

РОССИЙСКО-АРМЯНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

ПЯТНАДЦАТАЯ ГОДИЧНАЯ НАУЧНАЯ
КОНФЕРЕНЦИЯ

Сборник статей

ЕРЕВАН
2022



ՌՈՒՍԱՍՏԱՆԻ ԴԱՇՆՈՒԹՅԱՆ ԳԻՏՈՒԹՅԱՆ ԵՎ ԲԱՐՁՐԱԳՈՒՅՆ
ԿՐԹՈՒԹՅԱՆ ՆԱԽԱՐԱՐՈՒԹՅՈՒՆ

ՀԱՅԱՍՏԱՆԻ ՀԱՆՐԱՊԵՏՈՒԹՅԱՆ ԿՐԹՈՒԹՅԱՆ, ԳԻՏՈՒԹՅԱՆ,
ՄՇԱԿՈՒՅԹԻ ԵՎ ՍՊՈՐՏԻ ՆԱԽԱՐԱՐՈՒԹՅՈՒՆ

ՀԱՅ-ՌՈՒՍԱԿԱՆ ՀԱՄԱԼՍԱՐԱՆ

ՏԱՄՆՀԻՆԳԵՐՈՐԴ ՏԱՐԵԿԱՆ ԳԻՏԱԺՈՂՈՎ

6–10 դեկտեմբերի 2021 թ.

Երևան

ՀՌՀ Հրատարակչություն

2022

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ, НАУКИ, КУЛЬТУРЫ И
СПОРТА РЕСПУБЛИКИ АРМЕНИЯ**

РОССИЙСКО-АРМЯНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

**ПЯТНАДЦАТАЯ ГОДИЧНАЯ
НАУЧНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ**

6–10 декабря 2021 г.

Ереван

Издательство РАУ

2022

УДК 001(082)
ББК 72я43
П 992

Печатается по решению Ученого совета и РИС РАУ

Редакционная коллегия:

А.Р. Дарбинян (председатель), П.С. Аветисян (заместитель председателя),
Э.М. Казарян, Г.Г. Казарян, Р.В. Захарян, А.А. Манукян, С.Г. Петросян,
Д.Г. Асатрян, Г.Г. Данагулян, А.А. Саркисян, А.П. Енгоян, А.А. Оганесян,
Д.Б. Айрапетян, Р.Г. Арамян, В.А. Геворкян, В.Г. Аветисян, А.В. Папоян,
А.А. Аракелян, А.С. Овакимян.

П 992 **Пятнадцатая годовичная научная конференция** 6–10 декабря
2021г.: – Ер.: Издательство РАУ, 2022. – 176с.

Сборник печатается по материалам 15-ой Годичной научной конференции, проведенной в Российско-Армянском университете. Статьи публикуются в алфавитном порядке и под авторскую ответственность.

Публикация сборника осуществлена в соответствии с требованиями ВАК РА к сборникам научных трудов.

Сборник зарегистрирован в базе данных РИНЦ.

УДК 001(082)
ББК 72я43

ISBN 978-9939-67-278-6

© Издательство РАУ, 2022

СОДЕРЖАНИЕ

МАТЕМАТИКА

Арамян Р.Г., Арамян Э.Р. Распределения по направлению выпуклого тела	8
Асатрян Д.Г., Мурадова А.А. Автоматическое обнаружение и отделение размытых участков цифрового изображения	13
Берберян С.Л. Об одном граничном свойстве гармонических функций	19
Ghazaryan A.B. On the Palette Index of 3D Grid Graphs.....	22
Darbinyan, Hakobyan A., Khachaturyan M., Hambardzumyan H. Preprocessing Chip Design for Xor Optimization.....	25
Дарбинян А.А., Оганисян Д.А. Преобразование Хафа для исследования параболической траектории	30
Драмбян А.К. Сильная реберная раскраска графов Хэмминга.....	36
Казарян Г.Г., Маргарян В.Н. О добавлении подходящих членов к гипоеллиптическому оператору.....	39
Mikaelyan H. On Antimagic Edge COlorings of Certain Graphs.....	48
Movsisyan Ch.G., Agaian S.S., Grigoryan S.V., Darbinyan A.A., Fahradyan A. Identification of Predictors and Characteristics of Atrial Fibrillation in Patients Undergoing Ischemic Heart Disease and Arterial Hypertension	52
Петросян Т.К. Вершинно-различающие реберные раскраски полных многодольных графов	58
Туманян А.Г. Априорные оценки и условия нетеровости для регулярных гипоеллиптических операторов	60
Sahakyan H., Margaryan Zh. Independent negighbourhoods of sets in B^n group	65

ФИЗИКА

Бадалян Б.Ф., Гомцяи О.А., Маргарян М.С. Разработка дактилоскопического модуля для гибридной мультибиометрической системы аутентификации	75
Багдасарян О.В., Князян Т.М., Оганесян Т.Т., Мардоян Г.Р. Электромагнитное моделирование многослойных оптических фильтров для защиты чувствительных приемников инфракрасной области в 10 мкм диапазоне	81
Тадевосян Л.А. Электрическая восприимчивость биекситонов в сильно сплюснутой эллипсоидальной квантовой точке.....	87

Тадевосян С.Р., Аветисян В.Г. Система автоматического управления антенными измерениями по ближнему полю	92
Թարոյան Ա.Ա., Շոկանյան Է.Պ., Թարոյան Յ.Ա., Մխիթարյան Ն.Ն. Տիեզերական ճառագայթների անկյունային բաշխման ստանձնահատկությունները	98
Устименко Р.В., Винниченко М.Я., Фирсов Д.А., Саркисян А.А. Исследование межзонной фотолуминесценции квантовых точек GeSi.....	102

БИОЛОГИЯ И ХИМИЯ

Амбарцумян Е.Р., Манукян А.А., Тирацуйн С.Г. Аттенуация гиперфосфорилирования белка ТАУ соединениями растительного происхождения	107
Baghdasaryan M., Peltekian M., Petrosyan M., Grigoryan A., Asatryan N., Mikaelyan A. Liquid phase oxidation processes of halogen-vinylc compounds via molecular oxygen.....	114
Davitavyan S., Nikoghosyan M.A., Arakelyan A.A. Prediction the risk of Development for Schizophrenia in Armenian and Jewish Ashkenazi Population, using Machine Learning Approaches	119
Khachatryan G., Sirunyan T., Ghukasyan L., Arakelyan A.. Phylogenetic analysis of SARS-CoV-2 lineages in Armenia.....	126
Макичян А.Т., Оганнесян А.А., Топузьян В.О. Синтез и некоторые биологические свойства производных хромофора зеленого флуоресцентного белка	131
М. Ohanyan, A.M. Grigoryan, S.S. Avetisyan A.H. Manukyan. The role of physical activity in prevention of lower limbs`varicose veins of reproductive age women	137
Тимотина М.И., Габриелян Л.С., Трчунян К.А. Действие наночастиц оксида железа, стабилизированных лимонной кислотой, на параметры роста <i>escherichia Colik12</i>	146
Тумоян Дж.Г., Казарян Ш.А., Оганесян А.А. Сравнительная оценка продолжительности воздействия биогенных AgNPs на антиоксидантную ферментативную систему почечной ткани крыс Wistar	152
Чернюк Д.П., Безпрозванный И.Б. Действие модуляторов NSOC в условиях ТАУ-синаптотоксичности в гиппокампальных нейронах	159
Գալսիսարյան Լ. Ֆոտոսինթեզի էփոյունցիան	166

МАТЕМАТИКА

РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПО НАПРАВЛЕНИИ ВЫПУКЛОГО ТЕЛА

Р.Г. Арамян¹, Э.Р. Арамян²

*¹Российско-Армянский университет
rafik.aramyan@rau.am, elen.aramyan@yahoo.com*

АННОТАЦИЯ

В этой статье мы находим связь между распределением длины случайной хорды выпуклого тела D зависящее от направлении, и распределением расстояния между двух случайных точек, брошенных в D по направлению (новая интегральная геометрическая концепция). Также в этой статье мы находим отношения между моментами упомянутых распределений.

Ключевые слова: выпуклое тело, распределение длины хорды, распределение двух случайных точек.

Введение

Геометрическая томография (см. [2],[3]) - это область математики, занимающаяся поиском информации о геометрическом объекте исходя из данных о его проекциях (теньях) на плоскостях или сечениях плоскостями для восстановления геометрических объектов.

Интегральные геометрические концепции, такие как распределение длин хорды, распределение расстояния между двумя случайными точками по направлению, выпуклом теле D , распределение длины хорды по направлению и многие другие, несут некоторую информацию о D . Известно, что распределение длины хорды по направлению выпуклого тела D , однозначно определяет D с точностью до параллельных переносов и отражений (см. [1], [2], [3], [4]). Восстановление выпуклых тел с помощью случайных отрезков позволяет упростить расчет, поскольку методы математической статистики могут быть использованы для оценки геометрических характеристик случайных отрезков.

В этой статье мы определяем новую интегрально-геометрическую концепцию: распределение расстояния между двумя случайными точками по направлению в выпуклом теле D и находим связь между этим новым понятием и распределением длин хорд по направлению выпуклого тела D . Также в этой статье мы находим связь между моментами выше упомянутых распределений.

1. Материал и методы

Через \mathbb{R}^2 обозначаем двумерное Евклидово пространство. Пусть \mathbf{S}^1 единичная сфера в \mathbb{R}^2 с центром в начале координат $O \in \mathbb{R}^2$. Обозначим через \mathbf{G} пространство прямых на плоскости, а через \mathbf{N}_+ множество неотрицательных целых чисел. Рассмотрим пространство прямых \mathbf{G} на плоскости \mathbb{R}^2 . Прямая $g \in \mathbf{G}$ определяется полярными координатами (p, φ) основания перпендикуляра, опущенного из начала координат O на прямую g ($0 \leq \varphi < 2\pi, p \geq 0$).

Введем две основные концепции этой статьи:

Определение1: Для двух равномерно распределенных точек P_1, P_2 выпуклого тела D , обозначим расстояние между этими точками через $r = |P_1 - P_2|$. Через $F_r(t)$ обозначаем функцию распределения расстояния между двух, равномерно распределенных точек P_1, P_2 выпуклой области D

$$F_r(t) = \frac{1}{S^2} \int_{\{(P_1, P_2): |P_1 - P_2| < t, P_i \in D, i=1,2\}} dP_1 dP_2, \quad t \in \mathbb{R}^1, \quad (1.1)$$

где S - площадь D , dP_i ($i = 1, 2$) одномерная мера Лебега в \mathbb{R}^2 .

Определение2: Пусть D компактное множество в Евклидовом пространстве \mathbb{R}^2 . Пусть $b(\varphi)$ – ортогональная проекция D на прямую, которая проходит через начало координат и имеет направление $\varphi \in \mathbf{S}^1$ (Рис. 2). Прямая $g(p, \varphi)$, (которая перпендикулярна направлению φ) пересекающая D , имеет точку пересечения с $b(\varphi)$, обозначим через $x \in b(\varphi)$. Можем сопоставить точки $x \in b(\varphi)$ и прямые, которые пересекают D и перпендикулярны направлению φ , обозначим эту прямую через $g_\varphi(x)$. Предполагая, что точки пересечения x имеют равномерное распределение на отрезке $b(\varphi)$, можем определить функцию распределения длины случайной хорды множества D по направлению φ .

Функция распределения длины хорды $X(g) = g \cap D$ назовем функцией распределения длины хорды выпуклой области D по направлению φ и обозначим $F_{X,\varphi}(t)$.

$$F_{X,\varphi}(t) = P(|g \cap D| < t), \quad t \in \mathbb{R}^1, \quad (1.2)$$

Теперь случайно выберем две точки t_1 и t_2 из $X(g) = g \cap D$, независимо равномерно распределенных на $X(g)$ и параллельно направлению $\varphi \in \mathbf{S}^1$.

Обозначим расстояние между точками через $r_\varphi = |t_1 - t_2|$. Функцию распределения от r_φ назовем функцией распределения расстояния между двумя случайными точками по направлению φ в выпуклой области D и обозначим через $F_{r,\varphi}(t)$

$$F_{r,\varphi}(t) = P(r_\varphi < t), \quad t \in \mathbb{R}^1, \quad (1.3)$$

Также через $F_{X,\varphi}(t)$ обозначаем функцию распределения длины хорды $X(g)$. Справедливы следующие теоремы.

Теорема1: Пусть D выпуклая область и $\varphi \in \mathbf{S}^1$ некоторое направление. Связь между распределением расстояния двух случайных точек по направлению φ в D и функцией распределения длины хорды по направлению φ , есть

$$F_{r,\varphi}(t) = F_{X,\varphi}(t) + 2t \int_t^{X(\varphi)} \frac{f_{X,\varphi}(v)}{v} dv - t^2 \int_t^{X(\varphi)} \frac{f_{X,\varphi}(v)}{v^2} dv, \quad (1.4)$$

где $(t \in (0, \infty))$, $f_{X,\varphi}(v)$ функция плотности распределения длины хорды $X(g)$ по направлению φ , а $X(\varphi) = \max_{x \in b(\varphi)} X(x)$.

Для $n \in \mathbf{N}$ через $M_\varphi r^n$ обозначим n -й момент распределения расстояния между двумя случайными точками в D по направлению $\varphi \in \mathbf{S}^1$, а через $M_\varphi X^n$ обозначим n -й момент функции распределения длины хорды, по направлению φ .

Теорема2: Пусть D - выпуклая область, $\varphi \in \mathbf{S}^1$ - направление. Связь между моментами распределения расстояния двух случайных точек по направлению φ в D и функцией распределения длины хорды по направлению φ есть

$$M_\varphi r^n = \frac{1}{(n+1)(n+2)} M_\varphi X^n, \quad (1.5).$$

2. Доказательства теорем:

2.1 Доказательство Теоремы 1

Пусть t_1 и t_2 две независимы, случайно выбранные точки, с равномерным распределением на отрезке длины X . Используя геометрические вероятности второго порядка, легко получить следующий результат.

Лемма: При $t \leq X$ имеем, что

$$P(|t_1 - t_2| < t) = \frac{2t}{X(x)} - \frac{t^2}{X(x)^2}, \quad (2.1),$$

где $|t_1 - t_2|$ расстояние между двумя точками.

Теперь докажем теорему .

Доказательство:

$$\begin{aligned} F_{r,\varphi}(t) &= P(|t_1 - t_2| < t) = \frac{1}{b(\varphi)} \int_0^{b(\varphi)} \left[\left(\frac{2t}{X(x)} - \frac{t^2}{X(x)^2} \right) I_{X(x) > t} + I_{X(x) \leq t} \right] dx = \\ &= 1 + \frac{1}{b(\varphi)} \int_0^{b(\varphi)} \left[\left(\frac{2t}{X(x)} - \frac{t^2}{X(x)^2} - 1 \right) I_{X(x) > t} \right] dx = \\ &= 1 + \frac{2t}{b(\varphi)} \int_0^{b(\varphi)} \frac{1}{X(x)} I_{X(x) > t} dx - \frac{t^2}{b(\varphi)} \int_0^{b(\varphi)} \frac{1}{X(x)^2} I_{X(x) > t} dx - \\ &\quad \int_0^{b(\varphi)} I_{X(x) > t} dx \quad (2.2) \end{aligned}$$

Теперь найдем представления для слагаемых (2.2).

1. Для $\frac{1}{b(\varphi)} \int_0^{b(\varphi)} I_{X(x) > t} dx$ имеем, что

$$\frac{1}{b(\varphi)} \int_0^{b(\varphi)} I_{X(x)>t} dx = P(X(x) > t) = (1 - P(X(x) \leq t)) = 1 - F_{X,\varphi}(t). \quad (2.3)$$

где $F_{r,\varphi}(t)$ - кумулятивная функция распределения длины хорды по направлению φ .

2. Для производной $\frac{1}{b(\varphi)} \int_0^{b(\varphi)} \frac{1}{X(x)} I_{X(x)>t} dx$ имеем

$$\begin{aligned} \left(\frac{1}{b(\varphi)} \int_0^{b(\varphi)} \frac{1}{X(x)} I_{X(x)>t} dx \right)' &= - \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\frac{1}{b(\varphi)} \int_{t < X(x) < t + \Delta t} \frac{1}{X(x)} dx}{\Delta t} = \\ &= - \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{P(t < X(x) < t + \Delta t)}{t \Delta t} = - \frac{f_{X,\varphi}(t)}{t}, \end{aligned} \quad (2.4)$$

где $f_{X,\varphi}(t)$ - функция плотности распределения длин хорды $X(g)$ по направлению φ .

Интегрируя (2.4) и учитывая, что $\int_0^{b(\varphi)} \frac{1}{X(x)} I_{X(x)>t} dx = 0$ для $t = X(\varphi) = \max_{x \in b(\varphi)} X(x)$ получим, что

$$\frac{1}{b(\varphi)} \int_0^{b(\varphi)} \frac{1}{X(x)} I_{X(x)>t} dx = \int_t^{X(\varphi)} \frac{f_{X,\varphi}(v)}{v} dv, \quad (2.5)$$

3. Аналогично для производной $\frac{1}{b(\varphi)} \int_0^{b(\varphi)} \frac{1}{X^2(x)} I_{X(x)>t} dx$ имеем

$$\begin{aligned} \left(\frac{1}{b(\varphi)} \int_0^{b(\varphi)} \frac{1}{X^2(x)} I_{X(x)>t} dx \right)' &= - \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\frac{1}{b(\varphi)} \int_{t < X(x) < t + \Delta t} \frac{1}{X^2(x)} dx}{\Delta t} = \\ &= - \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{P(t < X(x) < t + \Delta t)}{t^2 \Delta t} = - \frac{f_{X,\varphi}(t)}{t^2}, \end{aligned} \quad (2.6)$$

Интегрируя (2.6) и учитывая, что $\int_0^{b(\varphi)} \frac{1}{X^2(x)} I_{X(x)>t} dx = 0$ для

$$\frac{1}{b(\varphi)} \int_0^{b(\varphi)} \frac{1}{X^2(x)} I_{X(x)>t} dx = \int_t^{X(\varphi)} \frac{f_{X,\varphi}(v)}{v^2} dv, \quad (2.7)$$

Наконец, подставив (2.3), (2.5), (2.7) в (2.2), мы получим (1.4).

2.2 Связь между моментами (доказательство Теоремы 2)

Для $M_\varphi r^n$ n-го момента распределения расстояния между двумя случайными точками по направлению $M_\varphi r^n$ $\varphi \in \mathbf{S}^1$ имеем

$$M_\varphi r^n = \frac{1}{b(\varphi)} \int_0^{b(\varphi)} \int_0^{X(x)} \int_0^{X(x)} \frac{|t_1 - t_2|^n}{X^2(x)} dt_1 dt_2 dx, \quad (3.1)$$

Для внутреннего интеграла (3.1) мы имеем (см. Также [?])

$$\begin{aligned} \int_0^{X(x)} \int_0^{X(x)} \frac{|t_1 - t_2|^n}{X^2(x)} &= \int_0^{X(x)} \left[\int_{t_1}^{X(x)} (t_2 - t_1)^n dt_2 + \int_0^{t_1} (t_1 t_2)^n dt_2 \right] dt_1 \\ &= \frac{1}{n+1} \int_0^{X(x)} [(X(x) - t_1)^{n+1} + (t_1)^{n+1}] dt_1 = \frac{1}{(n+1)(n+2)} X^{n+2}(x) \end{aligned} \quad (3.2)$$

Подставляя (3.2) в (3.1), получаем:

$$M_{\varphi} r^n = \frac{1}{b(\varphi)(n+1)(n+2)} \int_0^{b(\varphi)} X^n dx = \frac{1}{(n+1)(n+2)} M_{\varphi} X^n \quad (3.3)$$

Теорема 2 доказана.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Ambartzumian, R. V.* Combinatorial integral geometry, metric and zonoids. Acta Appl. Math. 1987, vol. 9, 3 - 27.
2. *Santalo L.A.* Integral Geometry and Geometric Probability, Cambridge University Press, Cambridge, 2004.
3. *Gardner R.J.* Geometric tomography, Second ed., Cambridge University Press, Cambridge, 2006.
4. *Goodey P., Weil W.* Zonoids and generalizations. In Handbook of convex geometry, ed. by P. M. Gruber and J. M. Wills, North Holland, Amsterdam, (1993), pp. 1297-326.
5. *Aramyan R., Yeranyan D.* Chord length distribution and the distance between two random points in a convex body in R^n . The General Letters in Mathematics, vol.9, issue.2- 2020.

THE ORIENTATION DEPENDENT DISTRIBUTIONS OF A CONVEX BODY

R. Aramyan¹, E. Aramyan²

¹*Russian-Armenian University*

rafik.aramyan@rau.am, elen.aramyan@yahoo.com

ABSTRACT

In this article we find the relation between the orientation dependent chord length distribution of a convex body D and the orientation dependent distribution of the distance between two random points in D (a new integral geometric concept). Also in this article we find the relations between the moments of the mentioned distributions.

Keywords: convex body, chord length distribution, the distribution of two random points.

ՈՒՌՈՒՑԻՎ ՄԱՐՄԵՆԻ ԲԱՇԽՈՒՄՆԵՐԸ ԿԱՌՎԱԾ

ՈՒՂՂՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐ

Ռ.Հ. Արամյան¹, Է.Ռ. Արամյան²

¹*Հայ-Ռուսական համալսարան*

rafik.aramyan@rau.am, elen.aramyan@yahoo.com

ԱՍՓՈՓՈՒՄ

Այս հոդվածում գտնում ենք ուռուցիկ D մարմնի պատահական հատվածի երկարության բաշխման կախված ուղղությունից, և D -ում նետված պատահական կետերի միջև հեռավորության կախված ուղղությունից բաշխման (սոր ինտեգրալ երկրաչափական հայեցակարգ) միջև կապը: Նաև այս հոդվածում մենք գտնում ենք նշված բաշխումների մոմենտների միջև կապը:

Հիմնաբառեր ուռուցիկ մարմին, հատվածի երկարության բաշխում, երկու պատահական կետերի բաշխում:

АВТОМАТИЧЕСКОЕ ОБНАРУЖЕНИЕ И ОТДЕЛЕНИЕ РАЗМЫТЫХ УЧАСТКОВ ЦИФРОВОГО ИЗОБРАЖЕНИЯ

Д.Г. Асатрян^{1,2}, А.А. Мурадова¹

¹Российско-Армянский университет

*²Институт проблем информатики и автоматизации НАН Армении
dasat@iiap.sci.am, ar.muradova@gmail.com*

АННОТАЦИЯ

Известно, что цифровое изображение зачастую получается размытым вследствие несовершенства или дефектов применяемой оптической системы, движения камеры или объекта интереса во время съёмки, неточной фокусировки аппарата и других причин. В приложениях теории и практики обработки изображений возникает задача обнаружения размытых участков изображения с намерением улучшения его качества или выделения на нём объекта интереса. Работа посвящена приложению к этой задаче разработанных ранее методов оценивания размытости изображения, основанных на использовании структурных свойств изображения. Описывается процедура обнаружения и отделения размытых участков изображения, приводятся примеры, иллюстрирующие эффективность предложенного подхода.

Ключевые слова: Размытость изображения, структура, магнитуда градиента, распределение Вейбулла, параметр формы.

Введение

Размытость – один из важнейших показателей качества цифрового изображения, используемых во многих практических задачах для определения пригодности изображения к дальнейшей обработке и применения соответствующей процедуры для улучшения качества. Известно, что часто цифровое изображение получается размытым вследствие несовершенства или дефектов применяемой оптической системы, движения камеры или объекта интереса во время съёмки, неточной фокусировки аппарата и ряда других причин. Типичным примером может служить размытие изображений кадров видеопоследовательности, получаемой беспилотным летающим аппаратом вследствие влияния множества неконтролируемых мешающих факторов, сопровождающих полет. Непреднамеренное размытие затрудняет анализ и понимание информации, содержащейся в изображении. Поэтому автоматическое обнаружение и выделение размытых участков изображения является важной задачей во многих прикладных задачах анализа мультимедийной информации.

В литературе предложено много подходов, критериев и алгоритмов оценивания степени размытости, использующие различные свойства изображе-

ния. В зависимости от наличия справочной информации существующие методы оценивания качества можно разделить на три класса: методы сравнения с эталоном (Full Reference – FR) [1], методы частичного сравнения с эталоном (Reduced Reference – RR) [2] и безэталонные методы (No-Reference – NR) [3]. Важной особенностью задачи анализа и обнаружения размытия изображения является применение безэталонных методов, так как в большинстве встречаемых ситуаций отсутствуют эталоны или хотя бы какие-то априорные данные о свойствах изображения.

В настоящей работе мы будем основываться на использовании определённых свойств градиентного поля любого изображения (см., например, [4]). Разработанный ранее подход [5] для анализа изображения использует математическую модель магнитуды градиента, основанную на двухпараметрическом распределении Вейбулла. В работе описана модифицированная процедура для поточечного оценивания степени размытия и выделения участков изображения с наибольшим размытием.

Методика

Следуя [5], примем для распределения магнитуды градиента полутонного изображения с размерами $N \times M$ вейбуллиевскую модель. Плотность распределения двухпараметрического распределения Вейбулла задаётся формулой

$$f(x, \lambda, \eta) = \frac{\eta}{\lambda} \left(\frac{x}{\lambda}\right)^{\eta-1} \exp\left[-\left(\frac{x}{\lambda}\right)^\eta\right], x \geq 0, \quad (1)$$

где $\eta > 0$ – параметр формы, а $\lambda > 0$ параметр масштаба. Модель (1) для магнитуды градиента с успехом применяется во многих задачах обработки изображений (см., например [6–8]) (см.,

Оценивание параметров η и λ производится методом моментов по матрице магнитуд градиентов T . В частности, параметр формы η распределения (1) оценивается, решая относительно η уравнение

$$\frac{\Gamma(1+2/\hat{\eta}) \hat{\sigma}^2}{\Gamma^2(1+1/\hat{\eta}) \hat{\mu}^2} \quad (2)$$

где $\Gamma(\cdot)$ – Гамма-функция, $\hat{\sigma}^2$ и $\hat{\mu}^2$ выборочные среднее и дисперсия, рассчитанные по совокупности элементов матрицы магнитуд.

