков интермаргинального пространства века на миллиметровом фильтре после окрашивания в парах осмия. Результатами являются следующие статистические характеристики, вносимые в таблицы базы данных[13]:

- математическое ожидание и среднее квадратическое отклонение яркости отпечатка по произвольной линии;
- математическое ожидание и среднее квадратическое отклонение яркости отпечатка по выделенной области;
- математическое ожидание и среднее квадратическое отклонение изменения толщины отпечатка.

По результатам обработки изображения строятся следующие графики:

- яркость отпечатка по произвольной линии;
- изменение толщины отпечатка.

Метод состоит из следующих шагов.

- 1) Морфологическая обработка изображения [5]:
 - 1.1) морфологическое закрытие (удаления шума) [14];
 - 1.2) нормировка яркости;
- 2) Вычисление морфометрических данных вдоль линии [16, 17]:
 - 2.1) определение точек перегиба;
 - 2.2) построение линии по данным точкам;
 - 2.3) выделение области изображения по линии;
 - 2.4) построение графика яркости изображения вдоль линии (ось ординат – яркость изображения, ось абсцисс – точка линии);
 - 2.5) вычисление математического ожидания и среднее квадратическое отклонения яркости по линии. Математическое ожидание высчитывается как $E = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n I_i$, где I_i – яркость вдоль линии, а среднее квадратическое отклонение как $D =$

$$\sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (I_i - E)^2} .$$

- 3) Вычисление морфометрических характеристик по выделенной области [16, 17]:
- 3.1) определение 2-х точек прямоугольника (верхняя левая и правая нижняя);
 - 3.2) построение прямоугольника по данным точкам;
 - 3.3) выделение области изображения по прямоугольнику;
 - 3.4) вычисление математического ожидания и среднеквадратического отклонения яркости по выделенной области; математическое ожидание высчитывается как $E = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n I_i$, где I_i – яркость пиксела выделенной области, а среднеквадратическое отклонение как $D = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (I_i - E)^2}$.
- 4) Определение изменений толщины области:
- 4.1) определение 3-х точек (центр, начало и конец дуги);
 - 4.2) построение сектора по данным точкам;
 - 4.3) построение радиусов сектора до каждой точки дуги;
 - 4.4) определение количества точек пересечения радиуса с областью отпечатка;
 - 4.5) построение графика толщины дуги области отпечатка (ось ординат- толщины дуги области отпечатка; ось абсцисс – точки дуги);
 - 4.6) вычисление математического ожидания и среднеквадратического отклонения изменений толщины выделенной области; математическое ожидание высчитывается как $E = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n l_i$, где l_i – толщина дуги вдоль линии, среднеквадратическое отклонение - как $D = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (l_i - E)^2}$.

2.2 Основные результаты и их обсуждение

Проведенные вычислительные эксперименты показали, что разработанный метод оценки функционального состояния мейбомиевых желез даёт результаты, позволяющие количественно охарактеризовать функциональное состояние мейбомиевых желез и их значения в развитии синдрома сухого глаза. Обсуждение результатов с экспертами-офтальмологами показали, что точность метода, по меньшей мере, не уступает по точности результатам визуальной обработки экспертами-офтальмологами, причем:

- а) обработка одного изображения в автоматическом режиме позволяет получить оценки, которые невозможны или трудоемки для эксперта-офтальмолога;
- б) возможность автоматической обработки позволяет уменьшить число образцов необходимых для принятия диагностического решения и выбора тактики лечения.

Результаты данной работы можно использовать для различных медицинских задач, требующих схожей оценки, например, анализ «прозрачности» (степени насыщенности клеточными структурами) ткани [3].

В данной задаче нужно оценить в обведенной области встречаемость «тела» клетки, мешающего прохождению света [6, 10]. Для обработки использовались снимки (Рис. 6) гистологического препарата роговицы глазного яблока человека, полученных с помощью цифровой камеры Leica (разрешение 3 МгП), в составе светового микроскопа “Leica-2500” [8].