В работе [6] предложено в качестве меры для оценивания степени размытости изображения принять величину параметра формы распределения Вейбулла. При этом следует заметить, что любое изображение изначально обладает определённой размытостью, связанной с содержанием изображаемой

сцены, поэтому оценки степени размытости, независимо от метода оценивания, должны быть анализированы содержательно и в соответствии с поставленной при этом задачей. В качестве примера приведём некоторые изображения и значения оценок размытости, полученные вышеуказанным методом.



Рис.1. Оценки параметра формы η некоторых изображений.

В настоящей работе предложено использовать для этой же цели квадрат коэффициента вариации (ККВ) $\nu = \frac{\hat{\sigma}^2}{\hat{\mu}^2}$, определяемый по тем же исходным статистическим оценкам $\hat{\mu}^2$ и $\hat{\sigma}^2$. Основанием для этого служит тот факт, что оценки параметров η и λ находятся в монотонной зависимости от ККВ [9]. Такая замена приводит к существенному уменьшению количества вычислений, поскольку не требует многократного расчёта Гамма-функции и не применяет процедуру последовательных приближений при решении нелинейного уравнения (2).

Для решения различных задач обработки изображений с применением градиентных методов в РАУ разработана специальная программная система, в которой, в частности, предусмотрено вычисление характеристик размытости изображения.

Процедура обнаружения и выделения размытых участков состоит из следующих шагов, с учётом необходимости оценивания степени размытия в каждой точке изображения по данным некоторой её окрестности.

Шаг 1. Вычисление матрицы магнитуд градиентов T при помощи оператора Собела (размер матрицы – $(N - 2) \times (M - 2)$).

Шаг 2. Установление квадратного окна с размерами $k \times k$, для выбора элементов матрицы магнитуд градиентов при помощи скользящего сканирования.

Шаг 3. Вычисление $\hat{\mu}^2$ и $\hat{\sigma}^2$ (выборочного среднего и дисперсии) и коэффициента вариации $\nu = \frac{\hat{\sigma}^2}{\hat{\mu}^2}$ по k элементам матрицы T , выбранном на каждом шаге скользящего сканирования.

Шаг 4. Формирование матрицы Z , содержащей все полученные оценки коэффициента вариации v .

Шаг 5. Преобразовать элементы матрицы Z при помощи процедуры линейного контрастирования и дальнейшего выбора ближайшего целого значения так, чтобы интервал интенсивностей пикселей составил $(0,255)$, а высокие значения интенсивности соответствовали большим значениям размытости. Полученную матрицу обозначим через Z_1 .

После выполнения перечисленных шагов предстоит визуализация полученного результата, при которой визуально можно различить обнаруженные пиксели высокими и с низкими значениями интенсивности.

Для отделения размытых участков необходимо дополнительно выполнить следующие действия:

Шаг 6. Бинаризация матрицы Z_1 выбирая пороговое значение некоторым подходящим методом, например при помощи алгоритма Отсу [10]. Полученную матрицу обозначим через Z_2 . Тогда полученные пиксели черного цвета будут принадлежать неразмытым участкам изображения.

Шаг 7. Отделение из исходного изображения всех пикселей, для которых соответствующий пиксел изображения с матрицей Z_2 имеет чёрный цвет. В результате получится изображение, из которого будут устранены размытые участки.

Результаты экспериментов

Проведён ряд экспериментов с применением предложенной процедуры обнаружения и отделения размытых участков полутонового изображения (при $k=5$). При этом, результаты приходится оценивать при помощи визуального анализа, поскольку не удалось обнаружить в литературе и в Интернете верифицированных средств обнаружения и отделения размытых участков другими методами.

На Рис. 2 приведены результаты обработки изображения, в котором объект интереса изображён на размытом фоне. Сначала проверяется возможность выделения объекта интереса при помощи процедуры бинаризации. Мы видим, что бинаризация не помогает выделению объекта должным образом (Рис. 2б). На Рис. 2в. Приведена картина после визуализации матрицы Z_1 , а на Рис. 2г – после визуализации матрицы Z_2 .

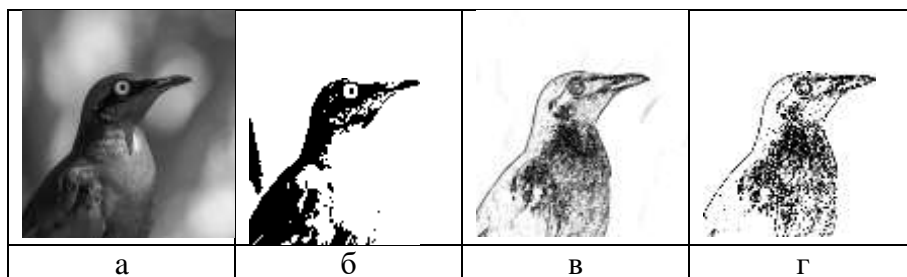


Рис. 2. Результаты обработки полутонового изображения предложенным методом. а) оригинал, б) бинаризованный оригинал, в) визуализированная картина по оценкам размытости (матрица Z_1), г) объект интереса после отделения размытых участков (матрица Z_2).

Заключение

Предложена процедура обнаружения и отделения размытых участков, основанная на применении коэффициента вариации магнитуды градиента полутонового изображения. Подчеркивается неспособность применения алгоритма бинаризации решить проблему с надлежащим качеством. На примерах показана эффективность предложенной процедуры.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Sheikh H., Sabir M. and Bovik A.* A statistical evaluation of recent full reference image quality assessment algorithms, *IEEE Trans. Image Process.*, vol. 15, no. 11, Nov. 2006. PP. 3440–3451
2. *Wu J., Lin W., Shi G. and Liu A.* Reduced-reference image quality assessment with visual information fidelity, *IEEE Trans. Multimedia*, vol. 12, no. 7, Nov. 2013. PP. 1700–1705,
3. *Kamble V., Bhurchandi K.* No-reference image quality assessment algorithms: A survey. *Optik*, Volume 126, Issues 11–12, June 2015, PP. 1090–1097.
4. *Liu A., Lin W. and Narwaria M.* Image quality assessment based on gradient similarity, *IEEE Trans. Image Process.*, vol. 21, no. 4, Apr. 2012. PP. 1500–1512
5. *Asatryan D.* Image blur estimation using gradient field analysis. *Computer Optics*, 41(6), 2017, 957–962.
6. *Asatryan D., Egiazarian K.* Proc. of the International Workshop on Local and Non-Local Approximation in Image Processing Finland Helsinki 200970-73.
7. *Asatryan D.* A Novel Technique for No-Reference Image Quality Assessment. Proceedings of International Conference on Computer Science and Information Technologies CSIT2019, 2019. PP. 201–203.
8. *Asatryan D.* Gradient-based technique for image structural analysis and applications. *Computer Optics* 2019; 43(2): 245–250. DOI: 10.18287/2412-6179-2019-43-2-245-250.
9. *Asatryan D.* Comparative Study of Three Approaches for Estimating the Weibull Distribution Parameters. *Vestnik RAU*, 2., 2018. CC. 5–16.
10. *Otsu N.* A threshold selection method from gray-level histograms, *IEEE Transaction on Systems Man and Cybernetics (SMC)*, Vol. 9, 1979. PP. 62–66.

**AUTOMATIC DETECTION AND SEPARATION OF BLURED
AREAS OF A DIGITAL IMAGE*****D. Asatryan*** ^{1,2}, ***A. Muradova***¹¹*Russian-Armenian University*²*Institute for Informatics and Automation Problems of the NAS of Armenia*
*dasat@iiap.sci.am , ar.muradova@gmail.com***ABSTRACT**

It is known that a digital image is often blurred due to imperfections or defects in the optical system used, movement of the camera or object of interest during shooting, inaccurate focusing of the device and other reasons. In applications of the theory and practice of image processing, the problem arises of detecting blurred areas of an image with the intention of improving its quality or highlighting an object of interest on it. The work is devoted to the application to this problem of previously developed methods for estimating image blur, based on the use of the structural properties of the image. The procedure for automatic detecting and separating blurred areas of the image is described, examples are given that illustrate the effectiveness of the proposed approach.

Keywords: Image blur, structure, gradient magnitude, Weibull distribution, shape parameter.

УДК 517.53

ОБ ОДНОМ ГРАНИЧНОМ СВОЙСТВЕ ГАРМОНИЧЕСКИХ ФУНКЦИЙ

С.Л. Берберян

*Российско-Армянский университет
samvel357@ mail.ru*

АННОТАЦИЯ

В данной статье изучается множество точек неопределенности порядка n для гармонических функций, определенных в единичном круге.

Ключевые слова: точки неопределенности, гармонические функции, предельные множества.

В дальнейшем будем придерживаться общепринятых обозначений. Обозначим через D , Γ и $h(\xi, \varphi)$, соответственно, единичный круг $|z| < 1$, единичную окружность $|z| = 1$ и хорду единичного круга D , оканчивающуюся в точке $\xi = e^{i\theta} \in \Gamma$ и образующую с радиусом в этой точке угол φ , $-\frac{\pi}{2} < \varphi < \frac{\pi}{2}$. Пусть $\Delta(\xi, \varphi_1, \varphi_2)$ обозначает подобласть круга D , ограниченную хордами $h(\xi, \varphi_1)$ и $h(\xi, \varphi_2)$. Область $\Delta(\xi, \varphi_1, \varphi_2)$ называют обычно углом Штольца с вершиной в точке $\xi = e^{i\theta} \in \Gamma$ и если нас не интересует размер угла Штольца, мы будем обозначать его кратко $\Delta(\xi)$. Интерпретируя круг D , как модель плоскости в геометрии Лобачевского, обозначим через $\sigma(z_1, z_2)$ неевклидовое расстояние между точками z_1, z_2 из круга D :

$$\sigma(z_1, z_2) = \frac{1}{2} \ln \frac{1+u}{1-u}, \text{ где } u = \frac{z_1 - z_2}{1 - z_1 \bar{z}_2}.$$

Рассмотрим действительную функцию $f(z)$. Для произвольного подмножества S круга D , для которого точка $\xi \in \Gamma$ является предельной точкой, обозначим через $C(f, \xi, S)$ предельное множество функции $f(z)$ в точке ξ относительно множества S , т.е. $C(f, \xi, S) = \overline{\cap f(S \cap U(\xi))}$, где пересечение берется по всем окрестностям $U(\xi)$ точки ξ , а черта означает замыкание множества относительно двухточечной компактификации \bar{R} множества $R = (-\infty, +\infty)$ в виде отрезка посредством добавления к точкам множества R символов $-\infty$ и $+\infty$. Точку $\xi \in \Gamma$ относят к множеству $K(f)$ для функции $f(z)$, определенной в D , если $C(f, \xi, \Delta(\xi, \varphi_1, \varphi_2)) = C(f, \xi, \Delta(\xi, \varphi'_1, \varphi'_2))$ для любых углов $\Delta(\xi, \varphi_1, \varphi_2)$ и $\Delta(\xi, \varphi'_1, \varphi'_2)$ с вершиной в точке ξ . Множество E называется *первой категории*, если оно или нигде не плотно или же объединение счетного числа нигде не плотных множеств. Скажем, что кривая

L , не касательная к Γ в точке $\xi = e^{i\theta}$, является возможной кривой, если касательная к ней в точке ξ содержится в некотором углу $\Delta(\xi)$. Назовем точку $\xi \in \Gamma$ точкой неопределенности n -ого порядка, (где $n \geq 2$), если существуют n таких возможных кривых $\gamma_1, \gamma_2, \dots, \gamma_n$, что $C(f, \xi, \gamma_1) \cap C(f, \xi, \gamma_2) \cap \dots \cap C(f, \xi, \gamma_n) = \emptyset$. О точках неопределенности можно прочесть подробнее в монографии [1] и в статье [2]. Когда говорится, что некоторое свойство имеет место почти всюду, то под этим понимается, что это свойство имеет место всюду, кроме некоторого множества E , мера которого равна нулю.

В работе рассматриваются граничные свойства гармонических функций $f(z)$.

Основным результатом является следующее утверждение.

Теорема. Пусть $f(z)$ произвольная гармоническая в D функция, ограниченная сверху или снизу. Тогда при любом n множество точек неопределенности n -ого порядка-первой категории и меры нуль.

Для доказательства основного результата рассмотрим леммы.

Лемма 1. Пусть S – произвольная подобласть круга D и точка $\xi \in \Gamma$ является одной из предельных точек множества S . Если гармоническая в D функция $f(z)$ имеет $C(f, \xi, S_\xi) \neq R$, то для любых последовательностей точек $\{z_n\}, \{z'_n\}, \lim_{n \rightarrow \infty} z_n = \lim_{n \rightarrow \infty} z'_n = \xi, z_n, z'_n \in S, \lim_{n \rightarrow \infty} \sigma(z_n, z'_n) = 0$ из свойства $\lim_{n \rightarrow \infty} f(z_n) = \alpha$ следует, что $\lim_{n \rightarrow \infty} f(z'_n) = \alpha$.

Доказательство леммы 1 проведено в работе [3].

Для доказательства теоремы 1 рассмотрим еще следующее утверждение.

Лемма 2. Пусть $f(z)$ – гармоническая в D функция, ограниченная сверху (или снизу). Если $\xi = e^{i\theta} \in K(f)$, то для любых значений $\varphi, \varphi_1, \varphi_2 \in \left(-\frac{\pi}{2}, \frac{\pi}{2}\right)$ справедливо соотношение $C(f, \xi, h(\xi, \varphi)) = C(f, \xi, \Delta(\xi, \varphi_1, \varphi_2))$.

Доказательство леммы проведено в работе [3].

Замечание. Отметим, что условие

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \sigma(z_n, z'_n) = 0, \quad (1)$$

где последовательность $\{z_n\} \in D, |z_n| \rightarrow 1$, при $n \rightarrow \infty$, равносильно условию

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{|z_n - z_{n+1}|}{1 - |z_n|} = 0, \quad (2)$$

для той же последовательности $\{z_n\}$.

В этом легко убедиться, воспользовавшись оценкой, полученной Д. Рангом (см.[4])

$$\frac{2A}{1+A} \leq C \leq \frac{2A}{1-A} \quad (3),$$

где $c = \frac{|z_n - z_{n+1}|}{1 - |z_n|}$, $0 \leq C \leq +\infty$, а $A = \frac{e^{2\delta} - 1}{e^{2\delta} + 1}$, $0 \leq A \leq 1$, и $\lim_{n \rightarrow \infty} \sigma(z_n, z_{n+1}) = \delta$, где $0 \leq \delta \leq +\infty$.

Действительно, пусть $C = 0$. Тогда из левой части неравенства (3) следует, что $A = 0$. Если же $\delta = 0$, то $A = 0$ и из правой части неравенства (3) вытекает, что $C = 0$. Тем самым имеет место равносильность условий (1) и (2). Таким образом, в условиях леммы 1 вместо соотношения (1) можно рассматривать соотношение (2).

Настоящая работа проведена в рамках программы развития РАУ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Коллингвуд Э. и Ловатер А. Теория предельных множеств. 1971, М.: Изд-во «Мир». С. 306.
2. Ловатер А. Граничное поведение аналитических функций // В сборн. «Итоги науки и техники». Математический анализ. Т. 10, 1973, 99–260.
3. Берберян С.Л., Гаврилов В.И. Предельные множества непрерывных и гармонических функций по некасательным граничным путям // *Mathematica Montisnigri*, 1993, Vol.1, 17–25.
4. Rung D. A remark on the theorem of Somadasa // *J. London Math. Soc.*, vol. 43, № 1, 337–338.

ON ONE BOUNDARY PROPERTY OF HARMONIC FUNCTIONS

S. Berberyan

*Russian-Armenian University
samvel357@mail.ru*

ABSTRACT

In this paper, we study the set of uncertainty points of order n for harmonic functions defined in the unit disc.

Keywords: points of uncertainty, harmonic functions, cluster sets.

ON THE PALETTE INDEX OF 3D GRID GRAPHS

A.B. Ghazaryan

*Yerevan State University
ghazaryan.ghasi@gmail.com*

ABSTRACT

The palette of a vertex v of a graph G , in a proper edge coloring, is the set of colors assigned to the edges which are incident to v . The palette index of G is the minimum number of palettes occurring among all proper edge colorings of G . In this paper, we consider the palette index of 3D grid graphs $G(n, m, l)$: the Cartesian products of paths on m , n , and l vertices, respectively. Specifically, we determine the palette index of $G(n, m, l)$ grid graphs if at least one of n, m , or l is even integer. Additionally, we give upper and lower bounds for the remaining case: if n, m , and l are odd integers.

Keywords: palette index, 3D grid graphs, Cartesian products of paths.

The palette of a vertex v of a graph G , in a proper edge coloring, is the set of colors assigned to the edges which are incident to v . The palette index of G is the minimum number of palettes occurring among all proper edge colorings of G . The palette index was introduced in [5] and has so far primarily been studied for the case of regular graphs. In [5], the authors studied the palette index of complete graphs and cubic graphs. More specifically, they showed that

Introduction

$$\check{s}(K_n) = \begin{cases} 1 & \text{if } n \equiv 0 \pmod{2}, \\ 3 & \text{if } n \equiv 3 \pmod{4}, \\ 4 & \text{if } n \equiv 1 \pmod{4}, \end{cases}$$

and the following is true for any cubic graph G :

$$\check{s}(G) = \begin{cases} 1 & \text{if } G \text{ is Class 1,} \\ 3 & \text{if } G \text{ is Class 2 and has a perfect matching,} \\ 4 & \text{if } G \text{ is Class 2 and has no perfect matching.} \end{cases}$$

Additionally, they proved that the palette index of a regular graph is 1 if and only if the graph is Class 1. Moreover, it is different from 2.

As mentioned in [2], the palette index of a d -regular graph of Class 2 satisfies the inequality $3 \leq \check{s}(G) \leq d + 1$. In [2], the authors showed that the palette index of 4-regular graphs of Class 2 accepts all these values 3,4,5.

There are few results about the palette index of non-regular graphs. In [4], the authors completely determined the palette index of the complete bipartite graphs $K_{a,b}$ with $a < 5$.

In [1], the authors studied the palette index of trees, proving that $\check{s}(T) \leq \sum_{i=1}^A \lfloor \frac{A}{i} \rfloor$. Moreover, they proved the sharpness of this bound by constructing T^A graphs for which the palette index is $\sum_{i=1}^A \lfloor \frac{A}{i} \rfloor$.

In [3], the authors studied the palette index of bipartite graphs and characterized the class of graphs whose palette index equals the number of vertices. Also, they determined the palette index of 2D grid graphs.

The Cartesian product $G \circ H$ of graphs G and H is a graph such that

- the vertex set of $G \circ H$ is the Cartesian product $V(G) \times V(H)$; and
- two vertices (u, u') and (v, v') are adjacent in $G \circ H$ if and only if either
 - $u = v$ and u' is adjacent to v' in H , or
 - $u' = v'$ and u is adjacent to v in G .

In the paper, we continue the work of the authors of [3], and we study the palette index of 3D grid graphs.

Main Result

Let P_n, P_m, P_l be paths on m, n , and l vertices, respectively. Let us denote by $G(n, m, l) = P_n \circ P_m \circ P_l$ the 3D grid graph: the Cartesian products of the paths P_n, P_m , and P_l .

Theorem 1. For every integers $n, m, l > 1$,

$$\check{s}(G(n, m, l)) = \begin{cases} 1, & \text{if } n = m = l = 2, \\ 2, & \text{if } \exists! p \in \{n, m, l\}, p > 2, \\ 3, & \text{if } \exists! p \in \{n, m, l\}, p = 2, \\ 4, & \text{if } \min(n, m, l) > 2 \text{ and } nml \equiv 0 \pmod{2}, \end{cases}$$

$$5 \leq \check{s}(G(n, m, l)) \leq 9 \quad \text{if } nml \equiv 1 \pmod{2}.$$

REFERENCES

1. Bonisoli A., Bonvicini S., Mazzuoccolo G. On the palette index of a graph: the case of trees // Lecture Notes of Seminario Interdisciplinare di Matematica 14 (2017), 49–55.
2. Bonvicini S., Mazzuoccolo G. Edge-colorings of 4-regular graphs with the minimum number of palettes // Graphs and Combinatorics 32 (2016), 1293–1311.
3. Casselgren C., Petrosyan P. Some results on the palette index of graphs // Discrete Mathematics and Theoretical Computer Science 21 (2) (2019), #11.
4. Horňák M., Hudák J. On the palette index of complete bipartite graphs // Discussiones Mathematicae Graph Theory 38 (2018), 463–476.

5. Hornak M., Kalinowski R., Meszka M., Wozniak M. Minimum number of palettes in edge colorings // Graphs Combinatorics 30 (2014), 619–626.

О ПАЛИТРОВОМ ИНДЕКСЕ 3-МЕРНЫХ СЕТОЧНЫХ ГРАФОВ

А.Б. Казарян

*Ереванский Государственный Университет
ghazaryan.aghasi@gmail.com*

АННОТАЦИЯ

При правильной реберной раскраске графа G мы определяем палитру вершины $v \in V(G)$, как множество всех цветов, появляющихся на ребрах, смежных с v . Индекс палитры $\xi(G)$ графа G является минимальным числом различных палитр, встречающихся при всех правильных реберных раскрасках G . В этой статье мы исследуем палитру индексов 3-мерных сеточных графов: декартово произведение путей на вершинах n, m и l соответственно. В частности, мы определяем индекс палитры 3-мерных сеточных графов $G(n, m, l)$, если хотя бы одно из n, m или l является четным целым числом. Кроме того, мы даем верхние и нижние оценки для оставшегося случая: если n, m и l – нечетные целые числа.

Ключевые слова: индекс палитры, 3-мерных сеточных графов, декартово произведение дорог.

PREPROCESSING CHIP DESIGN FOR XOR OPTIMIZATION

A. Darbinyan, A. Hakobyan, M. Khachaturyan, H. Hambarzumyan

*Russian-Armenian University
Armenia, Yerevan*

ABSTRACT

There are many techniques/algorithms for geometrical data comparison. What is required is to research existing methods and come up with an effective algorithm providing fast data comparison for hierarchically represented geometrical data (shortly - layout). In this work a new approach for geometrical data comparison is given. The new algorithm is written in simplified way, the new algorithm is compared with the already existing one (Dbdiff) and visual examples of such layouts are given.

Keywords: Chip design, layout, xor, optimization.

1. Formulation of the problem

We are given 2 GDSII formatted files and a number, we will call it “iterations”. Generally speaking, those files consist of cells and are a library of such cells. A Cell can contain polygons or references to other cells (see [1]). The problem is to remove all polygons that are the same and located in the same place in both libraries and all the operations must stay xor-invariant.

Definition 1: We will state that a cell has a 0-level if it contains no references to other cells. We will state that a cell has k-level if it contains cells with level not greater than k-1.

Definition 2: Polygons in a cell are the polygons which the cell contains if its not flatted (This means that when saying just polygons we do not count the polygons in references).

Definition 3: Flatted polygons of a cell are the polygons which result after flatted that cell.

Definition 4: We call an entity of a cell a reference or polygon in that cell.

CELLS_i – The number of cells in the i-th layout.

DEPTH_i– The level of the top cell in the i-th layout.

CELL_ENTITIES – The number of polygons + number of references in the given cell.

TOP_ENTITIES_i – The number of polygons + number of references in the top cell in the i-th layout.

MAX_POL_i – The maximum number of polygons that a cell contains in the i-th layout.

MAX_REF_i – The maximum number of references that a cell contains in the i-th layout.

MAX_ENT_i – The maximum number of entities that a cell contains in the i-th layout.

COLLISIONS_i – The maximum number of collisions of the entities in the top cell.

D_i – The number of possible values for a coordinate to have. In GDSII format it is equal to 2^{32}

In each case i is equal to 1 or 2 (1st layout or 2nd layout).

For each of the defined values **X_i** we will denote $\mathbf{X}=\text{MAX}(\mathbf{X}_1, \mathbf{X}_2)$

2. Steps of the algorithm.

In general the steps of the algorithm are as follows:

1. Preprocess the data for each layout.
2. Find potentially equivalent cells
3. Construct quad trees for each layer.
4. Filter out polygons and references from each top cell.
5. Flatten one level and repeat the steps 3-5 "iterations" times.

Now let us look at each step of the algorithm in details.

Step 1: Preprocess the data for each layout

Phase 1 $O(\text{CELLS} \cdot \text{MAX_REF})$: We process the cells level by level from 0 to DEPTH and calculate how many flattened polygons each cell contains.

Phase 2 $O(\text{CELLS})$: Remove all empty cells (by saying empty we mean that the cell doesn't contain flattened polygons).

Phase 3 $O(\text{CELLS} \cdot \text{DEPTH})$: Preprocessing cells that consist only of 1 reference to another cell and contain no polygons. We flatten all such cells by 1 level and repeat the process until no such cells are found.

Phase 4 $O(\text{TOP_ENTITIES})$: Preprocessing all the entities in the top cell that are equal to each other and have the same place in the top cell. If we have multiple such entities, we remove all of them except for 1.

Step 2: Find potentially equivalent cells

In this step we find which cells of the first layout can be constructed from a cell of the second layout by shifting. We compare the cells from the first and second layouts that have the same number of flattened polygons starting from the lowest number of flattened polygons to the largest.

We compare their bounding boxes. If they have the same sizes, we find what the offset value between bounding boxes are.

We check whether each entity from the second cell can be constructed by applying the same offset value to an entity from the first cell by using quad-trees.

This takes $O(\mathit{CELLS}^2 \cdot \mathit{MAX_ENT}^2)$ amount of time to complete in the worst case, however we do this by using quad trees and in average this will take $O(\mathit{CELLS}^2 \cdot \mathit{MAX_ENT} \cdot \log D)$ amount of time.

Step 3: Construct quad trees for each layout

Generally speaking a quad tree is a fractal, which is constructed by dividing the bounding box of a given layout into 4 equal parts, after which we divide each of the resulting parts into 4 equal ones again and so on as shown in the picture.

This step takes $O(\mathit{TOP_ENTITIES} \cdot \log D)$ amount of time.

Step 4: Filter out polygons and references from each top cell

In this step we remove the equal entities from top cells in both layouts that intersect only with entities that also have equal ones in the other cell.

In order to do that, we first find all collisions in both top cells separately. Since we are using quad trees, this operation will require $O(\mathit{COLLISIONS})$ number of steps in average.

Then, for each entity in the first top cell we search for the equal one in the other top cell. This will take $O(\mathit{TOP_ENTITIES} \cdot \log D)$ number of steps in average.

In the worst case this takes $O(\mathit{TOP_ENTITIES}^2)$ number of steps, but the average is $O(\mathit{TOP_ENTITIES} \cdot \log D + \mathit{COLLISIONS})$.

The general complexity of the whole algorithm for $\mathit{ITERATIONS} = 1$ in the worst case is $O(\mathit{TOP_ENTITIES}^2 + \mathit{CELLS}^2 \cdot \mathit{MAX_ENT}^2)$.

In average this would take $O(\mathit{COLLISIONS} + \mathit{CELLS} \cdot \mathit{MAX_ENT} \cdot \log D + \mathit{CELLS}^2)$.

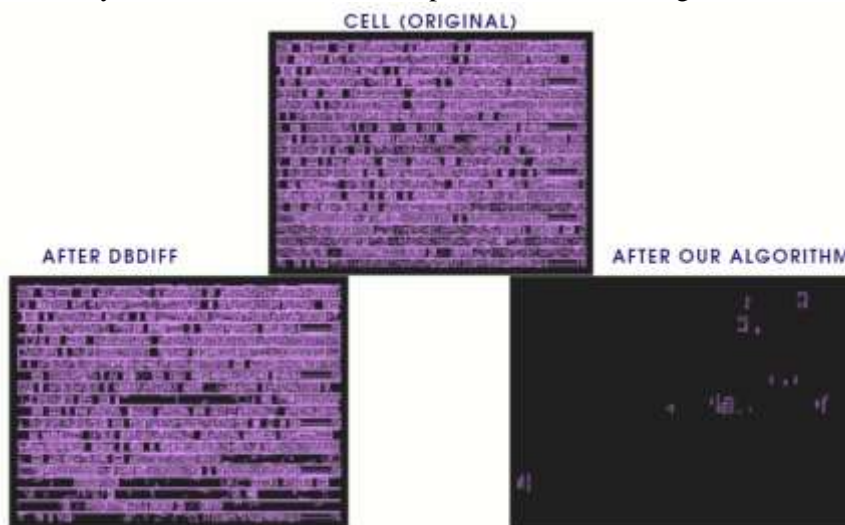
The tables below show the relationship between the data of the source file, the file obtained as a result of filtering by the "Layout vs Layout comparison" and "Dbdiff" algorithms.

Design 1	GDS sizes	Geometry count(flat)
Original (1 file)	1.1 MB	37817
Original (2 file)	1.1 MB	37817
Filtered (1 file)	4 KB (empty layout)	0
Filtered (2 file)	4 KB (empty layout)	0
Dbdiff (1 file)	560 KB	28069
Dbdiff (2 file)	560 KB	28069

Design 2	GDS sizes	Geometry count(flat)
Original (1 file)	456 KB	27574
Original (2 file)	456 KB	27553
Filtered (1 file)	4 KB	19
Filtered (2 file)	4 KB	40
Dbdiff (1 file)	28 KB	757
Dbdiff (2 file)	28 KB	736

Design 3	GDS sizes	Geometry count(flat)
Original (1 file)	32 KB	407
Original (2 file)	32 KB	407
Filtered (1 file)	4 KB	28
Filtered (2 file)	4 KB	28
Dbdiff (1 file)	16 KB	245
Dbdiff (2 file)	16 KB	245

Below you can also find a visual representation of the algorithms result:



REFERENCES

1. GDSII™ Stream Format Manual (B97E060), Release 6.0 // Calma, February 1987.
2. Finkel R. and Bentley J. (1974). Quad Trees: A Data Structure for Retrieval on Composite Keys. Acta Informatica. 4 (1): 1–9. doi:10.1007/BF00288933. S2CID 33019699.

ОБРАБОТКА ЧИПДИЗАЙНА ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ ХОР

А.А. Дарбинян, А.Р. Акопян, М.А. Хачатурян, А.Г. Амбарцумян
Российско-Армянский университет

АННОТАЦИЯ

Есть много техник/алгоритмов для геометрического сравнения данных. Необходимо построить эффективный алгоритм для быстрого сравнения иерархически представленных геометрических данных (кратко-схем). В данной статье приведен новый подход к данной задаче. Новый алгоритм изложен в упрощенной форме и сравнен с уже существующим алгоритмом (Dbdiff). Визуальные представления схем также приведены.

Keywords: Чип дизайн, схемы, xor, оптимизация.

ПРЕОБРАЗОВАНИЕ ХАФА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ПАРАБОЛИЧЕСКОЙ ТРАЕКТОРИИ

А.А. Дарбинян¹, Д.А. Оганисян²

Российско-Армянский университет

arman.darbinyan@rau.am, hovhannisyan.diana@student.rau.am

АННОТАЦИЯ

В данной статье описывается преобразование Хафа для парабол, изучается траектория объекта и строится математическая модель параболического движения объекта. На основе этих решений был построен алгоритм обнаружения параболической траектории движущегося объекта. В основе работы лежат различные методы и алгоритмы машинного обучения, которые были использованы для построения математической модели для данной задачи.

Ключевые слова: Преобразование Хафа, параболическая траектория, траекторная обработка.

Введение

На практике при обработке цифровых изображений часто возникает проблема обнаружения простых фигур – таких, как прямые окружности или эллипсы. Проблемы в основном связаны с шумом, который затрудняет обнаружение краев этих кривых.

В 1961 году Пол Хафф впервые представил преобразование Хафа, представляющее собой цифровой алгоритм, предназначенный для поиска графических примитивов в изображениях [1]. Целью преобразования Хафа является решение проблемы группирования граничных точек путем применения определенной процедуры голосования на параметризованных объектах изображения. Преобразование Хафа позволяет найти кривые в изображении, которые задаются параметрами, как, к примеру, прямые, окружности, эллипсы и т.д.

Цель работы – разработка алгоритма обнаружения параболической траектории движущегося объекта. В статье представлено преобразование Хафа для парабол и представлены алгоритмы оптимизации работы. Также изучена поиск параболы в случае отклонения и шума.

Преобразование Хафа для обнаружения параболической траектории

Предположим, у нас есть правильная парабола, то есть парабола, параллельная одной из координатных осей. В этом случае парабола задается одним из следующих уравнений:

$$x = a(y - y_0)^2 + x_0 \quad y = a(x - x_0)^2 + y_0$$

Следовательно, парабола однозначно определяется числами (x_0, y_0, a) . То есть поиск параболы эквивалентен задаче поиска этих трех чисел.

На вход мы получаем набор определенных точек. Найдем параболу на исходном изображении, преобразовав ее по следующему алгоритму:

1. Создаем трехмерный аккумулятор для чисел x_0, y_0 и a .
2. Построим все возможные параболы для каждой точки изображения. В аккумуляторе «проголосуем» за соответствующие числа x_0, y_0 и a .
3. Числа x_0, y_0 и a с наибольшим количеством «голосов» будут соответствовать искомым параболом.

Псевдокод

$$a = a_{max} - a_{min}$$

$$Acc[x_{max}, y_{max}, a] = 0$$

if $input[x, y] \neq 0$:

for $\forall a \in (a_{min}, a_{max}) \ \& \ \forall x < x_{max} \ \& \ \forall y < y_{max}$:

$$y_0 = y - a(x - x_0)^2$$

$Acc[x_0, y_0, a] ++$

Точно так же мы можем найти неправильную параболу, которая похожа на версию без вращения, за исключением того, что в этом случае добавляется еще один неизвестный угол θ . Поэтому в этом случае размер аккумулятора увеличивается на единицу.



Рис. 1.

Возможны случаи, когда, помимо точек, принадлежащих параболом, есть дополнительные точки, не принадлежащие параболом. Наличие таких точек можно объяснить плохим качеством изображения или рядом уже внесенных в него изменений, либо неверно переданной информацией, если рассматривать случай, когда входными данными не является картинка. Эти дополнительные точки приведут к ложным параболом, но у них будет очень мало голосов на

этапе голосования, поэтому они не повлияют на окончательный результат (Рис. 1).

Если точки получаем не точными, а с некоторым отклонением (шум), то мы получим некоторые значения, которые будут отличаться друг от друга в ранее допустимом диапазоне отклонений. С помощью группировки получим желаемый результат.

Теперь рассмотрим методы оптимизации алгоритма.

Если мы повернем систему координат Oxy на угол θ , то получим систему координат $Ox'y'$ (Рис. 2). Заметим, что фокус параболы (x_0, y_0) в новой системе координат будет соответствовать фокусу (x'_0, y'_0) .

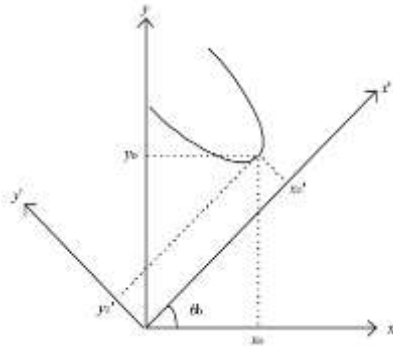


Рис. 2.

Уравнение параболы в системе $Ox'y'$ будет

$$(y' - y'_0) = p(x' - x'_0)^2 \quad (2)$$

Для получения параболы вращением по часовой стрелке на угол θ рассматривается стандартная двумерная матрица преобразования, которая имеет следующий вид:

$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\theta & \sin\theta \\ -\sin\theta & \cos\theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix},$$

что эквивалентно

$$\begin{cases} x\cos\theta + y\sin\theta = x' \\ x\sin\theta + y\cos\theta = y' \end{cases} \quad (3)$$

Используя уравнения (3), мы запишем уравнение параболы (2) следующим образом:

$$\begin{aligned} &(-x\sin\theta + y\cos\theta) - (-x_0\sin\theta + y_0\cos\theta) = \\ &= p[(x\cos\theta + y\sin\theta) - (x_0\cos\theta + y_0\sin\theta)]^2 \end{aligned}$$

Уравнение, полученное дифференцированием, будет:

$$-\sin \theta + \frac{dy}{dx} \cos \theta = 2p[(x \cos \theta + y \sin \theta) - x_0 \cos \theta + y \sin \theta] * \\ * \left[\cos \theta + \frac{dy}{dx} \sin \theta \right]$$

Используя последние уравнения, мы получаем новое соотношение для фокуса параболы:

$$y_0 = \left[\frac{k_1(x \cos \theta_0 + y \sin \theta_0) + (x \sin \theta_0 - y \cos \theta_0)}{(k_1 \sin \theta_0 - \cos \theta_0)} \right] - \frac{(k_1 \cos \theta_0 + \sin \theta_0)}{(k_1 \sin \theta_0 - \cos \theta_0)} x_0$$

где

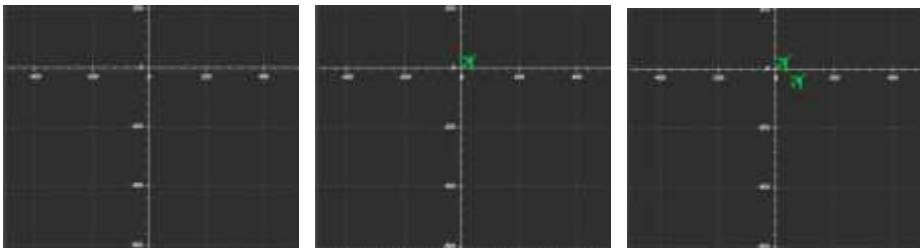
$$k_1 = \frac{-\sin \theta_0 + \frac{dy}{dx} \cos \theta_0}{2(\cos \theta_0 + \frac{dy}{dx} \sin \theta_0)}$$

Из полученных результатов становится очевидным, что трехмерного аккумулятора достаточно для обнаружения параболы с произвольным вращением, неизвестными x_0 , y_0 и θ :

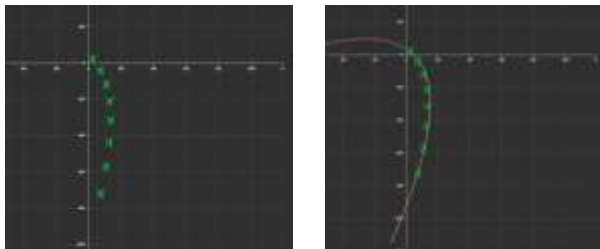
Обнаружение параболической траектории движущегося объекта

Все предыдущие случаи поиска по параболе обсуждались, когда у нас уже есть набор готовых точек или поиск ведется по конкретному изображению. В этом разделе мы рассмотрим случай, когда точки принадлежат траектории движущегося объекта и приходят с течением времени. В этом случае воспользуемся алгоритмом Хафа следующим образом:

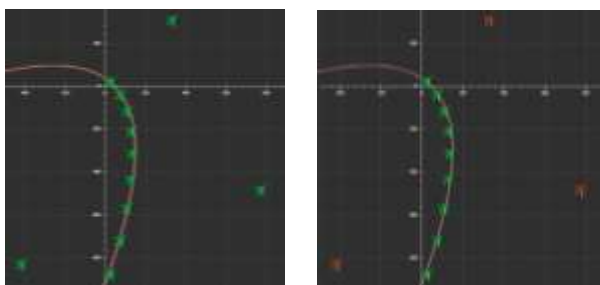
1. Собираем координаты движущегося объекта:



2. Если имеется достаточное количество заранее определенных точек, мы будем искать параболу на множестве этих точек в соответствии с алгоритмами, описанными в предыдущих случаях, в результате чего у нас будет обнаружена парабола.



3. Для всех остальных точек, полученных после нахождения параболы, мы проверяем, принадлежат ли они найденной параболе. Помимо вопроса о принадлежности к параболе, мы также проверяем, удовлетворяют ли координаты таким параметрам движущегося объекта, как скорость и ускорение.



ЛИТЕРАТУРА

1. *Sklansky J.* On the Hough technique for curve detection, 1978.
2. *Wechsler H. and Sklansky J.* Finding the rib cage in chest radiographs," *Pattern Recognition*, Vol. 9, 1977.
3. *Ballard, D.* Generalising the Hough transform to detect arbitrary shape, 1993.
4. *Nasim A., Maqsood A. and Saeed T.* Multicore and GPU Based Pupillometry Using Parabolic and Elliptic Hough Transform.
5. *Ballard, D.* Generalising the Hough transform to detect arbitrary shape, 1993.

HOUGH TRANSFORMATION FOR DETECTION OF PARABOLIC TRAJECTORY

A. Darbinyan¹, D. Hovhannisyan²

Russian-Armenian University

arman.darbinyan@rau.am, hovhannisyan.diana@student.rau.am

ABSTRACT

In this paper, the Hough transform for parabolas is described, the trajectory of the object is studied, and a mathematical model of the parabolic motion of the object is constructed. Based on these solutions, an algorithm for detecting the parabolic trajectory of a moving object was built. The work is based on various methods and algorithms of machine learning, which were used to build a mathematical model for this problem.

Keywords: Hough transform, parabolic trajectory, trajectory processing.

СИЛЬНАЯ РЕБЕРНАЯ РАСКРАСКА ГРАФОВ ХЭММИНГА

А.К. Драмбян

*Российско-Армянский университет
ardrambyan@student.rau.am*

АННОТАЦИЯ

Функция $f: E(G) \rightarrow N$ называется реберной раскраской графа G . Реберная раскраска f графа G называется сильной, если любые два ребра, находящиеся на расстоянии 0 или 1, окрашены в различные цвета. Наименьшее число цветов, необходимое для сильной реберной раскраски графа G , называется сильным хроматическим индексом и обозначается $\chi'_s(G)$. В настоящей работе для графов Хэмминга $H(n, m)$ показано, что $\frac{(2n-1)m(m-1)}{2} \leq \chi'_s(H(n, m)) \leq \frac{nm^2(m-1)}{2}$.

Кроме того, показано что

$$6n - 3 \leq \chi'_s(H(n, 3)) \leq \frac{15n}{2} - 6, \text{ если } n - \text{ четное число,}$$

$$6n - 3 \leq \chi'_s(H(n, 3)) \leq \frac{15(n-1)}{2} + 3, \text{ если } n - \text{ нечетное число.}$$

Ключевые слова: реберная раскраска, сильная реберная раскраска, сильный хроматический индекс.

Введение

Пусть G - неориентированный граф без кратных ребер и петель, $V(G)$ - множество вершин графа G , $E(G)$ - множество ребер графа G . Обозначим через $\Delta(G)$ максимальную из степеней вершин графа G . Неопределяемые понятия и обозначения можно найти в [1].

Реберная раскраска f графа G называется сильной, если любые два ребра, находящиеся на расстоянии 0 или 1, окрашены в различные цвета. Наименьшее число цветов, необходимое для сильной реберной раскраски графа G называется сильным хроматическим индексом и обозначается $\chi'_s(G)$. Определение сильной реберной раскраски графа было введено в [2]. В частности, Эрдемеш и Нешетрилом была предложена следующая гипотеза.

Гипотеза (Эрдеш и Нешетрил, 1985): Для любого графа G справедливо:

$$\chi'_s(G) \leq \begin{cases} \frac{5\Delta(G)^2}{4}, & \text{если } \Delta(G) \text{ четное} \\ \frac{5(\Delta(G)^2 - 2\Delta(G) + 1)}{4}, & \text{если } \Delta(G) \text{ нечетное} \end{cases}$$

Гипотеза была доказана для $\Delta(G) \leq 3$ [3, 6]. Для графов G с $\Delta(G) = 4$, Кренстон [4] показал, что $\chi'_s(G) \leq 22$.

Теорема 1 (Р. Фаудри, Р. Шелп, А. Дьярфаш, З. Туза, 1990). Для n -мерного куба Q_n , $\chi'_s(Q_n) \leq 2n$.

В данной работе рассматриваются сильные раскраски графов Хэмминга. Кроме того, в работе даны оценки сильного хроматического индекса этих графов в общем случае и достижимая оценка в частном случае $m = 3$.

Основной результат

Через K_m обозначим полный граф содержащий m вершин. Графом Хэмминга $H(n, m)$ называется декартово произведение n графов K_m . Q_n можно представить как декартово произведение n графов K_2 . То есть графы Хэмминга являются обобщением n -мерных кубов.

Теорема 2. Пусть $H(n, m)$ - граф Хэмминга с $m \geq 2$. Тогда

$$\frac{(2n - 1)m(m - 1)}{2} \leq \chi'_s(H(n, m)) \leq \frac{nm^2(m - 1)}{2},$$

и верхняя оценка достижима при $m = 2$.

Теорема 3. Пусть $H(n, 3)$ - граф Хэмминга. Тогда

$$6n - 3 \leq \chi'_s(H(n, 3)) \leq \frac{15n}{2} - 6, \text{ если } n - \text{ четное число,}$$

$$6n - 3 \leq \chi'_s(H(n, 3)) \leq \frac{15(n-1)}{2} + 3, \text{ если } n - \text{ нечетное число,}$$

и верхняя оценка достижима при $n \leq 3$.

ЛИТЕРАТУРА

1. West D. Introduction to Graph Theory – Prentice-Hall, New Jersey, 2001.
2. Fouquet J., Jolivet J. Strong edge-coloring of graphs and applications to multi-k-gons. *Ars Combinatoria*, 16A:141–150, 1983.
3. Andersen L.D., The strong chromatic index of a cubic graph is at most 10. Topological, algebraical and combinatorial structures. Frolík's memorial volume. *Discrete Math.* 108 (1992), no. 1–3, 231–252.
4. Cranston D.W., Strong edge-coloring of graphs with maximum degree 4 using 22 colors. *Discrete Math.* 306 (2006), no. 21, 2772–2778.
5. Faudree R., Schelp R., Gyarfás A., Tuza Zs. The strong chromatic index of graphs, *Ars Combinatoria* 29B, 1990. PP. 205–211.
7. Horák P., He. Q., Trotter W. Induced matchings in cubic graphs *J. Graph Theory* 17 (1993), no. 2, 151–160.

STRONG EDGE-COLORING OF HAMMING GRAPHS

A. Drambyan

Russian-Armenian University

ardrambyan@student.rau.am

ABSTRACT

A function $f: E(G) \rightarrow N$ is called an edge-coloring of a graph G . An edge-coloring f of G is strong if every pair of edges at distance 0 or 1 receives different colors. The smallest number of colors needed for a strong edge-coloring of G is called a strong chromatic index and denoted by $X_s''(G)$.

In this paper, for Hamming graphs $H(n, m)$, it's shown that $\frac{(n-1)m(m-1)}{2} \leq X_s''(H(n, m)) \leq \frac{nm(m+1)}{2}$. Besides it's shown that

$6n - 3 \leq X_s''(H(n, 3)) \leq \frac{n}{2} - 6$, if n is even, $6n - 3 \leq X_s''(H(n, 3)) \leq \frac{(n+1)}{2} + 3$, if n is odd.

Keywords: edge-coloring, strong edge-coloring, strong chromatic index.

О ДОБАВЛЕНИИ ПОДХОДЯЩИХ ЧЛЕНОВ К ГИПОЭЛЛИПТИЧЕСКОМУ ОПЕРАТОРУ

Г.Г. Казарян^{1,2}, В.Н. Маргарян¹

¹Российско-Армянский университет,

²Институт математики НАН Армении haikghazaryan@mail.ru,
vachagan.margaryan@yahoo.com

АННОТАЦИЯ

Для гипоеллиптического (по Л.Хёрмандеру) дифференциального оператора $P(D)$ найдены необходимые и достаточные условия для того, чтобы добавление младших членов $\{Q(D)\}$ к оператору $P(D)$ не нарушили его гипоеллиптичность. То есть, чтобы 1) характеристические многочлены (символы) $P(\xi)$ и $P(\xi) + Q(\xi)$ имели одинаковую мощность или одинаковую силу 2) многочлен $P(\xi) + Q(\xi)$ также является гипоеллиптическим.

Ключевые слова: гипоеллиптический дифференциальный оператор (многочлен), вырождающийся оператор (многочлен), мощность, сила (по Л.Хёрмандеру) многочлена.

1. Введение

Будем пользоваться следующими стандартными обозначениями: \mathbb{R}^n n -мерное евклидово пространство точек (векторов) $\xi = (\xi_1, \xi_2, \dots, \xi_n)$. Через \mathbb{N} мы обозначим множество всех натуральных чисел, $\mathbb{N}_0 = \mathbb{N} \cup \{0\}$, а через $\mathbb{N}_0^n = \mathbb{N}_0 \times \dots \times \mathbb{N}_0$ множество всех n -мерных мультииндексов, т.е. множество всех точек с целыми неотрицательными координатами $\{\alpha = (\alpha_1, \dots, \alpha_n) : \alpha_i \in \mathbb{N}_0 (i = 1, \dots, n)\}$.

Для $\xi \in \mathbb{R}^n$, $\lambda \in \mathbb{R}^n : \lambda_j > 0 (j = 1, \dots, n)$ и $v \in \mathbb{N}_0^n$ обозначим $|\xi| = \sqrt{\xi_1^2 + \dots + \xi_n^2}$, $\xi^v = \xi_1^{v_1} \dots \xi_n^{v_n}$, $D^v = D_1^{v_1} \dots D_n^{v_n}$.

Пусть $P(D) = P(D_1, \dots, D_n) = \sum_{\beta} \gamma_{\beta} D^{\beta}$ линейный дифференциальный оператор с постоянными коэффициентами и $P(\xi) = \sum_{\beta} \gamma_{\beta} \xi^{\beta}$ его символ (характеристический многочлен), где сумма распространяется по конечному набору мультииндексов $(P) := \{\beta \in \mathbb{N}_0^n; \gamma_{\beta} \neq 0\}$.

Определение 1. Оператор $P(D)$ (многочлен $P(\xi)$) называется гипоеллиптическим ([1], Определение 11.1.2 и Теорема 11.1.1), если выполняются следующие эквивалентные условия

1) все решения $u \in D' = D'(\mathbb{E}^n)$ уравнения $P(D)u = f$ являются бесконечно дифференцируемыми функциями (принадлежат C^{∞}), для любой функции $f \in C^{\infty}$

2) $P^{(\alpha)}(\xi) / P(\xi) := D^{\alpha}P(\xi) / P(\xi) \rightarrow 0$ при $|\xi| \rightarrow \infty$ и $0 \neq \alpha \in \mathbb{N}_0^n$.

Обозначим через I_n множество многочленов n переменных $\{P(\xi)\}$ таких, что $|P(\xi)| \rightarrow \infty$ при $|\xi| \rightarrow \infty$. Очевидно, что любой гипоеллиптический многочлен принадлежит множеству I_n .

Наша цель в настоящей работе (в терминах сравнения дифференциальных операторов (многочленов)), нахождение условий при которых к данному гипоеллиптическому оператору $P(D)$ (многочлену $P(\xi)$) можно добавлять оператор $Q(D)$ (многочлен $Q(\xi)$) так, чтобы оператор $P(D) + Q(D)$ (многочлен $P(\xi) + Q(\xi)$) также остался гипоеллиптическим. Этому вопросу, помимо известных работ Л.Хёрмандера, результаты которых изложены в его монографиях, посвящены работы многих авторов. Отметим только работы [2] – [15], которые непосредственно относятся к указанной тематике.

2. Некоторые типы сравнения дифференциальных операторов (многочленов)

Естественно полагать, что операторы $\{Q(D)\}$ (многочлены $\{Q(\xi)\}$), добавление которых к данному оператору $P(D)$ (многочлену $P(\xi)$) не нарушают его гипоеллиптичность, должны в определённом смысле «подчиняться» оператору $P(D)$ (многочлену $P(\xi)$). Поэтому, сначала мы приведём некоторые понятия такого подчинения.