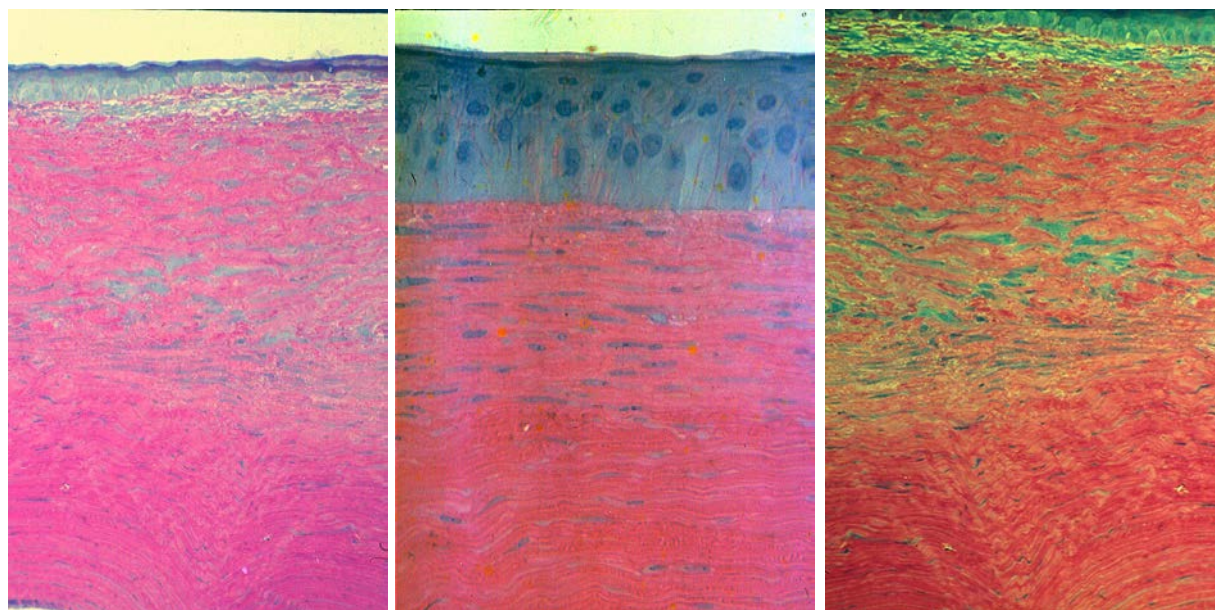


Рис. 6 (а, б, в). Снимки гистологического препарата роговицы глазного яблока человека

Исследования показали, что в данной задаче можно сравнивать математические ожидания и дисперсии выделенных областей [9]. Результаты исследований приведены на следующих графиках, построенных для 3-х разных снимков. (Рис. 7 - 9).



Рис. 7. Гистограмма яркости для Рис. 6а.

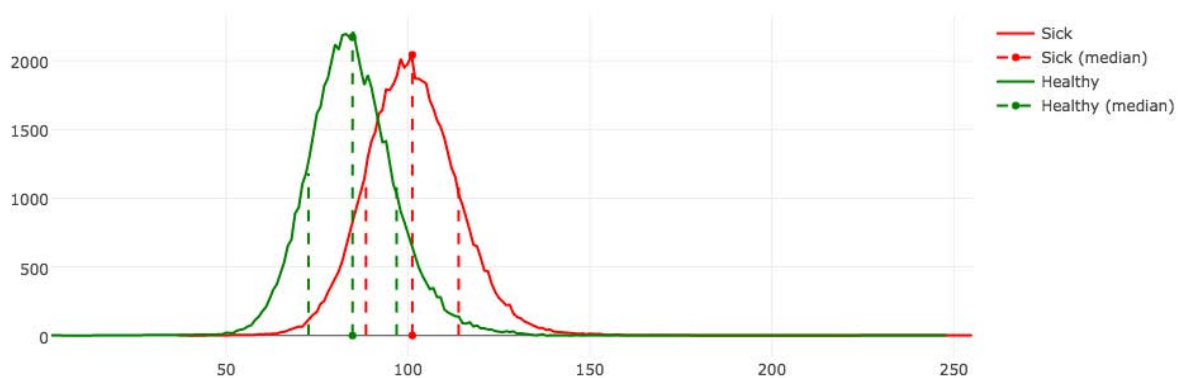


Рис. 8. Гистограмма яркости для Рис. 6б.

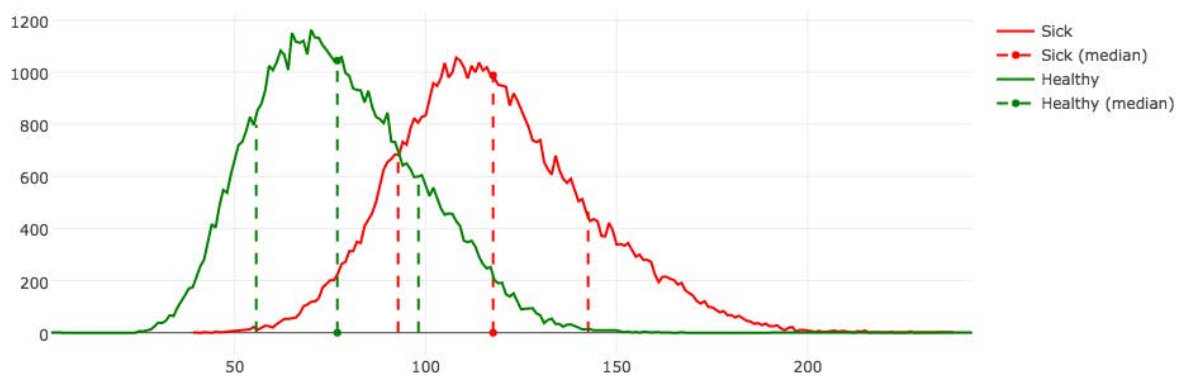


Рис. 9. Гистограмма яркости для Рис. 6в.

3 Программная реализация разработанного метода идентификации состояния липидного слоя

Разработанный метод автоматической идентификации состояния липидного слоя программно реализован.

Использован язык программирования Python версии 3 и его специализированные библиотек:

- `skimage` – библиотека, содержащая набор методов и функций, необходимых для обработки изображений;
- `scipy` - библиотека, содержащая набор методов и функций, необходимых для выполнения научных и инженерных расчетов;
- `numpy` – библиотека, добавляющая поддержку больших многомерных массивов и матриц вместе с большой библиотекой высокоуровневых математических функций для операций с этими массивами.

Для разработанного метода идентификации состояния липидного слоя создан пользовательский интерфейс (Рис. 10). Последний реализован при помощи кроссплатформенного инструмента разработки программного обеспечения PyQt версии 5 для языка программирования Python.