Для оператора $P(D)$ через $\tilde{P}(\xi)$ (соответственно $\tilde{P}(\xi, t)$) мы обозначим функции Л.Хёрмандера (см. [1], формула (7.3.20) и формула (10.4.2)).

$$\tilde{P}(\xi) := \sqrt{\sum_{\alpha \geq 0} |D^\alpha P(\xi)|^2}, \quad \tilde{P}(\xi, t) := \sqrt{\sum_{\alpha \geq 0} |D^\alpha P(\xi)|^2 t^{2|\alpha|}}, \quad \xi \in \mathbb{R}^n, t \geq 0.$$

Определение 2. (см. [11], Определение 2) Пусть $P(D)$ и $Q(D)$ дифференциальные операторы такие, что $|Q(\xi)|/|P(\xi)| + 1 \leq c \forall \xi \in \mathbb{R}^n$ с некоторой постоянной $c > 0$. Тогда мы скажем, что оператор $P(D)$ мощнее оператора $Q(D)$ (многочлен $P(\xi)$ мощнее многочлена $Q(\xi)$) и будем записывать $P > Q$ или $Q < P$. Если многочлены $Q(\xi)$ и $P(\xi)$ удовлетворяют условию $|Q(\xi)|/|P(\xi)| + 1 \rightarrow 0$ при $|\xi| \rightarrow \infty$, то пишем $P \gg Q$ или $Q \ll P$.

Определение 3. (см. [1], Определение 10.3.4) Если $\tilde{Q}(\xi) < \tilde{P}(\xi)$ для операторов $P(D)$ и $Q(D)$, то говорят, что оператор $P(D)$ (многочлен $P(\xi)$) сильнее оператора $Q(D)$ (многочлен $Q(\xi)$) и пишут $Q < P$ или $P > Q$.

Замечание 1. Применяя Теорему 10.4.3 монографии [1], легко убедиться, что 1) $Q < P \Rightarrow Q < P$ 2) если оператор $P(D)$ гипоеллиптивен, то $Q < P \Leftrightarrow Q < P$. Однако, если $P(D)$ не гипоеллиптивен, то эти соотношения, вообще говоря не эквивалентны, в чём легко убедиться на следующем примере

Пример 1. Пусть $n = 2, P(\xi) = \xi_1^3 \xi_2^4 + \xi_1^2 + \xi_2^2, Q(\xi) = \xi_2^4 + \xi_1^2$. Так как $P(t, 1) \rightarrow +\infty$ на последовательности $(t, 0)$ при $t \rightarrow +\infty$ и $P(t, 1) \rightarrow -\infty$ на последовательности $(t, 1)$ при $t \rightarrow -\infty$, то P не гипоеллиптивен. С

другой стороны, так как $|D_1^3 P(\xi)| + |D_2^4 P(\xi)| \geq 6(|\xi_1|^3 + \xi_2^4)$, то $Q < P$. Очевидно, что $Q \not\ll P$, так как, $|Q(0, t)| / (|P(0, t)| + 1) \rightarrow \infty$ при $t \rightarrow \infty$.

Определение 4. ([1], Определение 10.4.4, или [11], Определение 5), Говорят, что многочлен P доминирует над многочленом Q и пишут $Q << P$, если $\sup_{\xi \in \mathbb{R}^n} \tilde{Q}(\xi, t) / \tilde{P}(\xi, t) \rightarrow 0$ при $t \rightarrow \infty$.

В одном частном случае ответ на поставленный нами вопрос содержится в монографии Л.Хёрмандера (см. [1], Следствии 10.4.8), где доказана, что многочлены P и $P + \sigma Q$ имеют одинаковую силу для любого комплексного числа σ тогда и только тогда, когда $Q << P$. Отсюда следует, что если многочлены P гиоеллиптичен и $Q << P$, то для любого σ многочлен $P + \sigma Q$ также гиоеллиптичен.

Мы докажем некоторые предложения, которые относятся возможности добавления многочленов $\{Q\}$ к гипоеллиптическому многочлену P , не нарушая его гипоеллиптичность, когда эти многочлены могут не удовлетворять условию $Q << P$. С этой целью для многочленов P и Q и для числа $\varepsilon > 0$, обозначим $\mathcal{D}_\varepsilon(P, Q) := \{\xi \in \mathbb{R}^n, |Q(\xi)| \geq \varepsilon |P(\xi)|\}$. При этом ниже мы будем пользоваться некоторыми результатами из [1], которые мы объединим в виде

Теорема Н. 1) Если $\sup_{\xi \in \mathbb{R}^n} |Q(\xi)| / \tilde{P}(\xi, t) \rightarrow 0$ при $t \rightarrow \infty$, то $Q << P$, 2) если $Q << P$, то для любого комплексного числа σ $P < P + \sigma Q < P$, 3) если $Q << P$, то $Q < P$, 4) $D^\alpha P << P$ для любого $\alpha \neq 0$, 5) если $Q << P$ и многочлен P гиоеллиптичен, то многочлен $P + \sigma Q$ также гиоеллиптичен для любого комплексного числа σ .

Лемма 1. Многочлен P доминирует над многочленом Q тогда и только тогда, когда для любого $\varepsilon > 0$ существует число $c > 0$ такое, что

$$\frac{|Q(\xi)|}{\tilde{P}'(\xi)} := \frac{|Q(\xi)|}{[\sum_{\alpha \neq 0} |P^\alpha(\xi)|^2]^{\frac{1}{2}}} \leq c \quad \forall \xi \in \mathcal{D}_\varepsilon(P, Q). \quad (1)$$

Покажем, что из (1) следует, что $Q << P$. Согласно первому пункту Теоремы Н, для этого достаточно доказать, что

$$\lim_{t \rightarrow \infty} \sup_{\xi \in \mathbb{R}^n} |Q(\xi)| / \tilde{P}(\xi, t) = 0. \quad (2)$$

Очевидно, для $t \geq 1$, имеем (ниже $d = \text{ord } Q$)

$$\frac{|Q(\xi)|^2}{|P(\xi)|^2 + t^{2d} |P'(\xi)|^2} \leq \frac{|Q(\xi)|^2}{\tilde{P}^2(\xi, t)} \leq \frac{|Q(\xi)|^2}{|P(\xi)|^2 + t^2 |P'(\xi)|^2}$$

Поэтому, чтобы доказать (2), достаточно доказать, что

$$\lim_{t \rightarrow \infty} \sup_{\xi \in \mathbb{R}^n} \frac{|Q(\xi)|^2}{|P(\xi)|^2 + t^2 |\tilde{P}'(\xi)|^2} = 0. \quad (2')$$

Предположим обратное, что существует число $\delta > 0$ и последовательность $\{t_s\}$: $t_s \rightarrow \infty$ при $s \rightarrow \infty$ такие, что

$$\sup_{\xi \in \mathbb{R}^n} \frac{|Q(\xi)|^2}{|P(\xi)|^2 + t_s^2 |\tilde{P}'(\xi)|^2} \geq \delta s = 1, 2, \dots$$

Отсюда и из определения верхней грани следует, что для каждого $s = 1, 2, \dots$ существует точка $\xi^s \in \mathbb{R}^n$ такая, что

$$\frac{|Q(\xi^s)|^2}{|P(\xi^s)|^2 + t_s^2 |\tilde{P}'(\xi^s)|^2} \geq \frac{\delta}{2} s = 1, 2, \dots \quad (3)$$

Следовательно, в свою очередь, $|Q(\xi^s)|^2 \geq \frac{\delta}{2} |P(\xi^s)|^2 s = 1, 2, \dots$, т.е. $\xi^s \in \mathcal{D}_{\sqrt{\frac{\delta}{2}}}(P, Q)$ $s = 1, 2, \dots$. Поэтому, в силу (1) $|Q(\xi^s)| \leq c \cdot (\sqrt{\frac{\delta}{2}})^s |\tilde{P}'(\xi^s)| s = 1, 2, \dots$

Так как $t_s \rightarrow \infty$, отсюда получаем при $s \rightarrow \infty$

$$\frac{|Q(\xi^s)|^2}{t_s^2 |\tilde{P}'(\xi^s)|^2} \leq \frac{c^2 (\sqrt{\frac{\delta}{2}})^{2s}}{t_s^2} \rightarrow 0.$$

Это противоречит (3) и, в силу (2'), доказывает часть леммы, относящейся к достаточности.

Необходимость. Пусть $Q \ll P$. Покажем, что для любого $\varepsilon > 0$ существует число $c = c(\varepsilon) > 0$ такое, что верна оценка (1). Пусть, наоборот $\sup |Q(\xi^s)| / |\tilde{P}'(\xi)| = \infty$,

$$\xi \in \mathcal{D}_{\varepsilon_0}(P, Q).$$

для некоторого $\varepsilon_0 > 0$, т.е. существует последовательность $\xi^s \in \mathcal{D}_{\varepsilon_0}(P, Q)$, такая, что при $s \rightarrow \infty$

$$\tau_s := |Q(\xi^s)| / |\tilde{P}'(\xi)| \rightarrow \infty. \quad (4)$$

Обозначим $t_s := \tau_s^{1/2d}$ и при $s \rightarrow \infty$ (следовательно $t_s \rightarrow \infty$) рассмотрим поведение отношения $|Q(\xi^s)| / |\tilde{P}'(\xi)|$. При $t_s \geq 1$ имеем

$$\begin{aligned} \tilde{Q}^2(\xi^s, t_s) / \tilde{P}^2(\xi^s, t_s) &\geq Q^2(\xi^s) / \tilde{P}^2(\xi^s, t_s) \geq Q^2(\xi^s) / \\ &[|P(\xi^s)|^2 + t_s^{2d} |\tilde{P}'(\xi)|^2] \geq \\ &\frac{1}{|P(\xi^s)/Q(\xi^s)|^2 + t_s^{2d} |\tilde{P}'(\xi)/Q(\xi^s)|^2} = \frac{1}{|P(\xi^s)/Q(\xi^s)|^2 + 1}. \end{aligned}$$

Так как $\xi^s \in \mathcal{D}_{\varepsilon_0}(P, Q)$ ($s = 1, 2, \dots$), при достаточно больших s имеем $\tilde{Q}^2(\xi^s, t_s) / \tilde{P}^2(\xi^s, t_s) \geq \frac{1}{|P(\xi^s)/Q(\xi^s)|^2 + 1} \geq \frac{1}{1 + 1/\varepsilon_0^2} > 0$.

Это противоречит условию $Q \ll P$ и доказывает необходимость.

Лемма 1 доказана. \square

Лемма 2. а) $Q \ll P \Rightarrow Q \ll P$, б) многочлен P является гипоеллиiptическим тогда и только тогда, когда $Q \ll P \Leftrightarrow Q \ll P$.

Доказательство. Первое утверждение очевидно; докажем второе. Пусть наоборот, P гипоеллиiptичен, $Q \ll P$, но существуют число $\varepsilon_0 > 0$ и последовательность $\{\xi^s\}$ такие, что $\xi^s \rightarrow \infty$ при $s \rightarrow \infty$ и

$$|Q(\xi^s)|/[1 + |P(\xi^s)|] \geq \varepsilon_0 \quad (s = 1, 2, \dots). \quad (5)$$

Из (5) немедленно следует, что $\xi^s \in \mathcal{D}_{\varepsilon_0}(P, Q)$ ($s = 1, 2, \dots$). Поэтому, в силу Леммы 1 $|Q(\xi^s)| \leq c(\varepsilon_0) \tilde{P}'(\xi^s)$ ($s = 1, 2, \dots$). Отсюда и из (5) получаем

$$1 + |P(\xi^s)| \leq \frac{1}{\varepsilon_0} c(\varepsilon_0) |\tilde{P}'(\xi^s)| \quad (s = 1, 2, \dots).$$

Полученное неравенство противоречит гипоеллиiptичности P и доказывает необходимость.

Достаточность. Непосредственно следует из пункта 4) теоремы Н. \square
Для многочленов P и Q через $\nabla(P, Q)$ обозначим

$$\nabla(P, Q) := \overline{\lim}_{\xi \rightarrow \infty} \frac{|Q(\xi)|}{|P(\xi)|}$$

Лемма 3. 1) Если $Q < P$, то $Q < P$, 2) если P гипоеллиiptичен, то 2.а) соотношения $Q < P$ и $Q < P$ эквивалентны, 2.б) $\nabla(P, Q) < \infty$.

Доказательство. В силу Теоремы 10.4.1 монографии [1] и условия $Q < P$ леммы, существуют положительные числа c_1 и c_2 такие, что

$$\tilde{Q}(\xi) \leq c_1 \sup_{|\eta| \leq 1} |Q(\xi + \eta)| \leq c_2 \sup_{|\eta| \leq 1} [1 + |P(\xi + \eta)|] \quad \forall \xi \in \mathbb{R}^n.$$

Отсюда, в силу формулы Тейлора, имеем с некоторой постоянной $c_3 > 0$

$$\tilde{Q}(\xi) \leq c_2 \sup_{|\eta| \leq 1} [1 + \sum_{\alpha} \frac{P^{(\alpha)}(\xi) \eta^\alpha}{\alpha!}] \leq c_2 [1 + \sum_{\alpha} |P^{(\alpha)}(\xi)|] \leq c_3 \tilde{P}(\xi) \quad \forall \xi \in \mathbb{R}^n,$$

что доказывает первый пункт леммы.

Для доказательства пункта 2.а) достаточно доказать, что из $Q < P$ следует $Q < P$.

Из определения функции \tilde{Q} и из гипоеллиiptичности многочлена P имеем с некоторыми положительными постоянными c_4 и c_5

$$|Q(\xi)| \leq \tilde{Q}(\xi) \leq c_4 \tilde{P}(\xi) \leq c_5 [1 + |P(\xi)|] \quad \forall \xi \in \mathbb{R}^n, \quad (6)$$

что доказывает пункта 2.а).

Для доказательства пункта 2.б) достаточно иметь в виду доказанное неравенство (6) и заметить, что для гипоеллиiptического многочлена P существует

постоянная $c_6 > 0$ такая, что $|P(\xi) + 1| \leq c_6 |P(\xi)|$ для достаточно больших $|\xi|$, поэтому

$$\nabla(P, Q) := \overline{\lim}_{\xi \rightarrow \infty} \frac{|Q(\xi)|}{|P(\xi)|} \leq \overline{\lim}_{\xi \rightarrow \infty} \frac{c_5 [|P(\xi)| + 1]}{|P(\xi)|} \leq c_6,$$

что доказывает лемму. \square

Лемма 4. 1) Пусть $R \ll Q$ и $Q < P$, тогда $R \ll P$, 2) если P гипоеллиптичен и $Q < P$ (что по Лемме 3 эквивалентно $Q < P$), то $D^\alpha Q \ll P$ для всех $0 \neq \alpha \in \mathbb{N}_0^n$.

Доказательство первого пункта. В силу уже упомянутой Теоремы 10.4.1 монографии [1] и условия $< P$ леммы, существуют положительное число c_1 такое, что $\tilde{Q}(\xi, t) \leq c_1 \hat{P}(\xi, t)$ для всех $\xi \in \mathbb{R}^n$ и $t > 0$. Так как $R \ll Q$, то отсюда получаем при $t \rightarrow \infty$

$$0 \leq \sup_{\xi \in \mathbb{R}^n} \frac{\tilde{R}(\xi, t)}{\tilde{P}(\xi, t)} \leq \frac{1}{c_1} \sup_{\xi \in \mathbb{R}^n} \frac{\tilde{R}(\xi, t)}{\tilde{Q}(\xi, t)} \rightarrow 0 \implies R \ll P.$$

Для доказательства второго пункта, отметим, что, вследствие того, что $D^\alpha Q \ll Q$ для любого $0 \neq \alpha \in \mathbb{N}_0^n$ (см. пункт 4 Теоремы Н) и $Q < P$, из доказанного первого пункта настоящей леммы следует, что $D^\alpha Q \ll P$. А так как P гипоеллиптичен, то из пункта б) Леммы 2 следует, что $D^\alpha Q \ll P$ для указанных α . \square

Лемма 5. Пусть P гипоеллиптичен, и $Q < P < Q$. Тогда Q также гипоеллиптичен.

Доказательство. Так как $Q < P$, то в силу Леммы 4 $D^\alpha Q \ll P$ для всех $0 \neq \alpha \in \mathbb{N}_0^n$. С другой стороны, так как $P < Q$, то отсюда немедленно следует, что $D^\alpha Q \ll Q$ для тех же α , т.е. многочлен Q гипоеллиптичен. \square

3. Добавление младших членов к гипоеллиптическому оператору, сохраняющих его

Гипоеллиптичность

Теорема 1. Пусть многочлен P (с, вообще говоря, комплексными коэффициентами) гипоеллиптичен и $Q < P$. Тогда 1) если $\nabla(P, Q) = 0$, то для любого $\sigma \in \mathbb{C}$ многочлен $P + \sigma Q$ гипоеллиптичен,

2) если $\nabla(P, Q) > 0$, то для любого $\sigma \in \mathbb{C} : |\sigma| < 1/\nabla(P, Q)$ $P + \sigma Q$ гипоеллиптичен.

Доказательство. Так как P гипоеллиптичен, то при рассмотрении пункта 1), мы можем полагать, что $\sigma \neq 0$. Пусть $0 \neq \sigma \in \mathbb{C}$. Докажем, что многочлен $P + \sigma Q$ гипоеллиптичен. Так как $P \in \mathbb{I}_n$ и $\nabla(P, Q) = 0$, то для достаточно

больших $|\xi|$ выражение $Q(\xi) / P(\xi)$ становится сколь угодно малым, поэтому существует число $M = M(\sigma) > 0$ такое, что $P(\xi) \neq 0$ при $|\xi| \geq M$ и $|Q(\xi) / P(\xi)| \leq \frac{1}{2} |\sigma| \forall \xi \in \mathbb{R}^n, |\xi| \geq M$. Следовательно, при $|\xi| \geq M$ имеем

$$\begin{aligned} |P(\xi) + \sigma Q(\xi)| &\geq |P(\xi)| - |\sigma| |Q(\xi)| = \\ |P(\xi)| \left[1 - |\sigma| \frac{|Q(\xi)|}{|P(\xi)|} \right] &\geq \frac{1}{2} |P(\xi)|. \end{aligned} \quad (7)$$

Так как по Теореме Н $D^\alpha Q \ll Q$ для любого $\alpha \neq 0$, и по условию нашей теоремы $Q \ll P$, то $D^\alpha Q \ll P$ и, по Лемме 2, $D^\alpha Q \ll P$ для тех же α .

Таким образом, по гипоеллиптичности многочлена P и по оценке (7) при $|\xi| \rightarrow \infty$ имеем для любого $\alpha \neq 0$

$$\left| \frac{D^\alpha [P(\xi) + \sigma Q(\xi)]}{P(\xi) + \sigma Q(\xi)} \right| \leq \frac{|D^\alpha [P(\xi)]| + |\sigma| |D^\alpha Q(\xi)|}{\frac{1}{2} |P(\xi)|} \rightarrow 0.$$

Это доказывает утверждение первого пункта теоремы. Обратимся к доказательству второго пункта. Пусть $\sigma \in \mathbb{C} : |\sigma| < 1 / \nabla(P, Q)$ и число $\varepsilon > 0$ выбрано так, чтобы

$$|\sigma| [\nabla(P, Q) + \varepsilon] < 1 \quad (8)$$

По определению числа $\nabla(P, Q)$ и по гипоеллиптичности многочлена P , существует число $M = M(\varepsilon) \geq 0$ такое, что $P(\xi) \neq 0, |Q(\xi) / P(\xi)| < \varepsilon + \nabla(P, Q)$ и для всех $\xi : |\xi| \geq M$. Поэтому, применяя неравенство (8), имеем при $|\xi| \geq M$

$$\begin{aligned} |P(\xi) + \sigma Q(\xi)| &\geq |P(\xi)| - |\sigma| |Q(\xi)| \geq |P(\xi)| \left[1 - |\sigma| \frac{|Q(\xi)|}{|P(\xi)|} \right] \\ &\geq [1 - |\sigma| [\nabla(P, Q) + \varepsilon]] |P(\xi)|. \end{aligned}$$

Имея в виду гипоеллиптичность многочлена P и тот факт, что по уже доказанной части настоящей теоремы для любого $\alpha \neq 0, D^\alpha P \ll P, D^\alpha Q \ll P$, отсюда имеем при $\xi \rightarrow \infty$

$$\left| \frac{D^\alpha [P(\xi) + \sigma Q(\xi)]}{P(\xi) + \sigma Q(\xi)} \right| \leq \frac{|D^\alpha [P(\xi)]| + |\sigma| |D^\alpha Q(\xi)|}{\{1 - |\sigma| [\nabla(P, Q) + \varepsilon]\} |P(\xi)|} \rightarrow 0.$$

Теорема 1 доказана. \square

Для многочленов с вещественными коэффициентами получается следующий (окончательный) результат

Теорема 2. Пусть P и Q многочлены с вещественными коэффициентами, P гипоеллиптичен и $ord Q < ord P$. Для того, чтобы для всех вещественных чисел σ много многочлены $P + \sigma Q$ были гипоеллиптическими необходимо и достаточно условие $\nabla(P, Q) = 0$.

Доказательство. Достаточность. Пусть $\nabla(P, Q) = 0$. Так как из гипоеллиптичности P следует, что $P \in I_n$, то из условия $\nabla(P, Q) = 0$ следует, что для любого $\sigma \in \mathbb{R}$ существует число $M = M(P, Q, \sigma) > 0$ такое, что $P(\xi) \neq 0$ и $|\sigma Q(\xi)| \leq \frac{1}{2} |P(\xi)|$ для всех $\xi \in \mathbb{R}^n: |\xi| \geq M$. Поэтому при $|\xi| \geq M$ имеем $\frac{3}{2} |P(\xi)| \geq |P(\xi) + \sigma Q(\xi)| \geq \frac{1}{2} |P(\xi)|$, т.е. $P < P + \sigma Q < P$. Отсюда в силу Леммы 5 получаем, что многочлен $P + \sigma Q$ гипоеллиптичен для любого $\sigma \in \mathbb{R}$.

Необходимость. Покажем, что при условиях теоремы $\nabla(P, Q) = 0$. Предположим обратное, что $\nabla(P, Q) > 0$. В силу определения числа $\nabla(P, Q)$, существует последовательность $\{\xi^s\}_{s=1}^{\infty}$ такая, что $\xi^s \rightarrow \infty$ и $|Q(\xi^s) / P(\xi^s)| \rightarrow \nabla(P, Q)$ при $s \rightarrow \infty$. Так как функции P и Q вещественны, то существует подпоследовательность последовательности $\{\xi^s\}_{s=1}^{\infty}$ (которую также обозначим через $\{\xi^s\}_{s=1}^{\infty}$), для которой либо 1) $Q(\xi^s) / P(\xi^s) \rightarrow +\nabla(P, Q)$ либо $Q(\xi^s) / P(\xi^s) \rightarrow -\nabla(P, Q)$.

Пусть $\sigma \in \mathbb{R}, |\sigma| > 1 / \nabla(P, Q)$, при этом $\sigma < 0$ в случае 1) и $\sigma > 0$ в случае 2). Тогда существует число $M_1 > 0$ такое, что при $s \geq M_1$ $\sigma Q(\xi^s) / P(\xi^s) < -1$. В этом случае, в силу того, что $P \in I_n$, при $s \geq M_1$ имеем

$$P(\xi^s) + \sigma Q(\xi^s) = P(\xi^s) [1 + \sigma Q(\xi^s) / P(\xi^s)] < 0. \quad (9)$$

Так как $\text{ord } Q < \text{ord } P$, то $\lim_{\xi \rightarrow \infty} \frac{|Q(\xi)|}{|P(\xi)|} = 0$, следовательно для любого s существует точка

$\eta^s \in \mathbb{R}^n: |\eta^s| \geq |\xi^s|$ такая, что $Q(\eta^s) / P(\eta^s) \rightarrow 0$. Отсюда и из условия $P \in I_n$ следует существование числа $M_2 > 0$ такого, что при всех $s \geq M_2$

$$P(\eta^s) + \sigma Q(\eta^s) = P(\eta^s) [1 - \sigma Q(\eta^s) / P(\eta^s)] > 0. \quad (10)$$

В силу непрерывности многочлена $P + \sigma Q$ из (9) – (10) следует, что для любого $s \geq \max\{M_1, M_2\}$ существует точка $\tau^s \in \mathbb{R}^n, |\tau^s| \geq |\xi^s|$: такая, что $P(\tau^s) + \sigma Q(\tau^s) = 0$. Это противоречит гипоеллиптичности многочлена $P(\xi) + \sigma Q(\xi)$ и доказывает теорему. \square

Работа выполнена в рамках программы НИЛ РАУ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Хёрмандер Л. Анализ линейных дифференциальных операторов с частными производными. Том 1, 2.
2. Malgrange B. Sur une class d'operateurs differentiels hypoelliptiques. Bull. Math. France, 85, 283 – 306, 1957.
3. Treves F. Operateurs differentiels hypoelliptiques. Ann.Inst. Fourier (Grenoble), 9, 1 – 73, 1959.
4. Pini B. Osservazioni sulla ipoellitticita. Boll. Unione Mat. Ital., ser III, 18 (4), 420 433, 1963.