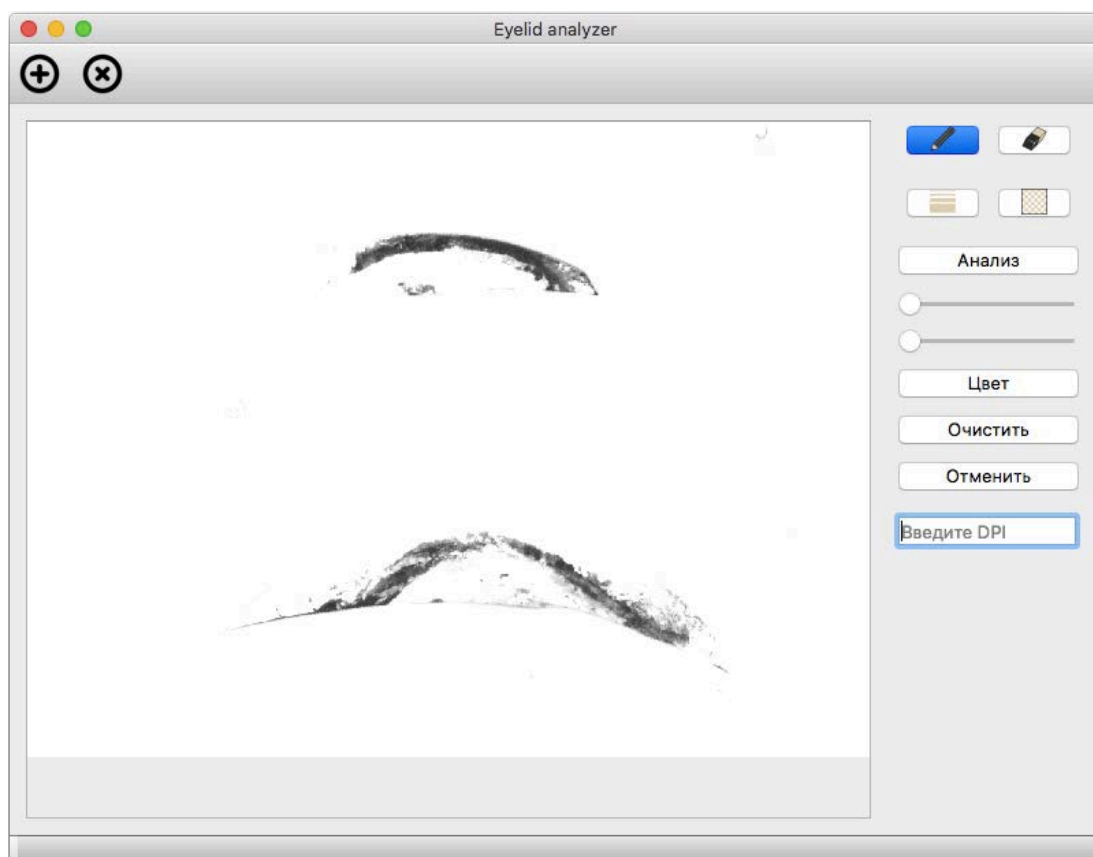


Рис. 10. Пользовательский интерфейс.

Рекомендуемые системные требования: ОС Windows 7 или выше, 32-разрядная ЭВМ с центральным процессором, совместимым с x86-64, тактовая частота – не менее 1000МГц, оперативной памяти – не менее 1Гб.

Сценарий работы с интерфейсом включает следующие шаги.

1. Открытие файла с исходным изображением (Рис. 11). В качестве исходного изображения могут использоваться все основные форматы изображений;

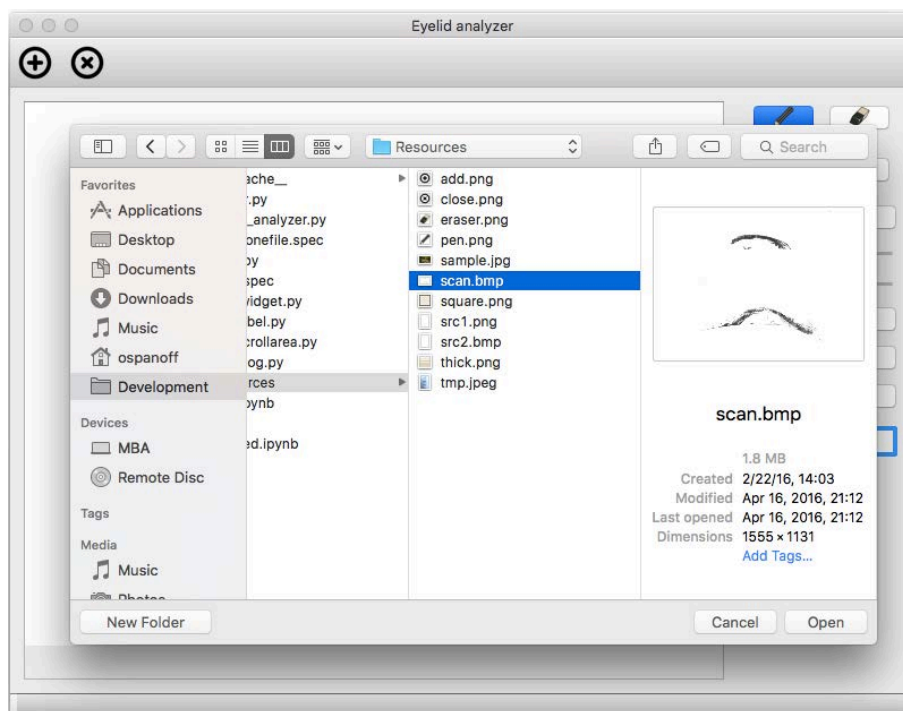


Рис. 11. Интерфейс открытия файла.

2. Выбор инструмента и параметров (Рис. 12);

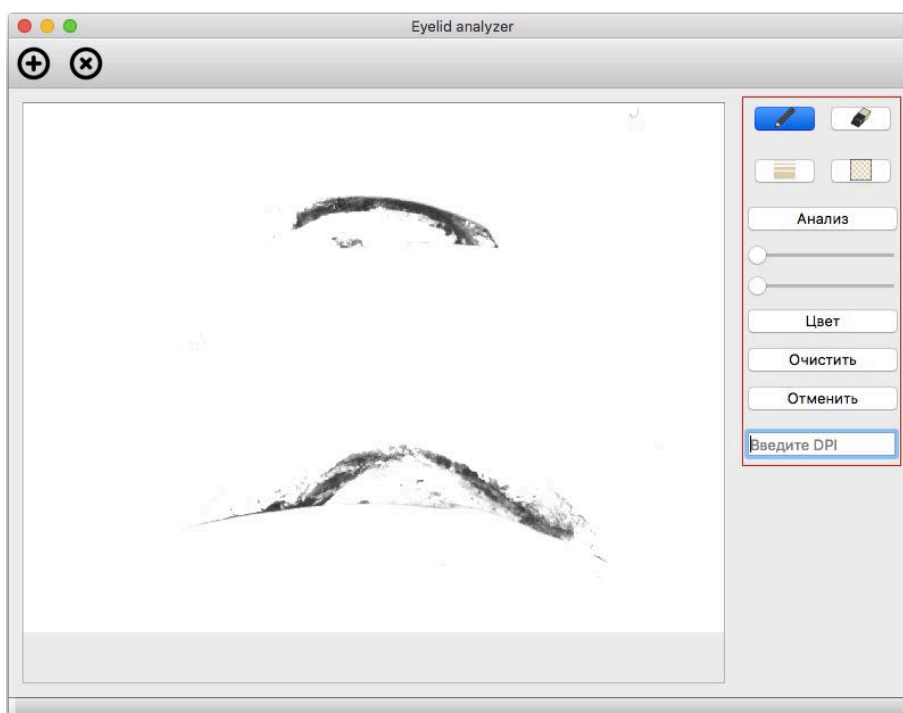


Рис. 12. Область выбора инструментов.

3. Ввод информации (Рис. 13):

- 3.1. проведение линий, выделение прямоугольных областей, определение трех точек (центр, начало и конец измеряемой дуги);

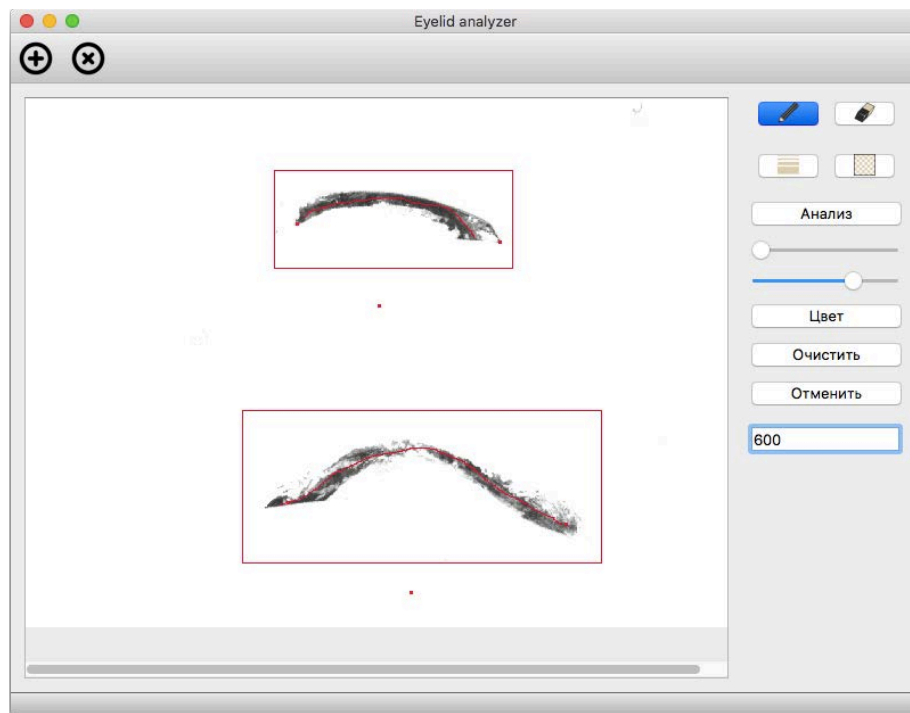


Рис. 13. Пример работы основных инструментов.

- 3.2. выделение областей (для задачи анализа «прозрачности» ткани) (Рис. 14)