5. *Cattabriga L.* Su una classi di polinomi ipoellitici. Rendiconti del Seminario Matematico della Universita Padova, 36, 385 – 309, 1966.
6. *Friberg J.* Milti – quasielliptic Polynomials. Annali della Scuola Normale di Pisa, 21, no.3, 239 -260, 1967.
7. *Վօլևիչ Լ.Ք., Գինդիկին Շ.Գ.* Օբ օդոմ կլասսե դիպօէլլիպտիշեսուի սօլինօմօվ. Մոտ. ՇՅ. Դ.75, ոո.3, 400 – 416, 1967.
8. *Գրուշին Յ.Յ.* Օբ օդոմ կլասսե դիպօէլլիպտիշեսուի օրոգոտօրօվ. Մոտ. ՇՅ. 83 (3), 456 – 473, 1970.
9. *Կոզոյոյն Գ.Գ.* Օբ օդոմ կլասսե դիպօէլլիպտիշեսուի սօլինօմօվ. Իշվ. ԱՆ Արմ. ՇՇՔ, Մոտ., Դ.9, ոո. 3, 189 – 211, 1974.
10. *Կոզոյոյն Գ.Գ.* Օ օդօվոլուրի մլոդշիշ շուրուր ք դիֆֆերենշիոնոլնոլ սօլինօմօմ. Իշվ. ԱՆ Արմ. ՇՇՔ, Մոտ., Դ.9, ոո. 6, 473 - 485, 1974.
11. *Կոզոյոյն Գ.Գ., Մոզոյոյն Յ.Ն.* Կրիտերի դիպօէլլիպտիշեսուի շերմինոլնօ մօշնօշի ու սիլոլ օրոգոտօրօվ. Կրուդոլ ՄԻԱՆ ՇՇՇՔ, 150, 128 – 142, 1979.
12. *Մոզոյոյն Յ.Ն.* Ըօվոլոլուրի մլոդշիշ շուրուր, սօհրոյոյնօյն դիպօէլլիպտիշեսուի օրօգոտօրօվ. Իշվ. ՆԱՆ Արմենիի, Մոտ., 15, ոո. 6, 443 - 460, 19780.
13. *Bouchut F.* Hypoelliptic regularity in kinetic equations. Journal de Math. Pure et APP., 81, Issue 11, 1135 – 1159, November, 2002.
14. *Chaleyat Maurel M.* La condition d’hypoellipticity d’Hormander. Asterisque, 84 – 85, 189, 2020
15. *Կոզոյոյն Գ.Գ.* Օ սօշի դիպօէլլիպտիշեսուի մնօգօշուոնոլ, Վոզրոստոյնօյն ոոլ Բեշոնօնօշեսուի. Իշվ. ՆԱՆ Արմենիի, Մոտ. Դ.46, ոո. 6, 11 – 39, 2011.

ABSTRACT

Necessary and sufficient conditions are obtained so that adding a lower term $Q(D)$ to a given degenerate hypoelliptic operator $P(D)$ does not violate its hypoellipticity. That is, so that 1) the characteristic polynomials P and $P + Q$ have the same cardinality or the same strength (according to L. Hormander), 2) the polynomial $P + Q$ is also hypoelliptic.

Keywords: hypoelliptic differencial operator (polynomial), cardinality, strength (according to L. Hormander) of polynomial.

ԱՍՓՈՓՈՒՄ

Ստոցվոլծ են անհրոլծեշտ ու բոլոլարոյր սոյոլմոնոնտր, ոյրոլտոզի տվոլծ վտրոստտրվոդ հիսյոնտիլիսոլտոկոն $P(D)$ օսյտրոստտրին $Q(D)$ կրոստտր անոլոլմի սովտլոցոլմոնր չիսոլիտի սոյոլ օսյտրոստտրի հիսյոնտիլիսոլտոկոնոլոյոյնոնր: Այսինքն արոլտոզի 1) $P(\xi)$ ու $P(\xi) + Q(\xi)$ բոլզմոնոլոլմոնտրն ոննտնոն մինոնոյն հզոյոյոյոյնոնր կոլմ մինոնոյն ոլժոն (ոլստ Լ. Չյոյոյմոնոլտրի), 2) $P(\xi) + Q(\xi)$ բոլզմոնոլոլմոնտրն ոնոյնոլտոլտոլ լինի հիսյոնտիլիսոլտոկոնոլ:

Չիմոնարոլոնտր՝ հիսյոնտիլիսոլտոկոն ոլիֆտրտնցիոլ օսյտրոստտր (բոլզմոնոլոլմոնտր), բոլզմոնոլոլմոնտրի հզոյոյոյնոյն (ոլժ ոլստ Լ. Չյոյոյմոնոլտրի):

ON ANTIMAGIC EDGE COLORINGS OF CERTAIN GRAPHS

H. Mikaelyan

*Yerevan State University
hamletm2000@gmail.com*

ABSTRACT

For a given graph G and a proper edge t -coloring α defined on G , denote by $Sum_G(v, \alpha)$ the sum of colors of edges neighboring v , where $v \in V(G)$. In that case, α is called an antimagic edge t -coloring of graph G , if for every pair of distinct vertices $v_1, v_2 \in V(G)$, $Sum_G(v_1, \alpha) \neq Sum_G(v_2, \alpha)$. The set of graphs G , for which there exists some t , such that G admits an antimagic edge t -coloring, is denoted by \mathcal{AM} . For any graph $G \in \mathcal{AM}$, denote by $\omega_{am}(G)$ the least positive integer t , for which G admits an antimagic edge t -coloring, and by $\Omega_{am}(G)$ the biggest integer t , for which G admits an antimagic edge t -coloring. In this paper we obtain some estimations and some exact results on $\omega_{am}(G)$ and $\Omega_{am}(G)$ for wheels, some Halin graphs, simple cycles and complete graphs.

Keywords: edge-coloring, antimagic edge-coloring.

Introduction

Throughout the paper all graphs are finite, undirected, simple and connected. Let $V(G)$ and $E(G)$ denote the sets of vertices and edges of G , respectively. For $v \in V(G)$, $N_G(v)$ is defined as the set of neighbors of v : $N_G(v) = \{u \mid uv \in E(G)\}$. All the terms and concepts that are not defined in this paper can be found in [12, 13].

A proper edge t -coloring of a graph G is a surjective mapping $\alpha : E(G) \rightarrow \{1, 2, \dots, t\}$ such that $\alpha(e) \neq \alpha(e')$ for any pair of adjacent edges $e, e' \in E(G)$. We denote $Sum_G(v) = \sum_{u \in N_G(v)} \alpha(uv)$. A proper edge t -coloring of a graph G , for which all the values $Sum_G(v)$, $v \in V(G)$ are distinct, is called an antimagic edge t -coloring. If graph G admits antimagic edge $|E(G)|$ -coloring, then G is called an antimagic graph.

In 1990, Hartsfield and Ringel conjectured the following:

Conjecture [9]. All simple connected graphs except for K_2 are antimagic.

Interestingly, the conjecture is still open even for trees. However, the conjecture has undergone numerous researches. Here are some significant results: trees without vertices of degree 2 are antimagic [10]; graphs with minimum degree being greater or equal to $c \cdot \log|V(G)|$ (where c is a universal constant), graphs with maximum degree being greater or equal to $|V(G)| - 2$, graphs with average degree being at least universal constant are antimagic [1, 8]; k -regular graphs ($k \geq 2$) and their Cartesian products are antimagic [3, 4, 5, 7]; simple cycles, paths with length greater than 1, complete graphs with number of vertices greater than 2 are antimagic [2, 6, 9, 11].

The conjecture above has been formulated by the authors in the terms of edge labelings (assignments of edges to numbers $1, 2, \dots, |E(G)|$). This paper offers to consider more generalized problem taking into account that edge labeling is a particular case of edge coloring.

Thus, we introduce a class of graphs \mathcal{AM} which contains graphs G for which there exists some integer t , such that G admits antimagic edge t -coloring. Then, for any graph $G \in \mathcal{AM}$, we denote by $\omega_{am}(G)$ the least positive integer t , for which G admits antimagic edge t -coloring, and by $\Omega_{am}(G)$ the biggest integer t , for which G admits antimagic edge t -coloring. It turns out, that if the conjecture is true, then \mathcal{AM} consists of all graphs except for K_2 , and for each of those graphs, $\Omega_{am}(G) = |E(G)|$.

Let us consider these particular types of graphs: simple cycles, complete graphs, wheels, and Halin graphs. The following 2 theorems are presented as exercises in [9], and can be derived also from theorems in [1], [3], [4], [6].

Theorem 1: For any integer $n \geq 3$, $C_n \in \mathcal{AM}$ and $\Omega_{am}(C_n) = n$.

Theorem 2: For any integer $n \geq 3$, $K_n \in \mathcal{AM}$ and $\Omega_{am}(K_n) = \frac{n(n-1)}{2}$.

Let n be an integer number greater or equal to 4. We call $W_n = K_1 + C_{n-1}$ as wheel of n vertices. A graph $H = T \cup C$, where T is a tree without vertex of degree 2 and C is a simple cycle consisting of the leaves of T , is called a Halin graph. If T is a double star, and each star has n leaves ($n \geq 2$), then we will denote the Halin graph as H_n .

In this paper we consider $\omega_{am}(G)$ and $\Omega_{am}(G)$ parameters for types of graphs mentioned above and obtain some results on their exact values, or lower and upper bounds.

Main results

Lemma: Let G is a graph in \mathcal{AM} . Let for some d ($1 \leq d \leq \Delta(G)$), n_d is the number of vertices with degree d in G . In that case, $\omega_{am}(G) \geq \left\lceil \frac{n_d - 1}{d} \right\rceil + d$.

We use the lemma above as the main lower bound for $\omega_{am}(G)$ parameter in the following theorems. For the upper bound of $\omega_{am}(G)$ as well as for the lower bound of $\Omega_{am}(G)$ parameter we prove the results by constructing respective examples.

Theorem 3: For any integer $n \geq 4$, $W_n \in \mathcal{AM}$ and

$$\omega_{am}(W_n) = \begin{cases} 5, & \text{if } n = 4 \\ n - 1, & \text{if } n \geq 5 \end{cases}$$

Theorem 4: For any integer $n \geq 4$, $\Omega_{am}(W_n) = |E(W_n)| = 2n - 2$.

The two theorems above show that the wheel graph W_n (for $n \geq 4$) is an antimagic graph and we have found the exact values for the parameters $\omega_{am}(G)$ and $\Omega_{am}(G)$ of this type of graph.

Theorem 5: For any integer $n \geq 2$, $H_n \in \mathcal{AM}$ and

$$\omega_{am}(H_n) = \begin{cases} 5, & \text{if } n = 2 \\ n + 2, & \text{if } n \geq 3 \end{cases}$$

Theorem 6: For any integer $n \geq 2$, $\Omega_{am}(H_n) = |E(H_n)| = 4n + 1$.

The two theorems above show that the graph H_n ($n \geq 2$) is an antimagic graph and we have found the exact values for the parameters $\omega_{am}(G)$ and $\Omega_{am}(G)$ of this type of graph.

Theorem 7: If $n \geq 3$ is an odd number, then $\omega_{am}(K_n) = n$.

Theorem 8: If $n \geq 4$ is an even number, and if $\nexists k \in \mathbb{Z}$, such that $n = 6k + 2$, then $\omega_{am}(K_n) = n + 1$.

Theorem 9: If $n = 6k + 2$, $k > 0$, $k \in \mathbb{Z}$, then $\omega_{am}(K_n) \leq n + 2$.

Interesting fact here is that for complete graphs with $n = 6k + 2$ vertices, finding the solution is more difficult, and if we take $k = 0$, then $K_n = K_2$ which is not an antimagic graph. So perhaps the counter-example for the conjecture should be searched within the graphs where number of vertices is $6k + 2$.

Theorem 10: For any integer $n \geq 3$,

$$\omega_{am}(C_n) = \begin{cases} \frac{n+4}{2}, & \text{if } n = 2k, k \geq 2, k \in \mathbb{Z} \\ \frac{n+5}{2}, & \text{if } n = 4k+1, k \geq 1, k \in \mathbb{Z} \\ \frac{n+3}{2}, & \text{if } n = 4k+3, k \geq 0, k \in \mathbb{Z} \end{cases}$$

REFERENCES

1. Alon N., Kaplan G., Lev A., Roditty Y. and Yuster R. Dense graphs are antimagic, *J. Graph Theory* 47 (2004). PP. 297–309.
2. Beck M. and Farahmand M. Partially Magic Labelings and the Antimagic Graph Conjecture. *Seminaire Lotharingien de Combinatoire 78B* (2017), Article 86, 11p.
3. Bérczi K., Bernáth A. and Vizer M. Regular graphs are antimagic, *The Electronic Journal of Combinatorics*, 22, 2015.
4. Chang F., Liang Y.-C., Pan Z. and Zhu X. Antimagic labeling of regular graphs, *J. Graph Theory*, 82 (2016). PP. 339–349.
5. Cheng Y. A new class of antimagic Cartesian product graphs, *Discrete Math.*, 308 (2008). PP. 6441–6448.
6. Cheng Y. Lattice grids and prisms are antimagic, *Theoretical Computer Science* 374 (2007). PP. 66–73.
7. Cranston D., Liang Y.-C. and Zhu X. Regular graphs of odd degree are antimagic, *J. Graph Theory* 80 (2015). PP. 28–33.

8. Eccles T. Graphs of large linear size are antimagic, J. Graph Theory, 81 (2016). PP. 236–261.
9. Hartsfield N. and Ringel G. Pearls in Graph Theory, Academic Press, INC., Boston, 1990, pp. 108–109, Revised version, 1994.
10. Kaplan G., Lev A. and Roditty Y. On zero-sum partitions and anti-magic trees, Discrete Math., 309 (2009). PP. 2010–2014.
11. Wang T.-M. Toroidal grids are anti-magic, Computing and combinatorics, Lecture Notes in Comput. Sci., 3595, Springer, Berlin (2005), PP. 671–679.
12. West D.B. Introduction to Graph Theory, Prentice-Hall, New Jersey, 2001.
13. Պետրոսյան Պ.Ա., Մկրտչյան Վ.Վ., Քամալյան Ռ.Ռ. Գրաֆների տեսություն, ռուսերեն. ձեռն., Եր., ԵՊՀ հրատ., 2015:

ОБ АНТИМАГИЧЕСКИХ РЕБЕРНЫХ РАСКРАСКАХ НЕКОТОРЫХ ГРАФОВ

Г. Микаелян

*Ереванский Государственный университет
hamletm2000@gmail.com*

АННОТАЦИЯ

Для данного графа G и приведенной на нем правильной реберной t -раскраски α , обозначим через $Sum_G(v, \alpha)$ сумму цветов ребер инцидентных вершине $v \in V(G)$. Тогда α называется антимагической реберной t -раскраской графа G , если для каждой пары различных вершин $v_1, v_2 \in V(G)$, $Sum_G(v_1, \alpha) \neq Sum_G(v_2, \alpha)$. Множество графов G , для которых существует некоторое целое число t такое, что G допускает антимагическую реберную t -раскраску, обозначается через \mathcal{AM} . Для произвольного графа G из множества \mathcal{AM} , обозначим через $\omega_{am}(G)$ наименьшее положительное целое число t , для которого G допускает антимагическую реберную t -раскраску, а через $\Omega_{am}(G)$ наибольшее целое число t , для которого G допускает антимагическую реберную t -раскраску. В данной работе найдены некоторые оценки и некоторые точные результаты параметров $\omega_{am}(G)$ и $\Omega_{am}(G)$ для колес, некоторых Халин графов, простых циклов и полных графов.

Ключевые слова: реберная раскраска, антимагическая реберная раскраска.

IDENTIFICATION OF PREDICTORS AND CHARACTERISTICS OF ATRIAL FIBRILLATION IN PATIENTS UNDERGOING ISCHEMIC HEART DISEASE AND ARTERIAL HYPERTENSION

Ch. Movsisyan¹, S. Agaian², S. Grigoryan³, A. Darbinyan⁴, A. Fahradyan⁵

¹Russian Armenian University

²The City University of New York/CSI

³YSMU named M. Heracy

⁴RussianArmenian University

⁵RussianArmenian University

movchinar@gmail.com, sos.agaian@csi.cuny.edu, s.grigoryan@interdiagnostika.com, arman.darbinyan@rau.am, armanfahradyan02@gmail.com

ABSTRACT

Atrial fibrillation (AF) is the most common sustained arrhythmia, which causes significant morbidity and mortality of millions of individuals, mainly from an embolic stroke. Practitioners are faced with the fact that the combination of AF and cardiovascular disease is characterized by a severe course. Identification of the risk factors and predictors of the occurrence of AF, in all likelihood, will help to carry out timely prevention in this group of patients, thereby helping to reduce the likelihood of AF in patients who have undergone ischemic heart disease and arterial hypertension. The aim of this study is to identify risk factors and predictors that contribute to the onset of AF in ischemic heart disease and arterial hypertension patient.

Keywords: Atrial Fibrillation, Logistic Regression, Risk Predictors, Pearson Correlation, P-values

1 Introduction

Atrial fibrillation (AF) is the most frequent sustained cardiac arrhythmia in clinical practice and its prevalence is increasing, due to the aging population, altered lifestyle habits and increasing levels of adiposity. Over 33.5 million people worldwide are currently diagnosed with AF [1–2]. It can form blood clots and lead to strokes, heart failure and other cardiovascular complications. AF is becoming more mainstream when the patients have other related cardiovascular problems. The association of AF with ischemic heart disease and hypertension is frequent. Practitioners are faced with the correlation of structural-functional features with some markers of inflammation and fibrosis, as well as some factors involved in the occurrence and development of atrial fibrillation and progression.

The objective of this paper is to identify the risk predictors and features that contribute to the onset of AF in ischemic heart disease and arterial hypertension patients.

2 Proposed Methods

The overall method consists of two main parts:

- a. Expert-driven feature selection using Pearson Correlation (PC) coefficients
- b. Identification of risky predictors (features) using p-value statistics based on the Generalized Linear Model (GLM)

General workflow can be seen in Figure 2.1.



Figure 2.1 General workflow of proposed method.

Usually we have information about many parameters of the patient's clinical characteristics, but some parameters may contain similar information about the patient or in other words may be correlated. This can prevent us from getting good results. Hence we want to exclude correlated features.

First, we compute the PC coefficients of feature columns in our dataset to understand the relationship and linear dependence between each pair of predictors [3–4]. After choosing a sensible threshold for defining whether two columns are correlated or not, we select not correlated features based on the defined threshold. This part of the problem is similar to the well-known problem of independent set [7], where it is obvious that we choose all isolated nodes (those that have degree zero), whereas it is not so clear which are selected from the rest of the nodes. Luckily we have a solution to this problem in our case. A Medical expert identifies the most important and valuable predictors from the rest of the features and also corrects some inaccurate selections.

Then we collect all selected features and now want to identify those which contribute the progression of AF most. For that reason we use p-value statistics based on the GLM. The threshold for p-values is set to 0.05 [5–6]. One of the advantages of this technique is that we get individual contributions on progression of the disease of every feature separately. Thus, we can compare the risk factors of our predictors.

3 Source of data

We observed 257 patients with IHD and AH hospitalized in the department of cardiac arrhythmias of the Research Institute of Cardiology in Armenia or were examined on an outpatient basis. Of the total group of patients examined, the study to

determine the stratification of risk factors for progression of AF included 213 patients with paroxysmal, persistent, and permanent forms of AF (classification ESC 2016, 2020). 44 patients with AH and IHD but without AF similar in gender and age, were examined as a control group.

For further examination, 213 patients with 3 forms of AF were considered as Positive AF and the rest patients (control group) as Negative AF.

4 Results

A. Expert driven clinical characteristics analysis

Our initial dataset has information about 257 patients based on 27 demographic, clinical and laboratory characteristics (features). Description is shown in Table 4.1. As was mentioned above, we compute PC coefficients of all possible pairs of features and select not correlated ones. The PC coefficient matrix is shown in Figure 4.1. As a result the following features were considered important and useful: *Age, TNF-alpha, TGF-beta1, IL-6, Diastolic blood pressure, IHD, MI, BMI, LAV, LV EDD, LV PWD, LVWT, EF, CRP.*

Table 4.1 *Clinical parameters (mentioned as features) of patients:*

Clinicopathologic factors	Groups (n = 257)
Gender	
Female	121
Male	136
Hypertensive crisis	
Yes	127
No	130
TIA	
Yes	55
No	202
IHD	
Yes	225
No	32
MI	
Yes	61
No	196
Age (years)	59.09 ± 6.11
Systolic blood pressure	161.98 ± 8.05
Diastolic blood pressure	96.71 ± 6.46
Pulse	89 ± 11.16
HF	0.88 ± 0.81
QRS	102.53 ± 10.58
BMI	30.54 ± 1.96
LAD	40.21 ± 3.13
LAV	65.37 ± 10.81
LV EDD	54.19 ± 2.25
LV EVD	112.76 ± 9.11
LV ESV	48.53 ± 9.58
IVST	12.7 ± 1.3
LV PWD	12.02 ± 0.97
LVWT	0.46 ± 0.02
EF	48.41 ± 2.8
PAP	25.91 ± 7.2
FIBR	13.19 ± 2.23
CRP	4.36 ± 1.85
IL-6	26.57 ± 11.58
TNF-alpha	0.43 ± 2.82
TGF-beta1	708.25 ± 220.0

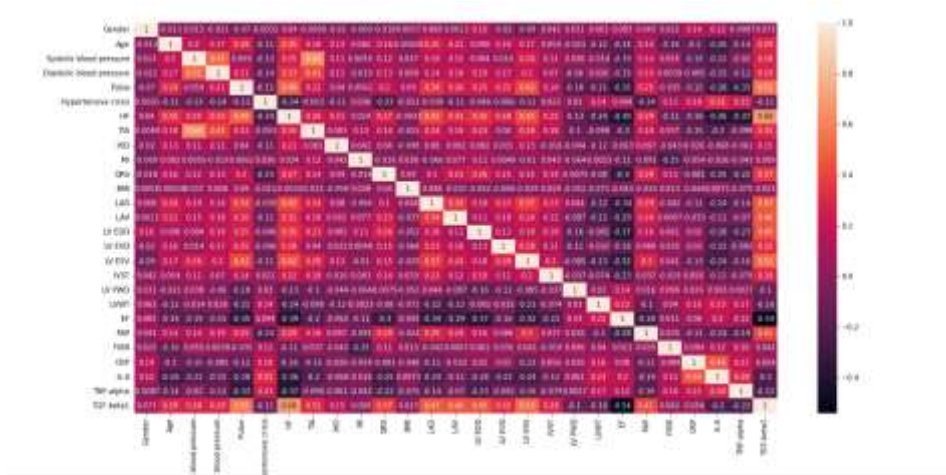


Figure 4.1 Pairwise PC correlation matrix of features:

B. Feature generation by statistical analysis

The next step is to identify most essential and valuable features from already chosen ones. Those have an impact in understanding whether a patient has AF or not. Using logistic regression enables us to highlight those predictors (features) which contribute most in progression of AF. More precisely we select those features whose p-values are lower than the defined threshold (0.05 in our case). P-values and some other information about our fitted model can be seen in Figure 4.2. After these steps we get the following five features: *Age*, *TNF-alpha*, *TGF-beta1*, *IL-6*, *Diastolic blood pressure*. As was mentioned above, we can compute and compare contributions of each feature on progression of disease. The results of that experiment can be seen in Figure 4.3. There are plotted the curves of odds in logarithmic scale depending on each feature separately. And we can see that as the risk predictor's value increases, the risk of progression of AF also increases.

	coef	std err	z	P> z	[0.025	0.975]
LWV	0.1184	0.192	0.576	0.565	-0.265	0.486
LV PwD	0.1493	0.188	0.795	0.426	-0.219	0.517
BMI	0.1157	0.184	0.630	0.529	-0.244	0.475
MI	-0.3448	0.193	-1.789	0.074	-0.723	0.033
IHD	-0.2245	0.197	-1.142	0.253	-0.610	0.161
Age	-0.4968	0.209	-2.380	0.017	-0.906	-0.088
LV EDD	0.1694	0.215	0.789	0.430	-0.251	0.590
CRP	-0.1086	0.204	-0.533	0.594	-0.508	0.290
TNF-alpha	0.5894	0.210	2.812	0.005	0.179	1.000
TGF-beta1	1.8810	0.340	5.525	0.000	1.214	2.548
IL-6	0.9462	0.243	3.889	0.000	0.469	1.423
Diastolic blood pressure	-0.4432	0.198	-2.239	0.025	-0.831	-0.055
LAV	0.3322	0.217	1.530	0.126	-0.093	0.758
EF	-0.3094	0.232	-1.332	0.183	-0.765	0.146

Figure 4.2 Summary of our fitted logistic regression model (p-values, weights, etc.).

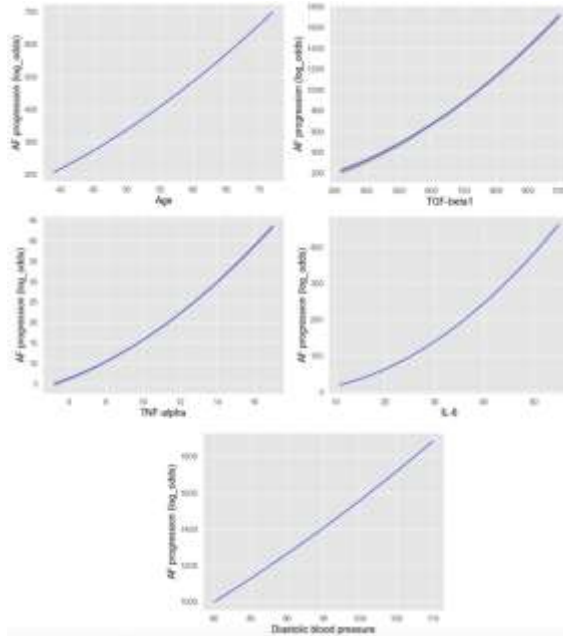


Figure 4.3 Curves of AF progression depending on Age, TNF-alpha, TGF-beta1, IL-6, Diastolic blood pressure.

5 Discussion

AF and related cardiovascular problems are crucial for the world's whole population. Even though the disease has existed for ages, we still miss the comprehensive framework that can deal with the identification of risk predictors that are most important for disease progression. Our results showed the proper implication between the identified risk factors and AF disease progression. Based on the expert-driven Pearson Correlation analysis approach the highly dependent parameters were eliminated. Next, risk factors have been identified using Generalized Linear Model having doctor authority. Those are Age, Diastolic blood pressure, TNF-alpha, TGF-beta1, IL-6.

REFERENCES

1. *Michiel H. Poorthuis, et al.*, Utility of risk prediction models to detect atrial fibrillation in screened participants, in *European Journal of Preventive Cardiology*, Volume 28, Issue 6, June 2021, Pages 586–595.
2. *Chugh S. et al.* Worldwide Epidemiology of Atrial Fibrillation // in *A Global Burden of Disease 2010 Study*, 2013, Volume 129, Pages 837–847.
3. *Wosiak A. et al.* Integrating Correlation-Based Feature Selection and Clustering for Improved Cardiovascular Disease Diagnosis // In *Hindawy Complexity*, 2018.
4. *Yadav D. et al.* Prediction of Heart Disease Using Feature Selection and Random Forest Ensemble Method // In *Journal for Pharmaceutical Research Scholars*, 2020.