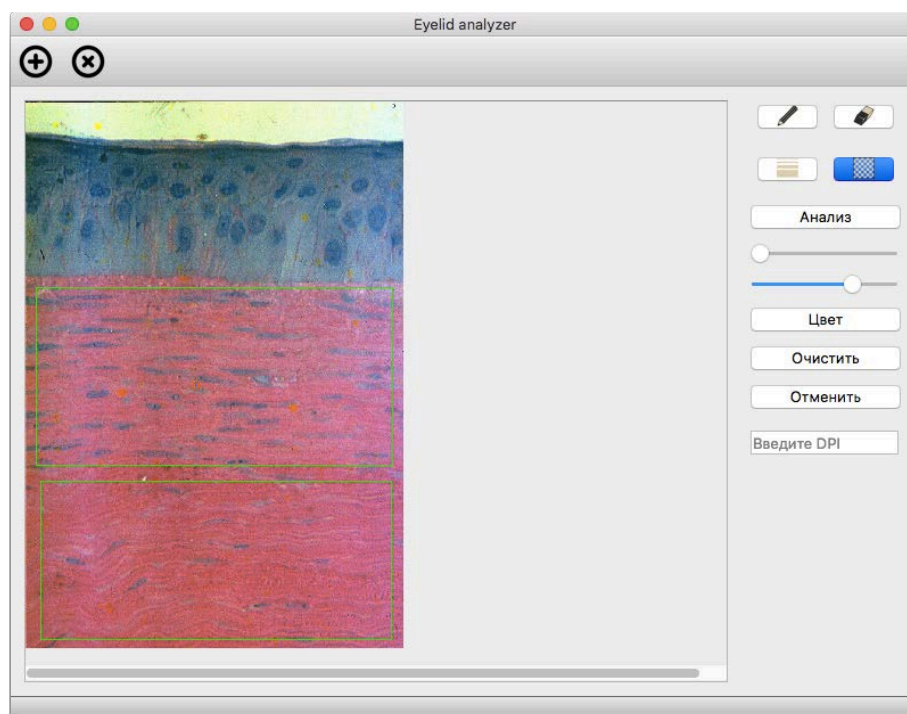


Рис. 14. Пример работы инструмента для задачи «прозрачности».

4. Анализ изображения (вывод графиков и статистических характеристик):

- 4.1. анализ состояния липидного слоя (Рис. 15);

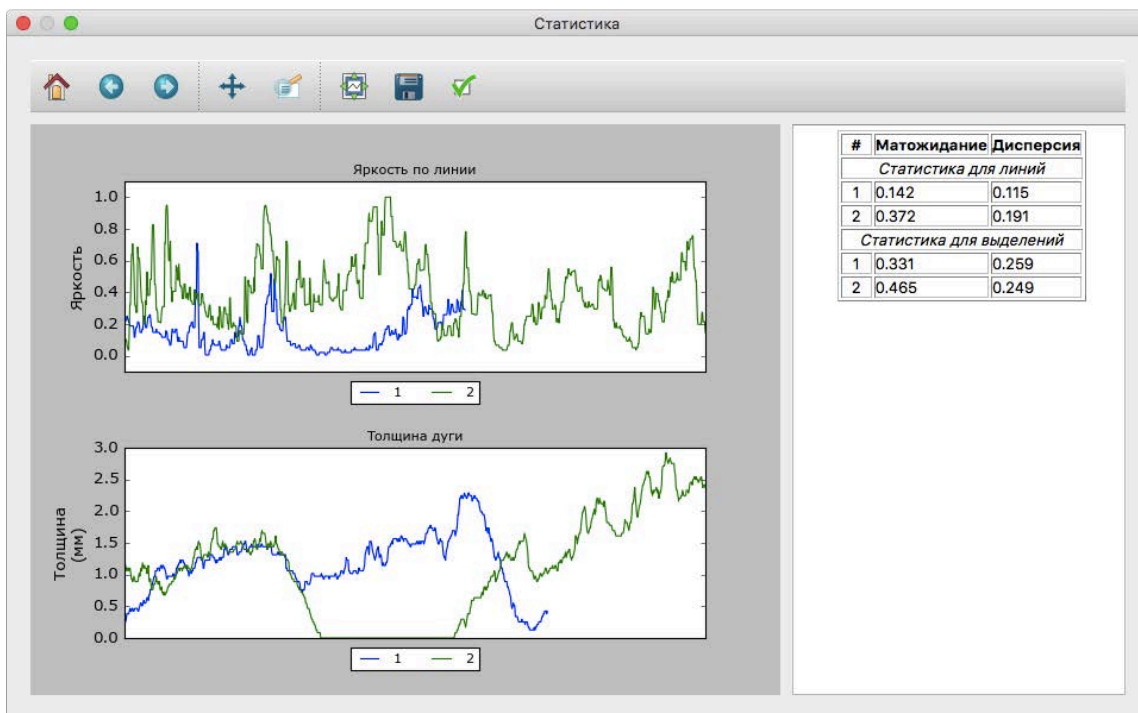


Рис. 15. Вывод графиков и статистических характеристик для основных инструментов.

4.2. анализ «прозрачности» ткани (Рис. 16).