5. *Saluja M. et al.* SPARC scoring model: Objective outcome prediction in critically ill COVID-19 patients // In Current Medicine Research and Practice, 11(2), 2021.
6. *Gude F. et al.* Development and validation of a clinical score to estimate progression to severe or critical state in COVID-19 pneumonia hospitalized patients // In Scientific Reports 10, 19794, 2020.
7. *Sharieh A. et al.* An Algorithm for Finding Maximum Independent Set in a Graph // In European Journal of Scientific Research, 2008.

**ИДЕНТИФИКАЦИЯ ПРЕДИКТОРОВ И ХАРАКТЕРИСТИК
ФИБРИЛЛЯЦИИ ПРЕДСЕРДИЙ У ПАЦИЕНТОВ,
ПЕРЕНЕСШИХ ИШЕМИЧЕСКУЮ БОЛЕЗНЬ СЕРДЦА И
АРТЕРИАЛЬНУЮ ГИПЕРТЕНЗИЮ**

Ч.Г. Мовсисян¹, С.С. Агаян², С.В. Григорян³, А.А. Дарбинян⁴, А.Р. Фаградян⁵

¹Российско-армянский университет

²Городской университет Нью-Йорка

³ЕГМУ им. М. Гераци

⁴Российско-армянский университет

⁵Российско-армянский университет

movchinar@gmail.com , *sos.agaian@csi.cuny.edu* , *s.grigoryan@interdiagnostika.com* ,
arman.darbinyan@rau.am , *armanfahradyan02@gmail.com*

АННОТАЦИЯ

Фибрилляция предсердий (ФП) является наиболее распространенной устойчивой аритмией, которая вызывает значительную заболеваемость и смертность миллионов людей, главным образом от эмболического инсульта. Практикующие врачи сталкиваются с тем, что сочетание ФП и сердечно-сосудистых заболеваний характеризуется тяжелым течением болезни.

Выявление факторов риска и предикторов возникновения ФП, по всей вероятности, поможет провести своевременную профилактику у этой группы пациентов, тем самым способствуя снижению вероятности возникновения ФП у пациентов, перенесших ишемическую болезнь сердца и артериальную гипертензию. Целью данного исследования является выявление факторов риска и предикторов, способствующих возникновению ФП у пациентов с ишемической болезнью сердца и артериальной гипертензией.

Ключевые слова: фибрилляция предсердий, логистическая регрессия, предикторы риска, корреляция Пирсона, р-значения.

ВЕРШИННО-РАЗЛИЧАЮЩИЕ РЕБЕРНЫЕ РАСКРАСКИ ПОЛНЫХМНОГОДОЛЬНЫХ ГРАФОВ

Т.К. Петросян

*Российско-Армянский университет
tigran.petrosyan@student.rau.am*

АННОТАЦИЯ

Для графа G функция $f: E(G) \rightarrow N$ называется рёберной раскраской графа G . Рёберная раскраска f графа G называется правильной, если для любых смежных рёбер $e, e' \in E(G)$, $f(e) \neq f(e')$. Если f – правильная раскраска графа G и $v \in V(G)$, то обозначим через $S(v, f)$ множество цветов рёбер, инцидентных вершин v . Правильная раскраска f графа G называется вершинно-различающей, если для любых различных вершин $u, v \in V(G)$, $S(u, f) \neq S(v, f)$. Наименьшее число цветов, необходимое для вершинно-различающей рёберной раскраски графа G , называется вершинно-различающим хроматическим индексом и обозначается $\chi'(G)$. В данной работе найдены некоторые верхние оценки вершинно-различающего хроматического индекса полных многодольных графов.
Ключевые слова: правильная рёберная раскраска, вершинно-различающая раскраска, вершинно-различающий хроматический индекс.

Введение

Пусть G – неориентированный граф без кратных рёбер и петель, $V(G)$ – множество вершин графа G , $E(G)$ – множество рёбер графа G . Обозначим через K_n , $K_{m,n}$, $K_{l,m,n}$, соответственно, полный граф с n вершинами, полный двухдольный граф с t вершинами в одной доле и с n вершинами в другой доле, полный трёхдольный граф с l вершинами в одной доле, t вершинами в другой доле и n вершинами в третьей доле. Не определяемые понятия и обозначения можно найти в [6].

Правильная рёберная раскраска f графа G называется вершинно-различающей, если для любых различных вершин $u, v \in V(G)$, $S(u, f) \neq S(v, f)$. Наименьшее число цветов, необходимое для вершинно-различающей рёберной раскраски графа G , называется вершинно-различающим хроматическим индексом графа G и обозначается через $\chi'(G)$. Определение вершинно-различающей раскраски графа было введено в [1,2] и, независимо, как “наблюдаемость” графа в [3-5]. В частности, авторами [2] были доказаны следующие результаты.

Теорема 1. Для любого натурального $n \geq 3$ имеет место равенство

$$\chi'_{vd \rightarrow n}(K) = \begin{cases} n, & \text{если } n - \text{нечётное число,} \\ n + 1, & \text{если } n - \text{чётное число.} \end{cases}$$

Теорема 2. Для любых натуральных m и n ($n \geq m \geq 2$) имеет место равенство

$$X'_{vd \rightarrow m, n}(K) = \begin{cases} n + 1, & \text{если } n \geq m \geq 2, \\ n + 2, & \text{если } n = m \geq 2. \end{cases}$$

Целью настоящей работы является исследование вершинно-различающих рёберных раскрасок полных многодольных графов.

Основные результаты

Прежде всего, нами найдена верхняя оценка $X'_{vd}(K_{l, m, n})$ для произвольных натуральных l, m и n . Именно, доказана

Теорема 3. Для любых натуральных l, m и n имеет место неравенство

$$X'_{vd}(K_{l, m, n}) \leq l + m + n.$$

Также доказаны

Теорема 4. Для любых различных натуральных чисел m, n и l , таких что $m > n + l - 1$

($n > l > 1$) имеет место неравенство.

$$X'_{vd}(K_{m, n, l}) = m + n + 1.$$

Теорема 5. Для любых натуральных чисел m и n имеют место неравенства.

$$\begin{aligned} \max(m, n) + m + n + 1 &\leq X'_{vd}(K_{m, m, n, n}) \leq \max(m, n) + m + n + 3 \\ 2^k n + 2 &\leq X'_{vd}(K_{n, n, \dots, n}) \leq 2^k n + 2k \end{aligned}$$

Теорема 6. Для любого $k \geq 4$ и для любых различных натуральных чисел n_1, n_2, \dots, n_k имеет место неравенство.

$$X'_{vd}(K_{n_1, n_2, \dots, n_k}) \leq n_1 + n_2 + \dots + n_k + 1$$

ЛИТЕРАТУРА

1. *Burris, A.C.* Vertex-distinguishing edge-colorings. Ph.D. Dissertation, Memphis State University (1993)
2. *Burris, A.C., Schelp, R.H.* Vertex-distinguishing proper edge-colorings. *J. Graph Theory* 26, 73–82 (1997)
3. *Cerný J., Horňák M., Soták R.* Observability of a graph. *Math. Slovaca* 46, 21–31 (1996)
4. *Horňák M., Soták R.* Observability of complete multipartite graphs with equipotent parts. *Ars Comb.* 41, 289–301 (1995)
5. *Horňák M., Soták R.* Asymptotic behavior of the observability of Q_n . *Discrete Math.* 176, 139–148 (1997)
6. *West D.B.* Introduction to Graph Theory – Prentice-Hall, New Jersey, 2001.

АПРИОРНЫЕ ОЦЕНКИ И УСЛОВИЯ НЁТЕРОВОСТИ ДЛЯ РЕГУЛЯРНЫХ ГИПОЭЛЛИПТИЧЕСКИХ ОПЕРАТОРОВ

А.Г. Туманян

*Российско-Армянский Университет
ani.tumanyan92@gmail.com*

АННОТАЦИЯ

В работе получены априорные оценки для регулярных гипозэллиптических операторов со специальными переменными коэффициентами. Установлены необходимые условия на символ оператора для выполнения априорных оценок для дифференциальных операторов, действующих в специальных мультианизотропных соболевских пространствах. Построен регуляризатор для рассматриваемого класса операторов. В работе получен критерий нётеровости для достаточно широкого класса регулярных гипозэллиптических операторов, действующих в мультианизотропных пространствах.

Ключевые слова: регулярный гипозэллиптический оператор, нётеровый оператор, условия фредгольмовости, мультианизотропные пространства.

Регулярные гипозэллиптические операторы являются специальным подклассом гипозэллиптических операторов по Хёрмандеру (см. [1]). Характеристический многочлен регулярных гипозэллиптических операторов является “мульти-квази-эллиптическим”, тем самым данный класс операторов содержит в себе эллиптические, параболические и полуэллиптические/квазиэллиптические операторы (см. [2]). В данной работе исследуются выполнения специальных априорных оценок в мультианизотропных пространствах в \mathbb{R}^n , условия нётеровости регулярных гипозэллиптических операторов со специальными переменными коэффициентами.

Априорные оценки и условия нётеровости полуэллиптических операторов получены в работах [3-4]. Вопросам стабильности индекса полуэллиптических операторов на шкале анизотропных пространств посвящены работы [5-6]. В работе [7] получена нётеровость регулярных гипозэллиптических операторов с постоянными коэффициентами в ограниченной области.

В работе получены априорные оценки для регулярных гипозэллиптических операторов со специальными переменными коэффициентами, установлен критерий нётеровости (фредгольмовости) для достаточно широкого класса регулярных гипозэллиптических операторов, действующих в мультианизотропных пространствах.

Определение 1. Ограниченный линейный оператор A , определенный на всем банаховом пространстве X и действующий в банахово пространство Y , называется n -нормальным, если выполняются следующие условия:

- 1) область значений оператора A замкнута ($\text{Im}(A) = \overline{\text{Im}(A)}$);
- 2) ядро оператора A является конечномерным ($\dim \text{Ker}(A) < \infty$).

Оператор A называется нётеровым, если выполняются условия 1)-2) и дополнительно:

- 3) коядро оператора A конечномерно ($\dim \text{coker}(A) = \dim Y / \text{Im}(A) < \infty$).

Пусть $n \in \mathbb{N}$, \mathbb{Z}_+ – множество неотрицательных целых чисел, \mathbb{Z}_+^n – множество n -мерных мультииндексов, \mathbb{N}^n – множество n -мерных мультииндексов с натуральными компонентами.

Пусть $\mathcal{N} \subset \mathbb{Z}_+^n$ – некоторый набор мультииндексов. Характеристическим многогранником множества мультииндексов \mathcal{N} назовём наименьший выпуклый многогранник $\mathcal{R} = \mathcal{R}(\mathcal{N})$, который содержит все точки \mathcal{N} .

Определение 2. Многогранник \mathcal{R} назовём вполне правильным, если

- 1) он имеет вершины в начале координат \mathbb{R}^n и на каждой оси координат \mathbb{R}^n , отличные от начала координат;
- 2) внешние нормали всех $(n-1)$ -мерных некоординатных граней \mathcal{R} имеют положительные координаты.

Мультииндекс $\alpha \in \mathcal{R}$ называется главным, если он принадлежит какой-либо $(n-1)$ -мерной некоординатной грани многогранника \mathcal{R} . Множество всех главных точек из \mathcal{R} обозначим через $\partial' \mathcal{R}$.

Пусть \mathcal{R} произвольный вполне правильный многогранник и $k \in \mathbb{R}_+$. Обозначим $k\mathcal{R} = \{k\alpha = (k\alpha_1, k\alpha_2, \dots, k\alpha_n), \alpha \in \mathcal{R}\}$. Обозначим через $\mathcal{R}_j^{n-1} (j=1, \dots, I_{(n-1)})$ $(n-1)$ -мерные грани многогранника \mathcal{R} . Пусть $\mu^j, j=1, \dots, I_{n-1}$ такая внешняя нормаль грани \mathcal{R}_j^{n-1} , для которой при всех

$$\alpha \in \mathcal{R}_j^{n-1} (\alpha : \mu^j) = \frac{\alpha_1}{\mu_1^j} + \dots + \frac{\alpha_n}{\mu_n^j} = 1.$$

Для вполне правильного многогранника \mathcal{R} и $k \in \mathbb{N}$ обозначим

$$Q^{k, \mathcal{R}} = \left\{ \begin{array}{l} q(x) : q(x) > 0, \forall x \in \mathbb{R}^n, \frac{1}{q(x)} \rightrightarrows 0, \\ \frac{|D^\beta q(x)|}{q(x)^{1+(\beta; \mu^j)}} \rightrightarrows 0 \text{ при } |x| \rightarrow \infty \quad \forall \beta \in k\mathcal{R}, j=1, \dots, I_{n-1} \end{array} \right\}.$$

Для $k \in \mathbb{N}$ и $q \in Q^{k, \mathcal{R}}$ через $H_q^{k, \mathcal{R}}$ обозначим множество измеримых функций $\{u\}$ с конечной нормой

$$\|u\|_{k\mathcal{R}, q} = \sum_{\alpha \in k\mathcal{R}} \|D^\alpha u \cdot q^{\frac{k - \max(\alpha; \mu^j)}{j}}\|_{L_2(\mathbb{R}^n)}.$$

Рассмотрим дифференциальную форму

$$P(x, D) = \sum_{\alpha \in \mathcal{R}} a_\alpha(x) D^\alpha = \sum_{\alpha \in \mathcal{R}} \left(a_\alpha^0(x) q(x)^{1 - \max(\alpha; \mu^j)} + a_\alpha^1(x) \right) D^\alpha, \quad (1)$$

где $D^\alpha = D_1^{\alpha_1} \dots D_n^{\alpha_n}$, $D_k = i^{-1} \frac{\partial}{\partial x_k}$, $x = (x_1, \dots, x_n) \in \mathbb{R}^n$, $a_\alpha^0(x) \in C(\mathbb{R}^n)$,

$$D^\beta \left(a_\alpha^1(x) \right) = o(q(x)^{1 - \max(\alpha - \beta; \mu^j)}), \quad j=1, \dots, I_{n-1}; \beta \in k\mathcal{R}, \alpha \in \mathcal{R} \text{ при } |x| \rightarrow \infty.$$

Обозначим

$$P_0(x, D) = \sum_{\alpha \in \partial^* \mathcal{R}} a_\alpha(x) D^\alpha, \quad (2)$$

$$P_0(x, \xi) = \sum_{\alpha \in \partial^* \mathcal{R}} a_\alpha(x) \xi^\alpha. \quad (3)$$

Определение 3. Скажем, что $P(x, D)$ равномерно регулярна в \mathbb{R}^n , если существует такая постоянная $\delta > 0$, что имеет место оценка

$$|P_0(x, \xi)| = \left| \sum_{\alpha \in \partial^* \mathcal{R}} a_\alpha(x) \xi^\alpha \right| \geq \delta \sum_{\alpha \in \partial^* \mathcal{R}} |\xi^\alpha|, \quad \forall \xi \in \mathbb{R}^n, \forall x \in \mathbb{R}^n.$$

Для $M > 0$ обозначим $K_M := \{x \in \mathbb{R}^n : |x| \leq M\}$.

В работе получены достаточные условия для выполнения априорной оценки в мультианизотропных соболевских пространствах в \mathbb{R}^n .

Теорема 1. Пусть $k \in \mathbb{Z}_+$, $q \in Q^{k, \mathcal{R}}$ и $P(x, D)$ дифференциальной-формавида (1) коэффициенты которой удовлетворяют условию $\lim_{|x| \rightarrow \infty} \max_{|x-y| \leq 1} |a_\alpha^0(x) - a_\alpha^0(y)| = 0$. Пусть $P(x, D)$ равномерно регулярна в \mathbb{R}^n , и существуют постоянные $\delta > 0$ и $M > 0$ такие, что

$$\left| \sum_{\alpha \in \mathcal{R}} a_{\alpha}^0(x) \lambda^{1-\max(\alpha, \mu^j)} \xi^{\alpha} \right| \geq \delta \left(\sum_{\alpha \in \partial' \mathcal{R}} |\xi^{\alpha}| + \lambda \right), \forall \xi \in \mathbb{R}^n, \forall \lambda \in \mathbb{R}_+, |x| \geq M. \quad (4)$$

Тогда с некоторыми постоянными $C > 0$ и $N > 0$ выполняется априорная оценка:

$$\|u\|_{(k+1)\mathcal{R}, q} \leq C \left(\|Pu\|_{k\mathcal{R}, q} + \|u\|_{L_2(K_N)} \right), \forall u \in H_q^{(k+1), \mathcal{R}}.$$

Из теоремы 1 и теоремы 7.1 работы [8] следует, что оператор $P(x, D): H_q^{(k+1), \mathcal{R}} \rightarrow H_q^{k, \mathcal{R}}$ является p -нормальным.

В работе получен критерий нётеровости для рассматриваемого класса операторов.

Теорема 2. Пусть $k \in \mathbb{Z}_+, q \in Q^{k, \mathcal{R}}$ и $P(x, D)$ дифференциальной формавида (1) коэффициенты которой удовлетворяют условию $\lim_{|x| \rightarrow \infty} \max_{|x-y| \leq 1} |a_{\alpha}^0(x) - a_{\alpha}^0(y)| = 0$. Тогда следующие условия эквивалентны:

1) $P(x, D): H_q^{(k+1), \mathcal{R}} \rightarrow H_q^{k, \mathcal{R}}$ является нётеровым.

2) $P(x, D)$ равномерно регулярна в \mathbb{R}^n , существуют постоянные $\delta > 0$ и $M > 0$ такие, что

$$\left| \sum_{\alpha \in \mathcal{R}} a_{\alpha}^0(x) \lambda^{1-\max(\alpha, \mu^j)} \xi^{\alpha} \right| \geq \delta \left(\sum_{\alpha \in \partial' \mathcal{R}} |\xi^{\alpha}| + \lambda \right), \forall \xi \in \mathbb{R}^n, \forall \lambda \in \mathbb{R}_+, |x| \geq M.$$

3) С некоторыми постоянными $C > 0$ и $N > 0$ выполняется априорная оценка:

$$\|u\|_{(k+1)\mathcal{R}, q} \leq C \left(\|Pu\|_{k\mathcal{R}, q} + \|u\|_{L_2(K_N)} \right), \forall u \in H_q^{(k+1), \mathcal{R}}.$$

ЛИТЕРАТУРА

1. *Hyormander L.* Linear Partial Differential Operators. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 1969.
2. *Friberg J.* "Multi-quasielliptic polynomials", Ann. Scuola Norm. Sup. Pisa, vol. 21, no. 2 (1967), p. 239–260.
3. *Darbyan A.A., Tumanyan A.G.* On a priori estimates and the Fredholm property of differential operators in anisotropic spaces. Journal of Contemporary Mathematical Analysis. vol. 53, no. 2 (2018), p. 61-70.
4. *Tumanyan A.G.* Fredholm property of semielliptic operators in anisotropic weighted spaces in \mathbb{R}^n Journal of Contemporary Mathematical Analysis vol. 56, n. 3 (2021), 168-181.
5. *Darbyan A.A., Tumanyan A.G.* On index stability of Noetherian differential operators in anisotropic Sobolev spaces. Eurasian Mathematical Journal, 10:1 (2019), 9-15.
6. *Tumanyan A.G.* On the invariance of index of semielliptical operator on the scale of anisotropic spaces. vol. 51, no. 4 (2016), p. 187-198.

7. Карпетян Г.А., Дарбинян А.А. Нетеровость регулярного оператора с постоянными коэффициентами в области, Труды инст. мат. им. Размадзе, Тбилиси, Т. 146 (2008), с. 57-66.
8. Крейн С. Линейные уравнения в банаховом пространстве. Наука, Москва, 1971.

A PRIORI ESTIMATES AND NOETHERICITY FOR A CLASS OF REGULAR HYPOELLIPTIC OPERATORS

Tumanyan A. G.

*Russian-Armenian University
ani.tumanyan92@gmail.com*

ABSTRACT

We establish a priori estimates for regular hypoelliptic operators with variable coefficients that have certain rate at infinity. Necessary conditions for fulfillment of special a priori estimates of differential operators are obtained in terms of conditions on the symbol of operator. Regularizer is constructed for considered class of operators in special weighted multianisotropic spaces. We obtain Noetherian criteria for a wide class of regular hypoelliptic operators, acting in multianisotropic Sobolev spaces.

Keywords: regular hypoelliptic operator, Noetherian operator, Fredholm property, multianisotropic spaces.

ԱՊՐԻՈՐԻ ԳՆԱՀԱՏԱԿԱՆՆԵՐ ԵՎ ՆՅՈՏԵՐՅԱՆՈՒԹՅԱՆ ՊԱՅՄԱՆՆԵՐ ՈՒԳՈՒԼՅԱՐ ՀԻՊՈԵԼԼԻՊՏԻԿ ՕՊԵՐԱՏՈՐՆԵՐԻ ՀԱՄԱՐ

Թումանյան Ա. Գ.

*Հայ-Ռուսական Համալսարան
ani.tumanyan92@gmail.com*

ԱՍՓՈՓՈՒՄ

Աշխատանքում ստացված են ապրիորի գնահատականներ փոփոխական հատուկ գործակիցներով ռեգուլյար հիպոէլիպտիկ օպերատորների համար: Մուլտիանիզոտրոպ տարածություններում գործող դիֆերենցիալ օպերատորների ապրիորի գնահատականների կատարման համար ստացված են օպերատորի սիմվոլի վրա պայմաններ: Դիտարկվող դասի օպերատորների համար կառուցվել է ռեգուլյարիզատորը: Ռեգուլյար հիպոէլիպտիկ օպերատորների հատուկ դասի համար աշխատանքում ստացված են անհրաժեշտ և բավարար պայմաններ նյոտերյան լինելու համար:

Բանալի բաներ. ռեգուլյար հիպոէլիպտիկ օպերատոր, նյոտերյան օպերատոր, ֆրեդհոլմյան օպերատոր, մուլտիանիզոտրոպ տարածություն:

УДК 621.391.15

INDEPENDENT NEIGHBOURHOODS OF SETS IN B^n GROUP

H. Sahakyan, Zh. Margaryan

*Yerevan State University
hovhannes1417@gmail.com, jromr@mail.ru*

ABSTRACT

The article investigates the n -dimensional hypercube group where the operator for the group is defined as the sum of the corresponding components of the vector by modulo of two. It defines concepts such as the neighborhoods of subset and pair of subsets with independent neighborhoods. These pairs are closely related to codes in additive channels. We also provide some upper bounds about independent pair neighborhoods. This article defines two types of set pairs with independent neighborhoods - "completely good" and "partially good", and provides a theorem with constructive proof of their equivalence. Good pairs are examples of the availability of upper bound. Furthermore, we construct some trivial and non-trivial examples of pairs with good independent neighborhoods, where trivial means that the examples are connected to the perfect codes. It turns out that the size of the neighborhoods is connected to the number of zero-sum subsets. In this article, we also present some calculations about subsets with zero-sum.

Keywords: additive channels, perfect codes, first order neighborhoods, independent neighborhoods.

Introduction

By saying B_2^n we mean the set of all vectors having the members of the set $0,1$ with the length n . We define the sum of two vectors as sum of corresponding components by modulo 2. For instance, $0110 + 1010 = 1100$. It is obvious that $\langle B_2^n, + \rangle$ is a group, having $00\dots 0$ as its unit, and $a^{-1} = a$. We define the norm of a vector as the sum of its elements.

Good and bad sets

Definition 1. (a good set). We call the set $B \subset B_2^n (|B| \geq 2)$ a good set for the set A , if for $\forall \alpha, \beta \in B (\alpha \neq \beta)$ there $\alpha + \beta \in A$.

For instance, the set $B = \{001, 010, 110\}$ is good for $A = \{011, 111, 100\}$.

Definition 2. (a bad set). The set $C \subset B_2^n$ is bad for the set A , if for $\forall \alpha, \beta \in C (\alpha \neq \beta)$ there $\alpha + \beta \notin A$.

For instance, the set $C = \{011, 000, 111\}$ is bad for the set $A = \{010, 101, 110\}$.

Upper bounds

Bad set's upper bound

Let C is a bad set for some $A(|A| > 0)$ set, then $|C| \leq 2^{n-1}$

Lemma 1. For some $a \in A$, let us consider the following set $a + C = \{a + c_i \mid c_i \in C\}$. We can show that

$$(a + C) \cap C = \emptyset \quad (1)$$

Proof. Suppose that $a + c_i = c_j$ then $c_j + c_i = a$, which contradicts the definition. On the other hand

$$C \cup (a + C) \subset B_2^n$$

with use of equation (1), we have $|C| + |(a + C)| \leq 2^n$ and then $|C| \leq 2^{n-1}$

Good and Bad sets' upper bound

Lemma 2. If B is a good set, and C is a bad set for some A set, then

$$|B| \cdot |C| \leq 2^n \quad (2)$$

Proof. Let us consider this set $B + C = \{b + c \mid b \in B, c \in C\}$. We can show that the cardinality of the set is $|B| \cdot |C|$. Suppose we have $b_1, b_2 \in B, c_1, c_2 \in C$ and $b_1 + c_1 = b_2 + c_2$ which means $b_1 + b_2 = c_1 + c_2$. That is impossible because the left side is from A and the right side is not.

Let us consider equal cases in lemma 2.

$$|B| \cdot |C| = 2^n \quad (3)$$

Examples of availability

Subgroup example

In this example, as A and as B we will take some H subgroup from $\langle B_2^n, + \rangle$, it is obvious that B is a good set for A . For C we will take one element from each coset of H . Let us show that C is a bad set for A . By definition, if we show that for any $x \in a + H$ and $y \in b + H$ ($a + H$ and $b + H$ are different cosets) $x + y \notin H$ then C is a bad set for A . Suppose $x + y \in H$ then $x + y = a + h_1 + b + h_2 = h(h, h_1, h_2 \in H)$ which means $a + b = h + h_1 + h_2 \in H$ that is contradictory to $a + H$ and $b + H$ being different cosets. Now we should show that it satisfies equation (3). By definition $|B| = |H|$ and $|C| = |(B_2^n \setminus H)|$, and by Lagrange theorem, we have

$$|B| \cdot |C| = |H| \cdot |(B_2^n \setminus H)| = |B_2^n| = 2^n \quad (4)$$

Example by Hamming code

For this example, we will use Hamming code [4]. In this example, n is equal to $2^r - 1$, for some positive integer r . As it is known Hamming code decomposes B_2^n group into 2^{n-r} disjoint spheres with radius 1 (here distance of two vectors is a norm of the sum). Let $A = B_1 \cup B_2, B = B_0 \cup B_1$, and as C we take centres of decomposed spheres. Here B_i is set of all vectors with norm i . It is obvious that B is a

good set for A . C is a bad set for A , because the distance from centers of the spheres is at least 3.

$$|B| \cdot |C| = (1 + 2^r - 1) \cdot 2^{n-r} = 2^r \cdot 2^{n-r} = 2^n \quad (5)$$

Example by Golay code

Example by Golay code [5] is very similar to the previous example. As it is known, Golay code decomposes B_2^{23} group into 2^{12} disjoint spheres with radius 3. Let $A = B_1 \cup B_2 \cup B_3 \cup B_4 \cup B_5 \cup B_6$, $B = B_0 \cup B_1 \cup B_2 \cup B_3$, and as C we take centres of decomposed spheres. With the same logic we can prove that B is a good set and C is a bad set.

$$|B| \cdot |C| = (C_{23}^0 + C_{23}^1 + C_{23}^2 + C_{23}^3) \cdot 2^{12} = 2^{23} = 2^n \quad (6)$$

Non-trivial example

The previous three examples we will consider trivial. Now let us show that there exist non-trivial examples.

Let us consider B_2^n for some $n (n \geq 5)$, and let a_1, a_2, \dots, a_n be some basis for B_2^n . As B we will take the following set

$$B = \text{span}(a_1, a_2, \dots, a_{n-2}) \setminus \{s, s + a_1, s + a_2, s + a_1 + a_2\} \\ \cup \{a_{n-1}, a_{n-1} + a_1 + a_2, a_n, a_n + a_1 + a_2\}$$

where $s = a_1 + a_2 + \dots + a_{n-2}$. As A we will take all possible pair sums from B . For constructing C we need the following sets:

$$F_1 = \{s + a_n, s + a_n + a_1, s + a_n + a_2, s + a_n + a_1 + a_2\} \\ F_2 = \{s + a_{n-1}, s + a_{n-1} + a_1, s + a_{n-1} + a_2, s + a_{n-1} + a_1 + a_2\} \\ F_3 = \{a_n + a_{n-1} + a_1, a_n + a_{n-1} + a_2\} \\ F = F_1 \cup F_2 \cup F_3$$

None of these items can be represented as a sum of pair from B , for example, for a sum to be $s + a_n + a_1$ one of the pairs must have a_n in it, there are only two such elements in B : a_n and $a_n + a_1 + a_2$. The other element must be $s + a_1$ or $s + a_2$ and these two items are not in B . Same way for other elements in F_1 and F_2 , for F_3 we can use a similar approach, but for $a_n + a_{n-1}$. The second property that we will use is following, for any f from F_i $a_1 + a_2 + f$ is also from F_i .

Now, for C to be bad, we will take one item from F_i and 0, such that the sum of all items is $a_1 + a_2$. $C = \{0, f_1, f_2, f_3\}$ where $f_i \in F_i$ and $f_1 + f_2 + f_3 = a_1 + a_2$. It is easily can be seen that there are eight possible such trios. For example $\{s + a_{n-1} + a_1 + a_2, s + a_n + a_2, a_n + a_{n-1} + a_2\}$. If we show that all possible pair sums from the C is a subset of F , then that would mean that C is a bad set. For that, we only need to show that $f_{i_1} + f_{i_2} \in F$.

$$\begin{aligned} f_{i_1} + f_{i_2} &= (a_1 + a_2) + (a_1 + a_2) + f_{i_1} + f_{i_2} = \\ &= (a_1 + a_2) + (f_{i_1} + f_{i_2} + f_{i_3}) + f_{i_1} + f_{i_2} = (a_1 + a_2) + f_{i_3} \in F \end{aligned}$$

This means that set of all pair sums is a subset of F

$$\{f_1, f_2, f_3, f_1 + f_2, f_1 + f_3, f_2 + f_3\} \subset F$$

The simplest example constructed this way is

$$n = 5$$

$$a_i = 00..010..00 \text{ (in } i\text{-th place 1 everywhere else 0)}$$

$$A = \{00001, 00010, 00011, 00100, 00101, 00110, 00111, \\ 01000, 01001, 01010, 01011, 01100, 01111\}$$

$$B = \{00000, 00001, 00010, 00011, 00100, 00111, 01000, 01011\}$$

$$C = \{00000, 10000, 11101, 01110\}$$

Constructed examples can't be equivalent to examples by Golay code or Hamming code, because good sets are different, and can't be equivalent to the subgroup example because B is not a subgroup.

Independent Neighborhoods

Set Neighborhoods

Let us define the idea of neighborhoods

Definition 3. For a given set D ($|D| \geq 2$) the set $D^* = \{x + y \mid x, y \in D, x \neq y\}$ is called a neighbourhood of the first order, and it is denoted by the asterisk $*$.

Property 3.1. It is obvious that $D^* = (x + D)^* = \{x + b \mid b \in D\}^*$ for any x .

Property 3.2. If we take $x \in D$, replace D with $(x + D)$ and use property 3.1 then $D \setminus \{0\} \subset D^*$.

Independent Neighborhoods

Definition 4. We call the given sets $B, C \subset B_2^n$ a good pair, and we denote them by $\langle B, C \rangle$ if there exists such a set A for which B is good and C is bad. And we consider C as a good complement for B .

Property 4.1. Using the definition of a neighborhood, we can define the idea of a good pair in another way $\langle B, C \rangle \Leftrightarrow B^* \subset \overline{C^*}$ or in this way, which is the same:

$$\langle B, C \rangle \Leftrightarrow B^* \cap C^* = \emptyset \quad (6)$$

That is, the neighborhoods of B and C are independent. We can take as A any set that satisfies the condition $B^* \subset A \subset \overline{C^*}$.

Note that a good pair is equivalent to an additive channel [1],[2],[3] (there does not exist $b_1, b_2 \in B$ and $c_1, c_2 \in C$ for which $b_1 + c_1 = b_2 + c_2$).

Property 4.2. Using properties 4.1 and 3.1 we can always assume that $0 \in B$ and $0 \in C$.

Property 4.3. Good Pair is a symmetric and anti-reflective binary relation.

This obviously follows from equation (7).

Property 4.4. From equation (7) also follows that if $\langle B, C \rangle$ is a good pair then for any $B' \subset B$ and $C' \subset C$ $\langle B', C' \rangle$ is also a good pair.

Theorem 1. For any B, C sets, following is true: $\langle B, C \rangle$ is a good pair iff $|B||C| = |B + C|$, where $B + C = \{b + c \mid b \in B, c \in C\}$:

Proof.

$$\begin{aligned}
 \langle B, C \rangle &\Leftrightarrow B^* \cap C^* = \emptyset \\
 \forall b_1, b_2 \in B, \forall c_1, c_2 \in C \quad b_1 + b_2 &\neq c_1 + c_2 \Leftrightarrow \\
 \forall b_1, b_2 \in B, \forall c_1, c_2 \in C \quad b_1 + c_1 &\neq b_2 + c_2 \Leftrightarrow \\
 |B||C| &= |B + C|
 \end{aligned}$$

■

Definition 5. $\langle B, C \rangle$ is completely good pair, if $|B||C| = 2^n$. Respectively, we call C a completely good complement.

Completely good pairs are equal case solutions for upper bound in lemma 2.

Definition 6. Set $C' \subset \text{span}(B)$ is called B partially good complement, if $\langle B, C' \rangle$ is a good pair and $|B||C'| = 2^r$.

Equivalence theorem

Theorem 2. Let the set B ($|B| = 2^m$) be given; to exist a completely good complement for B it is necessary and sufficient to exist a partially good complement for B .

Proof. Sufficiency. Let us say there exists a good complement for B : $C' = \{c'_1, c'_2, \dots, c'_{2^{r-m}}\}$. Now we will construct a completely good complement. Let us consider cosets of $\text{span}(B)$ in B_2^n . Let us say $a_1 = 0, a_2, a_3, \dots, a_{2^{n-r}}$ are generators of cosets. We define the following set to be C

$$\begin{aligned}
 C = \{ & a_1 + c'_0, & a_2 + c'_0, & \dots, & a_{2^{n-r}} + c'_0, \\
 & a_1 + c'_1, & a_2 + c'_1, & \dots, & a_{2^{n-r}} + c'_1, \\
 & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\
 & a_1 + c'_{2^{r-m}}, & a_2 + c'_{2^{r-m}}, & \dots, & a_{2^{n-r}} + c'_{2^{r-m}} \}
 \end{aligned} \tag{8}$$

Now we calculate C^* . For any $x, y \in C$ there are three possible cases

1. x and y are from the same row in equation (8),
then their sum is $a_i + a_j$ (i and j are column numbers). Then it can't be from cosets generator set $\text{span}(B)$, meaning it can't be from B^* either.
2. x and y are from the same column in equation (8),
then their sum is $c'_i + c'_j$ (i and j are row numbers), by definition of good pair, it can't be in B^* .
3. x - y and y are from different columns and rows: $x = a_i + c'_j, y = a_p + c'_q$ ($i \neq p$ and $j \neq q$).

we should show that $x + y \notin B^*$. Let us assume the contrary, that $x + y = b \in B^*$, then

$$\begin{aligned} x + y &= b \\ a_i + c'_j + a_p + c'_q &= b \\ a_i + a_p &= b + c'_j + c'_k \end{aligned}$$

The left side can't be from $\text{span}(B)$, they are from different cosets. But all vectors on the right side are from $\text{span}(B)$. This is a contradiction.

Therefore $C^* \cap B^* = \emptyset$. Meaning $\langle B, C \rangle$ is a good pair, and

$$|B| \cdot |C| = 2^m \cdot 2^{r-m} \cdot 2^{n-r} = 2^n \quad (9)$$

Therefore C is a completely good complement.

Necessity. Let us say C is a completely good complement for B . We will show that $C' = C \cap \text{span}(B)$ is a partially good complement. From property 4.4, we know that $\langle B, C' \rangle$ is a good pair. Let us calculate cardinality of C' , again we will consider cosets of $\text{span}(B)$

$$a_1 + \text{span}(B), a_2 + \text{span}(B), a_3 + \text{span}(B), \dots, a_{2^{n-r}} + \text{span}(B) \quad (10)$$

where $r = \text{rank}(B)$. Now, intersect with C

$$\begin{aligned} (a_1 + \text{span}(B)) \cap C, (a_2 + \text{span}(B)) \cap C, (a_3 + \text{span}(B)) \cap C, \dots, \\ (a_{2^{n-r}} + \text{span}(B)) \cap C \end{aligned}$$

if the cardinality of one of the sets is $k > 2^{r-m}$, then we can take set

$$C'' = (a_i + \text{span}(B)) \cap C + a_i \quad (11)$$

and construct a new C good complement like in equation (8). The cardinality of C will be $\cdot 2^{n-r} > 2^{r-m} \cdot 2^{n-r} = 2^{n-m}$, and $|B| \cdot |C| > 2^{n-m} \cdot 2^m = 2^n$, which contradicts lemma 2. So, for any $1 \leq i \leq 2^{n-r}$ we know that

$$|(a_i + \text{span}(B)) \cap C| \leq 2^{r-m} \quad (12)$$

On the other hand

$$\bigcup_{i=1}^{2^{n-r}} (a_i + \text{span}(B)) = B_2^n \quad (13)$$

and

$$(a_i + \text{span}(B)) \cap (a_j + \text{span}(B)) = \emptyset, \quad (14)$$

Therefore

$$C \cap \bigcup_{i=1}^{2^{n-r}} (a_i + \text{span}(B)) = C \cap B_2^n$$

$$\begin{aligned} \bigcup_{i=1}^{2^{n-r}} (C \cap (a_i + \text{span}(B))) &= C \\ \sum_{i=1}^{2^{n-r}} |C \cap (a_i + \text{span}(B))| &= 2^{n-m} \end{aligned} \quad (15)$$

Only in one case equations (12) and (15) can be satisfied

$$|C \cap (a_i + \text{span}(B))| = 2^{r-m} \quad (16)$$

one of the a_i is 0, meaning

$$|C'| = |C \cap \text{span}(B)| = 2^{r-m}$$

Therefore C' is a partially good complement for B . ■

Zero-sum subsets

When constructing a good pair with given B it is easily seen that number of existing C sets is dependent on the number of zero-sum subsets in set B , e.g. when $n = 3$ and $B = \{a, b, c, d\}$ if $a + b + c + d \neq 0$ then there is only one possible C , $C = \{0, a + b + c + d\}$. But if $a + b + c + d = 0$, then there are four possible C sets.

Definition 7. We call $B_0 = \{b_1, b_2, \dots, b_k\} (b_i \neq 0)$ a subset with zero-sum of the set $B_0 \subset B_2^n (|B_0| \geq 0)$ if $b_1 + b_2 + \dots + b_k = 0$.

Definition 8. We denote the number of all possible zero-sum subsets of the given set B by t_k^B .

It is obvious that t_k^B makes sense only if k is less than $|B|$. And we take $t_0^B = 1$.

Property 8.1. It is easily seen that $t_1^B = t_2^B = 0$:

Example

Let's consider $B = B_2^n (n \leq 2)$. For simplicity, instead of $t_k^{B_2^n}$ we will write t_k :

Lemma 3. for any $k \geq 2$ following is true

$$t_k = \frac{C_{2^{n-1}}^{k-1} - (2^n - 1 - (k-2))t_{k-2} - t_{k-1}}{k} \quad (18)$$

Proof. For calculating t_k we take a set without 0 and with size $k-1$: $\{a_1, a_2, \dots, a_{k-1}\}$ (there are $C_{2^{n-1}}^{k-1}$ possible sets), and try to add a new vector, such that the sum is 0. Obviously, the new set must be the sum of the others $a_k = a_1 + a_2 + \dots + a_{k-1}$. We must subtract incorrect cases. First when $a_k = 0$, there are t_{k-1} possible cases. The next incorrect case is when $a_k \in \{a_1, a_2, \dots, a_{k-1}\}$, without loss of generality, we can assume that $a_k = a_{k-1}$, meaning we have $a_1 + a_2 + \dots + a_{k-2} = 0$, the number of such cases is t_{k-2} . And as a_{k-1} we can take any other

vector, $(2^n - 1 - (k - 2))t_{k-2}$ possible cases. All other cases satisfy definition 7, but each one we counted $C_k^{k-1} = k$ times. ■

Using equation (18), we can calculate all values because we know t_0 and t_1 (property 8.1).

We can calculate the sum of all t numbers. For that, let's rewrite equation (18)

$$(2^n - 1 - (k - 2))t_{k-2} + t_{k-1} + k \cdot t_k = C_{2^{n-1}}^{k-1} \quad (19)$$

and form a system of equations:

$$\begin{cases} (2^n - 1)t_0 + t_1 + 2t_2 + 0 \cdot t_3 + \dots + 0 \cdot t_{2^{n-1}} = C_{2^{n-1}}^1 \\ 0 \cdot t_0 + (2^n - 2)t_1 + t_2 + 3t_3 + \dots + 0 \cdot t_{2^{n-1}} = C_{2^{n-1}}^2 \\ 0 \cdot t_0 + 0 \cdot t_1 + (2^n - 3)t_2 + t_3 + \dots + 0 \cdot t_{2^{n-1}} = C_{2^{n-1}}^3 \\ \dots \\ 0 \cdot t_0 + 0 \cdot t_1 + 0 \cdot t_2 + 0 \cdot t_3 + \dots + t_{2^{n-1}} = C_{2^{n-1}}^{2^n-2} \end{cases}$$

Sum of all vectors in B_2^n ($n \geq 2$) is 0, therefore $t_{2^{n-1}} = 1$. If we replace k with $2^n - 1$ in equation (19)

$$\begin{aligned} (2^n - 1 - ((2^n - 1) - 2))t_{(2^n-1)-2} + t_{(2^n-1)-1} + (2^n - 1) \cdot t_{(2^n-1)} \\ = C_{2^{n-1}}^{(2^n-1)-1} \end{aligned}$$

$$2t_{2^{n-3}} + t_{2^{n-2}} + (2^n - 1)t_{2^{n-1}} = C_{2^{n-1}}^{2^n-2}$$

$$2t_{2^{n-3}} + t_{2^{n-2}} + (2^n - 1) = 2^n - 1$$

$$2t_{2^{n-3}} + t_{2^{n-2}} = 0$$

$$t_{2^{n-3}} = t_{2^{n-2}} = 0$$

Add all equations

$$\begin{aligned} 2^n \cdot (t_0 + t_1 + \dots + t_{2^{n-1}}) - t_0 - t_1 - t_{2^{n-2}} - t_{2^{n-1}} \\ = C_{2^{n-1}}^1 + C_{2^{n-1}}^2 + \dots + C_{2^{n-1}}^{2^n-2} \end{aligned}$$

$$2^n \cdot (t_0 + t_1 + \dots + t_{2^{n-1}}) - 1 - 1 = 2^{2^n-1} - 2$$

$$t_0 + t_1 + \dots + t_{2^{n-1}} = 2^{2^n-1-n} \quad (20)$$

It turns out that equation (20) is always true.

Theorem 3. For any $B \subset B_2^n$

$$t_0^B + t_1^B + \dots + t_{2^{n-1}}^B = 2^{|B \setminus \{0\}| - \text{rank}(B)} \quad (21)$$

Proof. We define $s(D)$ as a sum of all vectors in D .

We will map any $D = \{d_1, d_2, \dots, d_l\} \subset B \setminus \{0\}$ to $f(D)$, and then show that each image can be mapped from exactly $2^{\text{rank}(B)}$ sets, where f is the following function

$$f(D) = \begin{cases} D & \text{if } s(D) = 0 \\ D \Delta s(D) & \text{otherwise} \end{cases} \quad (22)$$

and Δ is the symmetric difference.

Obviously, $f(D)$ is always a subset with zero-sum.

Now let us calculate how many D vectors are mapped to some fixed $f(D) = D'$. There are 3 possible cases:

1. $s(D) = 0$:

It is obvious that $s(D) = 0 \Leftrightarrow D = D'$, so there exists only 1 such D set.

2. $s(D) \neq 0$ and $s(D) \in D'$:

$s(D) \neq 0 \Rightarrow D' = D \Delta \{s(D)\}$ knowing that $s(D) \in D'$ we can conclude that $D' = D \cup \{s(D)\} \Rightarrow D = D' \setminus \{s(D)\}$. Obviously $s(D' \setminus \{d'\}) = d'$ where $d' \in D'$ therefore $f(D' \setminus \{d'\}) = D'$. In this case, there are $|D'|$ possible D sets.

3. $s(D) \neq 0$ and $s(D) \notin D'$:

$s(D) \neq 0 \Rightarrow D' = D \Delta \{s(D)\}$ knowing that $s(D) \notin D'$ we can conclude that $D' = D \setminus \{s(D)\} \Rightarrow D = D' \cup \{s(D)\}$. Obviously $s(D' \cup \{d'\}) = d'$ where $d' \in D'$ therefore $f(D' \cup \{d'\}) = D'$. We know that $d' \notin D'$ and $d' \neq 0$, so it should be from $(\text{span}(B) \setminus D') \setminus \{0\}$, thus exactly $2^{\text{rank}(B)} - |D'| - 1$ cases.

Overall, for some fixed D' we have $1 + |D'| + 2^{\text{rank}(B)} - |D'| - 1 = 2^{\text{rank}(B)}$ cases. We know that all zero-sum subsets can be mapped at least from themselves. And each input ($2^{|B \setminus \{0\}|}$ possible inputs) is mapped to some zero-sum subset. Conclusion is there are $2^{|B \setminus \{0\}| - \text{rank}(B)}$ zero-sum subsets. ■

REFERENCES

1. *Leontiev V., Movsesyan G., Margaryan Zh.* Codes in Additive Channels. Dokladi of AN of Armenia. 2010. V.110. № 4. PP. 334–339.
2. *Leontiev V., Movsesyan G., Margaryan Zh.* Constant Weight Perfect and D-Representable Codes. Proceedings of the YSU A: Physical and Mathematical Sciences. 2012. V. 46. № 1. PP. 16–19.
3. *Leontiev V., Movsesyan G., Margaryan Zh.* Code Volume Boundaries in The Additive Channel. Proceedings of the YSU A: Physical and Mathematical Sciences. 2012. V. 46. № 2. PP. 14–21.
4. *Hamming R.* Error detecting and error correcting codes. The Bell System Technical Journal. 1950. V. 29. № 2. PP. 149–154.
5. *Golay M.* Notes on digital coding. IEEE Information Society Newsletter. 1949. V. 37. № 6. P. 657.

НЕЗАВИСИМЫЕ ОКРЕСТНОСТИ МНОЖЕСТВ В ГРУППЕ B^N

О.К. Саакян, Ж.Г. Маргарян

АННОТАЦИЯ

В статье исследуется n -мерная группа гиперкубов, где оператор для группы определяется как сумма соответствующих компонент вектора по модулю два. Он определяет такие понятия, как соседство подмножества и пара подмножеств с независимыми соседями. Эти пары тесно связаны с кодами в аддитивных каналах. Мы также приводим некоторые верхние оценки окрестностей независимых пар. В этой

статье определяются два типа пар множеств с независимыми окрестностями – «полностью хорошие» и «частично хорошие», а также приводится теорема с конструктивным доказательством их эквивалентности. Хорошие пары являются примерами доступности верхней границы. Кроме того, мы строим несколько тривиальных и нетривиальных примеров пар с хорошими независимыми окрестностями, где тривиальный означает, что примеры связаны с совершенными кодами. Оказывается, размер окрестности связан с количеством подмножеств с нулевой суммой. В этой статье мы также представляем некоторые расчеты о подмножествах с нулевой суммой.

Ключевые слова: аддитивные каналы, совершенные коды, окрестности первого порядка, независимые окрестности.

ФИЗИКА

РАЗРАБОТКА ДАКТИЛОСКОПИЧЕСКОГО МОДУЛЯ ДЛЯ ГИБРИДНОЙ МУЛЬТИБИОМЕТРИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ АУТЕНТИФИКАЦИИ

Б.Ф.Бадалян¹, О.А. Гомцянь¹, М.С. Маргарян²

¹Российско-Армянский университет

*²Национальный политехнический университет Армении
agentben@rambler.ru, hovhannes.gomcyan@polytechnic.am,
meri.margaryan117@gmail.com*

АННОТАЦИЯ

В работе рассмотрены основные методы, характеристики и сложности реализации систем биометрической аутентификации. В среде MATLAB реализован алгоритм распознавания изображений отпечатков пальцев по папиллярным узорам на основе применения фильтра Габора и нейронной сети. Рассмотрена возможность интеграции данного дактилоскопического модуля в состав гибридной мультибиометрической аутентификационной системы.

Ключевые слова: аутентификация, биометрические параметры, отпечатки пальцев, фильтр Габора, база данных.

Введение

В настоящее время особенно остро стоит проблема высокоточной идентификации в местах массового скопления людей, при контроле пропусков и проверке документов. Проблема коснулась не только безопасности транспортных систем – аэропортов, вокзалов, морских портов, метрополитена, но и затронула также государственные и межгосударственные системы – паспортно-визовые, таможенные, финансовые, миграционные и оперативные службы. Однако традиционные бумажные (паспорт или удостоверение личности) или атрибутивные идентификаторы (магнитные карточки, брелки Touch Memory, пассивные транспондеры) подвержены риску фальсификации или потере, а надежность парольных системы аутентификации зависит от таких факторов, как длина, сложность и надежность хранения парольной фразы. Очевидно, что для надежной идентификации личности следует применять биометрические параметры.

Методы

Методы биометрической аутентификации основаны на распознавании статических физиологических (отпечатки пальцев, сетчатка или радужка глаза, форма уха) или поведенческих (особенности походки, голос и клавиатурный почерк) характеристик человека.

На этапе биометрической регистрации по нескольким измерениям специального датчика формируется образец биометрической характеристики пользователя. Далее экстрактор свойств извлекает из образца набор уникальных параметров, и таким образом формируется цифровая репрезентация или шаблон со специальным названием (рисунок 1). Биометрические шаблоны и другие удостоверяющие данные образуют легитимную идентификационную базу данных (БД).

Аутентификационная подсистема требует от пользователя предоставления биометрического образца в дополнение к определенному идентификационному номеру. С помощью алгоритма сопоставления система сравнивает предоставленный биометрический образец с единственным шаблоном из базы данных. Степень сходства между шаблонами двух биометрических характеристик определяет мэтчер [1].

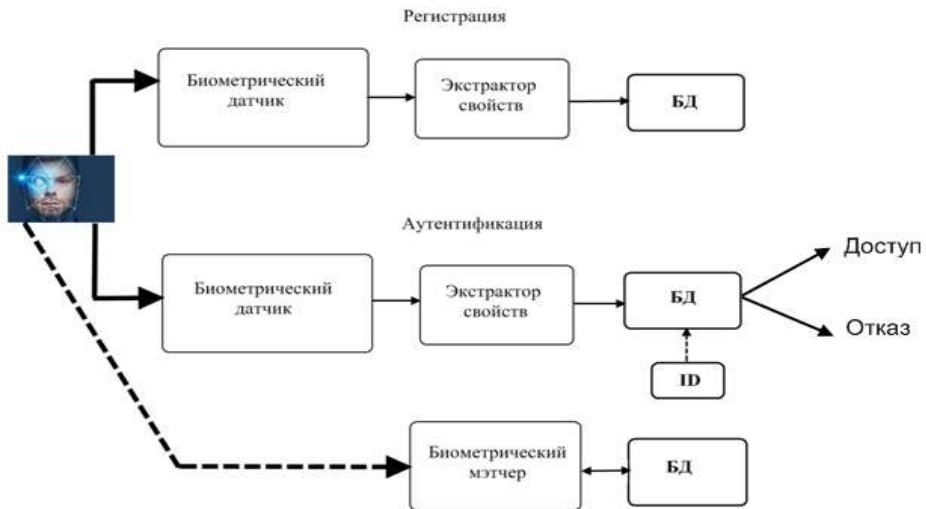


Рисунок 1. Общая схема биометрической аутентификационной системы.