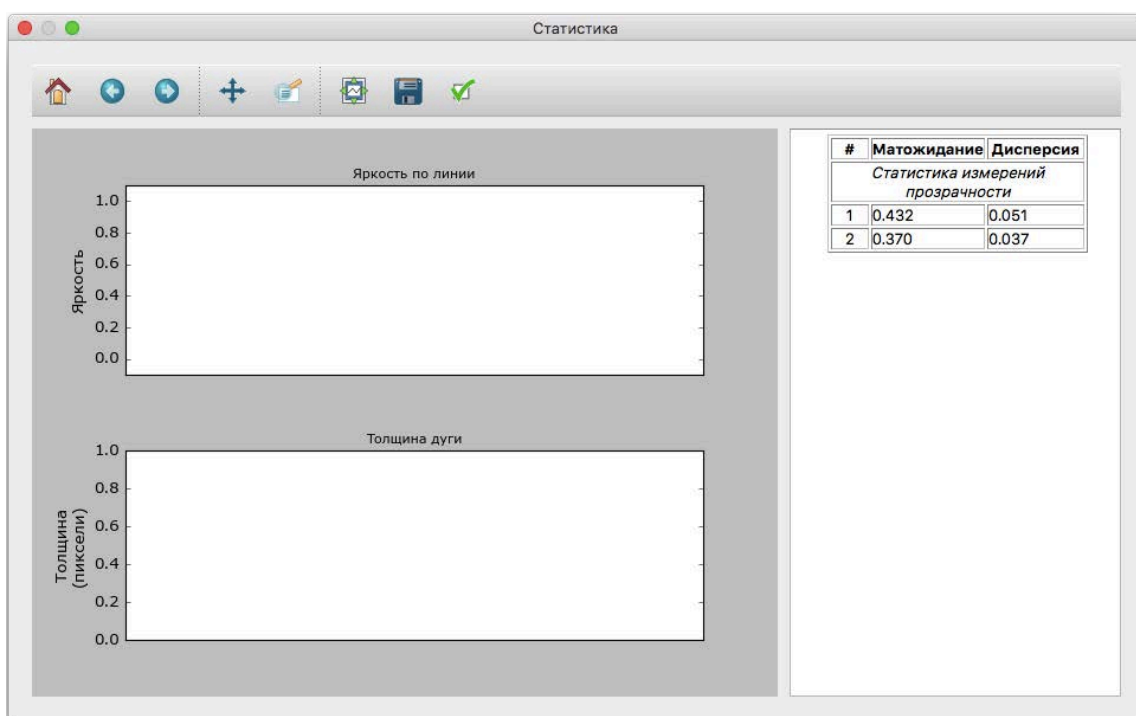


Рис. 16. Вывод статистических характеристик для задачи «прозрачности».

На Рис. 17 представлена алгоритмическая схема, обеспечивающая вычислительную реализацию разработанного математического метода анализа изображений мазков-отпечатков интермаргинального пространства века глаза человека. На схеме представлена последовательность выполнения всех операций, предусмотренных в предложенном методе, позволяющая определить морфометрические характеристики состояния липидного слоя.

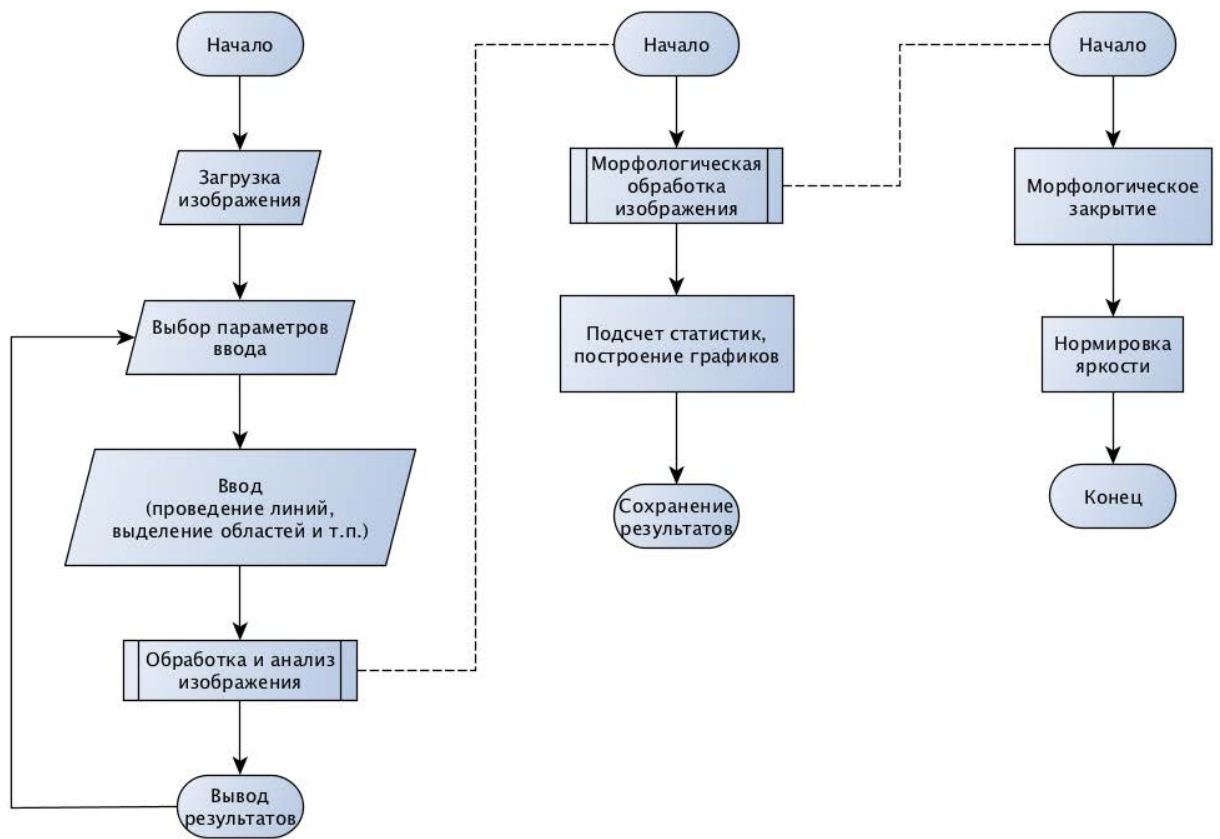


Рис. 17. Алгоритмическая схема анализа изображений мазков-отпечатков интермаргинального пространства века глаза человека.

Заключение

В данной работе приведены описания разработанного нового информационного метода автоматизации обработки и анализа состояния липидного слоя на изображениях интермаргинального пространства века глаза человека, программной реализации разработанного метода и результатов экспериментальной оценки эффективности разработанного метода и программных средств.

Вычислительные эксперименты показали, что метод работоспособен и позволяет получить результаты, не худшие, чем достигаются врачом-офтальмологом при визуальной обработке, причем автоматизация позволяет сократить время обработки изображения на несколько порядков и избавляет специалиста от рутинной и трудоемкой работы.

Основные результаты работы

1. Новый информационный метод автоматизации анализа состояния липидного слоя на изображениях интермаргинального пространства века глаза человека.
2. Программная реализация разработанного метода.
3. Результаты вычислительных экспериментов, подтверждающие работоспособность и эффективность разработанного метода и программных средств.

В дальнейшем планируется усовершенствовать разработанный метод с целью расширения его функциональных возможностей, в т.ч. для решения следующих задач:

- 1) применение метода в других задачах медицинской диагностики;
- 2) классификация типов тканей на гистологическом препарате роговицы глазного яблока человека;
- 3) автоматизация полуавтоматических и интерактивных функций.

Использованная литература

- [1] И.Б.Гуревич, Ю.И.Журавлев, А.А.Мягков, А.Колачева, Ю.О.Трусова, В.В. Яшина, Т.С.Пронина, М.В.Угрюмов. Автоматизация анализа и оценивания изображений в исследованиях мозга: постановки задач, математические основы, информационные технологии / Нейродегенеративные заболевания: от генома до целостного организма (под ред. М.В. Угрюмова): в 2-х томах. - М.: Научный мир, 2014. - том 2, С. 570-618.
- [2] S. Di Bona, I. B. Gurevich, I. V. Koryabkina, A. V. Nefyodov, and O. Salvetti. Two Approaches to Medical Image Analysis: Comparison and Synthesis // Pattern Recognition and Image Analysis: Advances in Mathematical Theory and Applications. - MAIK "Nauka/Interperiodica", 2005. - Vol. 15, No.2. - P. 539-542.
- [3] S. Colantonio, O. Salvetti, and I.B. Gurevich. A Two-Step Approach for Automatic Microscopic Image Segmentation Using Fuzzy Clustering and Neural Discrimination // Pattern Recognition and Image Analysis: Advances in Mathematical Theory and Applications. - Pleiades Publishing, Ltd., 2007. – Vol.17, No.3. - P.428-437.
- [4] G. Dougherty. Digital Image Processing for medical applications. - New York: Cambridge University Press, 2009.
- [5] R.C. Gonzalez, R.E. Woods. Digital Image Processing. - Prentice-Hall, Inc., 2002.
- [6] I. B. Gurevich. et al. A New Method for Automated Detection and Identification of Neurons in Microscopic Images of Brain Slices // Pattern Recognition and Image Analysis: Advances in Mathematical Theory and Applications. – Pleiades Publishing, Ltd., 2012, Vol. 22, No. 4, pp. 559–570.
- [7] I.B. Gurevich, D.V. Harazishvili, O. Salvetti, A.A. Trykova, I.A. Vorob'ev. Elements of the Information Technology of Cytological Specimens Analysis: Taxonomy and Factor Analysis // Pattern Recognition and Image Analysis: Advances in Mathematical Theory and Applications. - MAIK "Nauka/Interperiodica", 2006. - Vol.16, No.1. - P.114-116.
- [8] I.B.Gurevich, E.A.Kozina, A.A.Myagkov, M.V.Ugryumov, and V.V.Yashina. Automating Extraction and Analysis of Dopaminergic Axon Terminals in Images of Frontal Slices of the Striatum // Pattern Recognition and Image Analysis: Advances in Mathematical Theory and Applications. - Pleiades Publishing, Ltd., 2010. - Vol.20, No.3. – P.349-359.
- [9] I. Gurevich, A. Myagkov, A.Nedzved' and V.Yashina. Extraction of neurons from images of mouse brain slices based on automated selection of connected morphological filters // Pattern Recognition and Image Analysis: Advances in Mathematical Theory and Applications. – Pleiades Publishing, Ltd., 2011. - Vol. 21, No. 3. - P.473–476.

- [10] I. Gurevich, A. Myagkov, V. Yashina. A New Image-Mining Technique for Automation of Parkinson's Disease Research // Applications of Discrete Geometry and Mathematical Morphology (U. Köthe, A. Montanvert, & P. Soille (Eds.)). – Springer, 2012, Vol. 7346, pp. 154-167.
- [11] I.B. Gurevich, V.V. Yashina, I.V. Koryabkina, H. Niemann, and O. Salvetti. Descriptive Approach to Medical Image Mining. An Algorithmic Scheme for Analysis of Cytological Specimens // Pattern Recognition and Image Analysis: Advances in Mathematical Theory and Applications. - MAIK "Nauka/Interperiodica"/Pleiades Publishing, Inc., 2008. - Vol.18, No.4. - P. 542-562.
- [12] I.B. Gurevich, Yu. I. Zhuravlev, A. A. Myagkov, Yu. O. Trusova, and V. V. Yashina. On Basic Problems of Image Recognition in Neurosciences and Heuristic Methods for Their Solution // Pattern Recognition and Image Analysis: Advances in Mathematical Theory and Applications. Pleiades Publishing, Ltd., 2015. - Vol. 25, No. 1. – P.132–160.
- [13] A.A. Miagkov, V.V. Yashina. Systematization and Feature Selection for Formalization of Descriptions of the Methodological Structure of Cytological and Histological Preparations and Analytical Review // Pattern Recognition and Image Analysis: Advances in Mathematical Theory and Applications. - Pleiades Publishing, Ltd., 2009. - Vol.19, No.4. – P.673-678.
- [14] M. Petrou. Image Processing: the fundamentals / Maria Petrou, Costas Petrou. - 2nd ed., John Wiley&Sons Ltd.2010, p.794.
- [15] T.N. Safonova, A.A. Fedorov, A.O. Zabegaylo, G.B. Egorova, T.S. Mitichkina. Treatment of dry eye syndrome by primary glaucoma // Russian journal of glaucoma, No. 4, Vol. 14, 2015. – P.38-43
- [16] J. Serra. Image Analysis and Mathematical Morphology, London, Academic Press, 1982.
- [17] P. Soille. Morphological Image Analysis. Principles and Applications (Second Edition). - Springer-Verlag Berlin Heidelberg, New York, 2003 и 2004.

Приложение. Листинг программной реализации.

```
import numpy as np

from skimage import io, exposure, morphology, img_as_float, transform

import helper as hlp

class imageAnalyzer():

    informativeIntens = 0.9
    lines_num = 30 # for smartRect
    stats = None
    spotStats = None
    hist = None

    img = None
    img_dpi = None
    max_img_size = 3000
    scale = 1

    def __init__(self, fname):
        img = io.imread(fname, as_grey=True)
        if max(img.shape) > self.max_img_size:
            self.scale = self.max_img_size / max(img.shape)
            img = transform.rescale(img, self.scale)
        img = img_as_float(img)
        self.img = self.imgProcess(img)
        self.img_orig = np.copy(self.img)

    def imgProcess(self, img):
        img = morphology.closing(img, morphology.rectangle(3, 3))
        return exposure.rescale_intensity(img)

    def erase(self, fills):
        self.img = np.copy(self.img_orig)
        for fill in fills.values():
            for rect in fill:
                rect = self.getResizedRect(rect)
                self.img[rect['y']: rect['y'] + rect['h'],
                        rect['x']: rect['x'] + rect['w']] = 1

    def getHist(self, dots):
        lines = []
        for dot in dots.values():
            line = []
            for i in range(len(dot) - 1):
                dot1 = self.getResizedPoint(dot[i])
                dot2 = self.getResizedPoint(dot[i + 1])
                line += hlp.get_line((dot1[0], dot1[1]),
                                    (dot2[0], dot2[1]))

            lines.append(np.array(line))

        self.hist = []
        for line in lines:
            self.hist.append(self.img[line[:, 1], line[:, 0]])
```

```

def getSpotStats(self, rects):
    if len(rects) == 0:
        self.spotStats = None
        return

    self.spotStats = np.empty((len(rects), 2))
    for i, rect in enumerate(rects.values()):
        rect = self.getResizedRect(rect)
        img = self.img[rect['y']:rect['y'] + rect['h'],
                       rect['x']:rect['x'] + rect['w']].ravel()
        img = img[img < self.informativeIntens]

        if img.size > 0:
            self.spotStats[i, 0] = np.mean(img)
            self.spotStats[i, 1] = np.std(img)
        else:
            self.spotStats[i] = np.array([0, 0])

def getStatistics(self):
    if len(self.hist) == 0:
        self.stats = None
        return

    self.stats = np.empty((len(self.hist), 2))
    for i, hist in enumerate(self.hist):
        hist = hist[hist < self.informativeIntens]
        if hist.size > 0:
            self.stats[i, 0] = np.mean(hist)
            self.stats[i, 1] = np.std(hist)
        else:
            self.stats[i] = np.array([0, 0])

def getThicknessHalfAuto(self, dots):
    self.thickness = []
    tri = []
    for dot in dots.values():
        tri += [self.getResizedPoint(dot)]
        if len(tri) == 3:
            thick = []

            a, b, c = hlp.n_times_gr_triangle(
                tri[0],
                tri[1],
                tri[2],
                1.5
            )
            if None in (a, b, c):
                continue

            for p in hlp.get_line(b, c):
                line = np.array(hlp.get_line(a, p))
                thick += [np.sum(self.img[line[:, 1], line[:, 0]]
                                < self.informativeIntens)]

            self.thickness.append(np.array(thick))
            tri.clear()

```

```

def getSmartRectStats(self, rects):
    if len(rects) == 0:
        self.rectStats = None
        self.rectHist = []
        return

    self.rectStats = np.empty((len(rects), 2))
    self.rectHist = []
    min_w = 1e6
    min_h = 1e6
    for i, rect in enumerate(rects.values()):
        print(rect['w'], rect['h'])
        if rect['w'] < min_w:
            min_w = rect['w']

        if rect['h'] < min_h:
            min_h = rect['h']

    print(min_w, min_h)
    min_rect = self.getResizedRect({'x': 0, 'y': 0, 'w': min_w,
    'h': min_h})

    for i, rect in enumerate(rects.values()):
        rect = self.getResizedRect(rect)
        img = self.img[rect['y']: rect['y'] + min_rect['h'],
            rect['x']: rect['x'] + min_rect['w']]

        if img.size > 0:
            self.rectStats[i, 0] = np.mean(img)
            self.rectStats[i, 1] = np.std(img)
        else:
            self.rectStats[i] = np.array([0, 0])

    def getResizedPoint(self, dot):
        return int(dot[0] * self.img.shape[1]), int(dot[1] *
self.img.shape[0])

    def getResizedRect(self, rect):
        return {
            'x': int(rect['x'] * self.img.shape[1]),
            'y': int(rect['y'] * self.img.shape[0]),
            'w': int(rect['w'] * self.img.shape[1]),
            'h': int(rect['h'] * self.img.shape[0])
        }

    def setDPI(self, dpi):
        self.img_dpi = dpi * self.scale if dpi else None

```