В биометрических системах ошибки мэтчера обозначаются как FAR (FalseAcceptanceRate) и FRR (FalseRejectionRate). Первый параметр обозначает вероятность ложного сходства биометрических параметров двух личностей, второй – вероятность ложного различия параметров одной личности. Иногда

данные параметры называют ошибками первого и второго рода соответственно.

Наиболее развитыми на данный момент биометрическими технологиями являются распознавание по отпечатку пальца, радужной оболочке или сетчатке глаза, голосу и 2-D или 3-D изображению лица. Следует отметить, что дактилоскопическая идентификация превосходит почти все остальные технологии по таким характеристикам, как низкая цена оборудования, достоверность, простота процедуры получения и сравнения образцов.

Распознавание отпечатков пальцев

Отпечатки пальцев каждого человека отличаются уникальным папиллярным узором, благодаря чему возможна успешная идентификация личности [2]. Преимущество отпечатков пальцев перед другими биометрическими параметрами состоит в том, что их легко регистрировать и обрабатывать, а также они уже длительное время применяются для идентификации личности в судебной экспертизе.

Системы дактилоскопической аутентификации обнаруживают некоторую степень сходства или различия между предоставленным образцом и шаблоном из базы данных по характерным точкам или по рельефу поверхности пальца. При обработке изображения на нем выделяются ключевые точки: окончание линии узора, разветвление линии, независимые точки.

В данной работе предложен алгоритм сопоставления изображений отпечатков пальцев по рисункам папиллярных узоров на основе применения фильтра Габор и нейронной сети. Структура алгоритма приведена на Рис. 2.

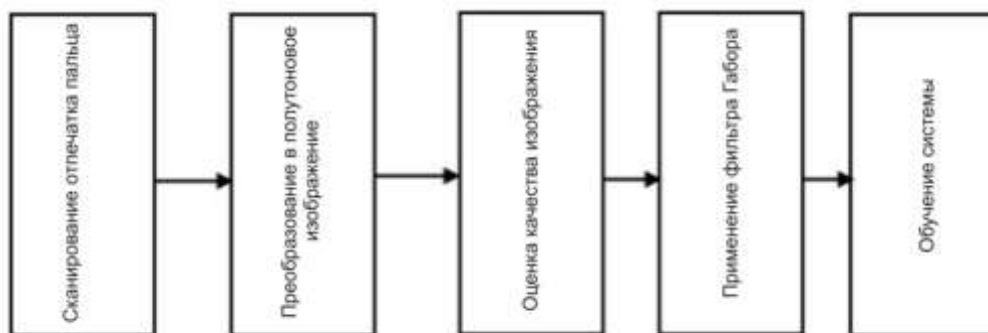


Рисунок 2. Структура алгоритма дактилоскопического сопоставления.

После сканирования и получения изображения, происходит оценка качества, которая включает в себя вычисление ориентации линий узора и определение точного направления линий на каждом пикселе. Вычисленная ориентация используется для настройки фильтра Габора, чтобы улучшить качество изображения и сегментировать линии [3]. Для увеличения средней разницы между величинами сходства и различия биометрических образцов применяется нейронная сеть с 48 входами. На основе разработанного алгоритма в системе MATLABR2015a был реализован Графический Интерфейс Пользователя (GUI) для дактилоскопической идентификации, главное окно которого представлено на Рис. 3.

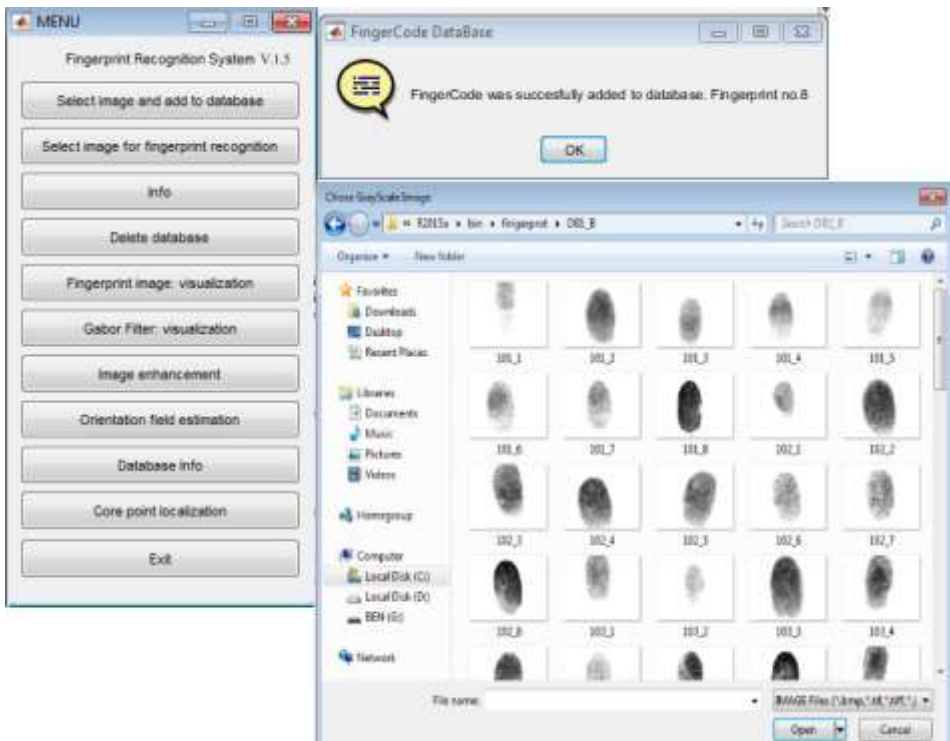
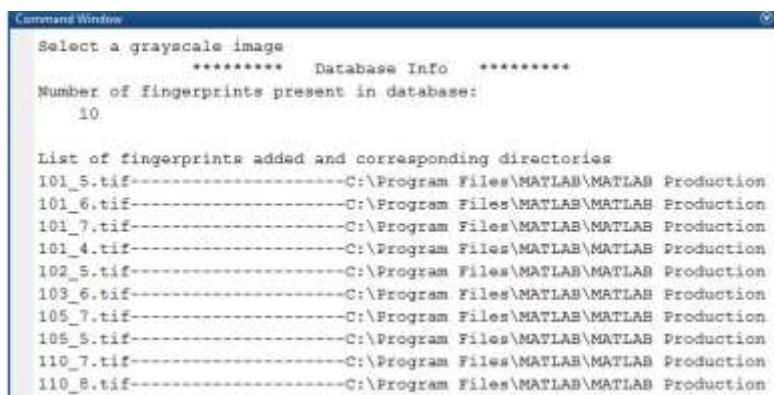


Рисунок 3. Окно главного меню и пример добавления отпечатка в БД.

При добавлении рисунков отпечатков пальцев в базу данных, они нумеруются в порядке очередности. Опция **Database info** открывает окно информации о количестве и названии изображений в БД (Рис. 4).

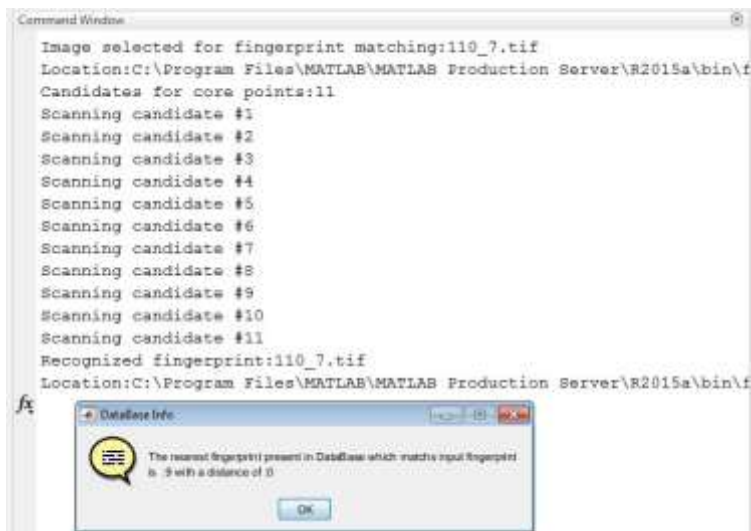


```
Command Window
Select a grayscale image
***** Database Info *****
Number of fingerprints present in database:
    10

List of fingerprints added and corresponding directories
101_5.tif-----C:\Program Files\MATLAB\MATLAB Production
101_6.tif-----C:\Program Files\MATLAB\MATLAB Production
101_7.tif-----C:\Program Files\MATLAB\MATLAB Production
101_4.tif-----C:\Program Files\MATLAB\MATLAB Production
102_5.tif-----C:\Program Files\MATLAB\MATLAB Production
103_6.tif-----C:\Program Files\MATLAB\MATLAB Production
105_7.tif-----C:\Program Files\MATLAB\MATLAB Production
105_5.tif-----C:\Program Files\MATLAB\MATLAB Production
110_7.tif-----C:\Program Files\MATLAB\MATLAB Production
110_8.tif-----C:\Program Files\MATLAB\MATLAB Production
```

Рисунок 4.Окно информации о БД.

Меню **Selectimage for finger printrecognition** открывает окно выбора изображения, подлежащего идентификации. После загрузки инициируется процесс сравнения введенного образца и шаблонов из БД. В командной строке MATLAB отображается количество ключевых точки списокшаблонов,по которым выполняется сопоставление.Результатидентификации приведен на Рис.5.



```
Command Window
Image selected for fingerprint matching:110_7.tif
Location:C:\Program Files\MATLAB\MATLAB Production Server\R2015a\bin\
Candidates for core points:11
Scanning candidate #1
Scanning candidate #2
Scanning candidate #3
Scanning candidate #4
Scanning candidate #5
Scanning candidate #6
Scanning candidate #7
Scanning candidate #8
Scanning candidate #9
Scanning candidate #10
Scanning candidate #11
Recognized fingerprint:110_7.tif
Location:C:\Program Files\MATLAB\MATLAB Production Server\R2015a\bin\

Database Info
The nearest fingerprint present in Database which matches input fingerprint is 9 with a distance of 0
OK
```

Рисунок 5.Идентификация отпечатка пальцев.

Заключение

При тестировании разработанного алгоритма показатели ошибок FAR и FRR составили соответственно 0.001% и 0.7%. Дальнейшие улучшения указанных вероятностных характеристик могут быть достигнуты только путем

извлечения и обработки большего количества информации об объекте идентификации. Таким образом, разработанный модуль дактилоскопический идентификации следует объединить с модулями голосовой и лицевой идентификации, формируя мультибиометрическую систему. Подобный подход имеет потенциальные преимущества в виде повышения надежности и устойчивости к подделкам. Интеграция в данной мультибиометрической системе таких традиционных аутентификационных методов, как парольная или радиочастотная аутентификации, позволит преодолеть трудности распознавания искаженных или некачественных образцов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Болл Р.М., Коннел Дж.Х., Панканти Ш., Ратха Н.К., Сеньор Э.У. Руководство по биометрии. М.: Техносфера, 2007. С. 368.
2. Карпунин Е.О. Технологии и методы защиты инфокоммуникационных систем и сетей. Учебное пособие для вузов. М.: Горячая линия-Телеком, 2020. С.120.
3. Bernard S., Boujema N., Vitale D., Bricot C. Fingerprint segmentation using the phase of multiscale Gabor wavelets // The 5thAsianConf. on Computer Vision. Melbourne, Australia, 2002. PP. 27–32.

DEVELOPMENT OF A DACTYLOSCOPIC MODULE FOR A HYBRID MULTIBIOMETRIC AUTHENTICATION SYSTEM

B. Badalyan¹, H. Gomtsyan¹, M. Margaryan²

ABSTRACT

The paper discusses the main methods, characteristics and complexities of the implementation of biometric authentication systems. The MATLAB environment implements an algorithm for recognizing fingerprints by papillary patterns based on the Gabor filter and a neural network. The possibility of integrating this fingerprint module into a hybrid multibiometric authentication system is considered.

Keywords: authentication, biometric parameters, fingerprints, Gabor filter, database.

ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ МНОГОСЛОЙНЫХ ОПТИЧЕСКИХ ФИЛЬТРОВ ДЛЯ ЗАЩИТЫ ЧУВСТВИТЕЛЬНЫХ ПРИЕМНИКОВ ИНФРАКРАСНОЙ ОБЛАСТИ В 10 МКМ ДИАПАЗОНЕ

О.В. Багдасарян¹, Т.М. Князян¹, Т.Т. Оганесян¹, Г.Р. Мардоян²

¹Национальный политехнический университет Армении

²Инженерный городок

hovik@seua.am, ktamara@seua.am

АННОТАЦИЯ

Данная работа посвящена электромагнитному моделированию многослойных оптических фильтров, защищающих высокочувствительные приемники инфракрасного диапазона (в области 10 мкм) от высокоинтенсивного лазерного излучения. Электромагнитное моделирование проведено численно на основе метода единого выражения. Получены спектральные характеристики многослойных отражательных структур для работы в инфракрасной области 10 мкм.

Ключевые слова: оптический фильтр, многослойная структура, защита оптического приемника, инфракрасная область, численное моделирование.

Введение

В настоящее время инфракрасный (ИК) диапазон электромагнитного излучения широко используется в различных областях науки и техники. Это: системы оптической связи, медицинские системы, мониторинг окружающей среды, дистанционное тепловое зондирование, ИК спектроскопия, ИК тепловизионные камеры и системы слежения (наблюдения) военного и гражданского назначения [1–3].

Все вышеупомянутые области применения ИК излучения используют различные полосы ИК диапазона, простирающегося от красного края видимого света до микроволнового диапазона. В свою очередь, ИК диапазон подразделяется на несколько спектральных диапазонов в зависимости от длины волны и делится на ближний ИК, средний ИК и дальний ИК диапазоны. Ближний ИК диапазон состоит из длин волн от 0,75 мкм до 1,4 мкм. Средний ИК диапазон включает коротковолновый ИК (КВИК) диапазон с длинами волн от 1,4 мкм до 3 мкм, средневолновый ИК (СВИК) диапазон с длинами волн от 3 мкм до 8 мкм и длинноволновый ИК (ДВИК) диапазон с длинами волн от 8 мкм до 15 мкм. Дальний ИК диапазон простирается от 15 мкм до 1 мм [1].

Одним из важных направлений научных и практических исследований является применение ИКизлучения в приборах и системах ночного видения, работающих в тех частях ИКдиапазона, где атмосферные потери минимальны, т.е. в так называемых «окнах прозрачности» [1–3]. Наряду со всеми полезными применениями ИКизлучения, источники высокоинтенсивного ИКизлучения (а именно ИКлазеры) могут оказывать серьезное вредное воздействие на глаза человека и чувствительные ИКоптические приемники. В связи с этим возникает острая потребность в защите глаз человека и оптических приемников от вредного воздействия высокоинтенсивного ИК излучения. Обычно этого можно достичь, используя методы фильтрации. В лабораториях для защиты глаз от воздействия лазерного излучения определенного диапазона длин волн используют специальные защитные очки из тонированных или цветных материалов. Однако по-прежнему существует острая потребность в защите высокочувствительных ИКприемников от мощных военных лазеров [4–6].

Настоящая статья посвящена корректному электромагнитному моделированию в масштабе длины волныотражательных многослойных узкополосных оптических фильтров, защищающих от вредного ИК излучения в диапазоне ДВИК. Последнее обусловлено наличием специфических ИК лазерных источниковвысокой мощности, которые используются в качестве «киллеров» ИК-приемников. Эти специальные фильтры должны иметь высокую отражательную способность в области излучения мощных CO₂ лазеров, сохраняя при этом отражательную способность на умеренном уровне за пределами этой полосы. Предлагаемые фильтры состоят из распределенных брэгговских отражателей (РБО) с повторяющимися четвертьволновыми двухслойкамииз Si/GaAs, работающих в спектральном диапазоне от 8 мкм до 12 мкм на центральной длине волны 10 мкм.Электромагнитное моделирование этих типов фильтров намипроводится методом единого выражения (МЕВ). МЕВ применяется для решения большого числаграничных задач в линейных и нелинейных (зависящих от интенсивности) задачахэлектродинамики, таких как: взаимодействие плоской электромагнитной волны с нелинейными многослойными структурами в масштабе длины волны [7] и с учетом потерь [8].

Суть МЕВ заключается в представлении общего решения уравнения Гельмгольца для линейно поляризованной компоненты электрического поля $E_x(z)$ в специальной форме единого выражения:

$$E_x(z) = U(z) \cdot \exp(-iS(z)), \quad (1)$$

где $U(z)$ и $S(z)$ – реальные величины, описывающие соответственно амплитуду и фазу результирующего электрического поля. Выражение (1) является альтернативой для стационарного решения уравнения Гельмгольца вместо широко принятого представления общего решения в виде встречных волн.

Результаты численного моделирования

Хорошо известная структура отражательных многослойных оптических фильтров представляет собой РБО, состоящий из повторяющихся четвертьволновых двухслоек с высокими и низкими значениями диэлектрических проницаемостей [9,10]. Этот тип структуры обеспечивает наивысшую отражательную способность на центральной длине волны, называемой брэгговской длиной волны $\lambda_{0Бр}$, с характерной полосой отражения, сопровождаемой боковыми лепестками с более низким коэффициентом отражения с обеих сторон этой полосы. Из всех возможных конфигураций РБО в данном исследовании выбрана структура, начинающаяся и заканчивающаяся четвертьволновым слоем с высокой диэлектрической проницаемостью, так как она обеспечивает наибольшую отражательную способность на центральной длине волны [8].

Проведено исследование в масштабе длины волны при нормальном падении ИК излучения ДВИК-диапазона на структуру РБО, состоящую из $N=30$ двухслоек высокой $\varepsilon_{выс} = 11,7$ (Si) и низкой $\varepsilon_{низ} = 10,7$ (GaAs) диэлектрическими проницаемостями, окруженную с обеих сторон воздухом с $\varepsilon = 1$. Коэффициент отражения R структуры рассчитан для диапазона длин волн (8 ÷ 12) мкм и представлен на Рисунке 1.

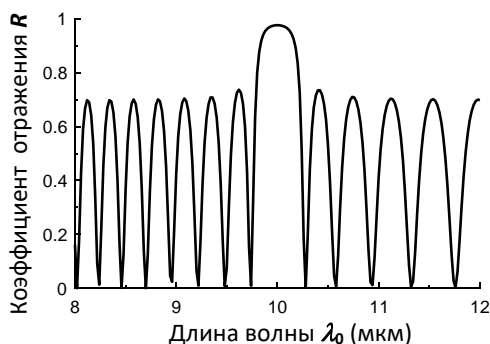


Рис. 1. Коэффициент отражения РБО структуры, состоящей из $N = 30$ двухслоек плюс одного четвертьволнового слоя и окруженных с обеих сторон воздухом. Расчетная

длина волны $\lambda_{0Br} = 10 \text{ мкм}$, а толщины РБО слоев

$$d_{выс} = \frac{\lambda_{0Br}}{4\sqrt{\epsilon_{выс}}} = 0,731 \text{ мкм} \text{ и } d_{низ} = \frac{\lambda_{0Br}}{4\sqrt{\epsilon_{низ}}} = 0,764 \text{ мкм}.$$

Как видно, коэффициент отражения имеет полосу непропускания вблизи центральной (брэгговской) длины волны на $\lambda_{0Br} = 10 \text{ мкм}$ с наибольшим коэффициентом отражения около $R_{Br} = 0,9$ и характерные боковые лепестки с наибольшим коэффициентом отражения $R = 0,7$. Высокий уровень боковых лепестков не позволит применить структуру в качестве узкополосного оптического фильтра из-за низкой средней прозрачности за пределами полосы отражения.

Для уменьшения коэффициента отражения боковых лепестков предлагается разместить структуру на четвертьволновой подложке с диэлектрической проницаемостью $\epsilon_{под} = 3,42$ и покрыть ее с освещенной стороны согласующим слоем с диэлектрической проницаемостью $\epsilon_{согл} = \sqrt{\epsilon_{выс}} = 3,42$. Такое значение диэлектрической проницаемости соответствует, например, карбонату магния-кальция $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ и доломиту (показатель преломления $n=1,842$ на 10 мкм) [11]. Структура РБО, окруженная четвертьволновой подложкой и согласующим слоем, представлена на рисунке 2.

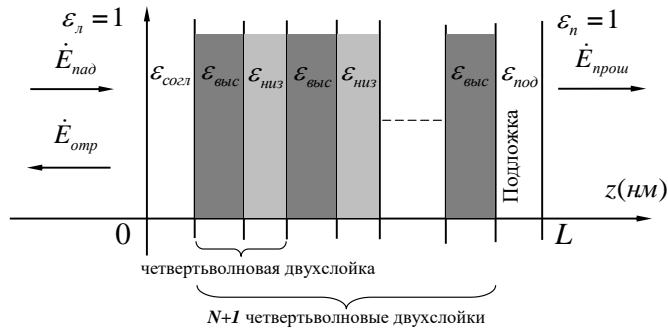


Рис. 2. Схематическое представление РБО структуры, состоящей из N двухслоек плюс одного четвертьволнового слоя и окруженной четвертьволновой подложкой и согласующим слоем.

Толщина согласующего слоя выбрана равной четверти длины волны $d_{согл} / \lambda_{согл} = 0,25$, где $\lambda_{согл} = \lambda_{0Br} / \sqrt{\epsilon_{согл}}$ — длина волны в согласующем слое. В этом случае удастся не только снизить средние амплитуды боковых

лепестков, но и обеспечить симметрию с обеих сторон центральной области. Увеличивая количество двухслоек для структуры с четверть волновыми согласующим слоем и подложкой, можно увеличить коэффициент отражения на брэгговской длине волны. Коэффициенты отражения и прохождения (в логарифмическом масштабе) структуры для $N = 45$ двухслоек представлены, соответственно, на Рис. 3а и 3б.

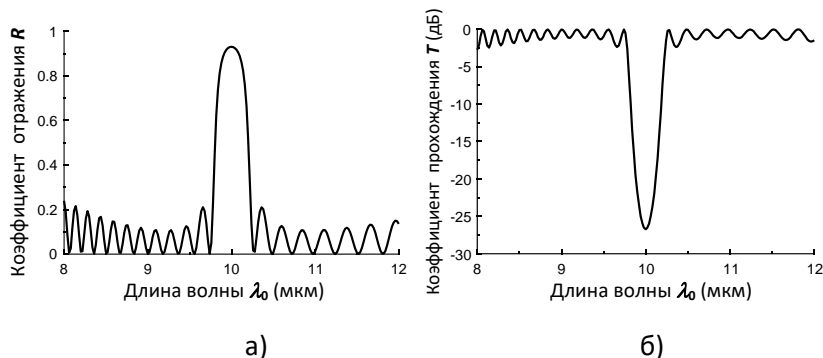


Рис. 3. Коэффициенты отражения R (а) и прохождения $T=1-R$ (в логарифмическом масштабе) (б) РБО структуры, состоящей из $N=45$ двухслоек плюс одного четвертьволнового слоя (параметры приведены выше) и окруженной четвертьволновыми подложкой и согласующим слоем с одинаковыми диэлектрическими проницаемостями $\epsilon_{под} = 3,42$ и $\epsilon_{согл} = 3,42$, где $d_{под} = d_{согл} = 1,352 \text{ мкм}$.

При увеличении числа двухслоек, наряду с увеличением коэффициента отражения структуры и сужением ширины спектра, увеличивается и количество боковых лепестков, в то время как их средний коэффициент отражения остается умеренным.

Закключение

Результаты моделирования показывают, что можно получить желаемые спектральные характеристики защитных многослойных отражательных оптических фильтров в заданном диапазоне частот путем изменения числа двухслоек и толщин подложки и согласующего слоя, покрывающего структуру.

Благодарность: Исследование выполнено при финансовой поддержке Комитета по науке МОНКСРП в рамках научного проекта № 18Т-2J360.

ЛИТЕРАТУРА

1. Rogalski A., Chrzanowski K. Infrared devices and techniques (revision) // Metrology and Measurement Systems XXI, No. 4, 2014. PP. 565–618.

2. FLIR Systems Inc. The Ultimate Infrared Handbook for R&D Professionals. <https://www.flir.com> (2012). Accessed 15 January 2018.
3. *Vollmer M., Möllmann Kl.* Infrared Thermal Imaging: Fundamentals, Research and Applications. Wiley-VCH, 2018. PP. 788.
4. Artemis Optical. Artemis eyes wider market for laser protection filters. <http://optics.org/news/8/4/6> (2017). Accessed 7 July 2016.
5. *Donval A., Fisher T., Lipman O. and Oron M.* Smart filters – protect from laser threats. In: Laser Technology for Defense and Security X (eds. Dubinskii M., Post S. G.), Proc. of SPIE9081, 2014. PP. 90810A-1- 90810A-7.
6. *Gralewicz G. & Owczarek G.* Analysis of the selected optical parameters of filters protecting against hazardous infrared radiation // International Journal of Occupational Safety and Ergonomics (JOSE) 22, No. 3, 2016. PP. 305–309.
7. *Baghdasaryan H., Knyazyan T.* Problem of plane EM wave self-action in multilayer structure: an exact solution. // Opt. Quant. Electron. 31, 1999. PP. 1059–1072.
8. *Baghdasaryan H., Knyazyan T., Baghdasaryan T., Witzigmann B., Roemer F.* Absorption loss influence on optical characteristics of multilayer distributed Bragg reflector: wavelength-scale analysis by the method of single expression // Opto-Electron. Rev. 18, 2010. PP. 438–445.
9. *Born M., Wolf E.* Principles of Optics. Cambridge University Press, Cambridge, 2002.
10. *Heavens O.* Optical Properties of Thin Solid Films. Dover Publications Inc., 1965.
11. *Polyanskiy M.* Refractive index database. <https://refractiveindex.info>. Accessed 25 July 2021.

**ELECTROMAGNETIC MODELLING OF MULTILAYER
OPTICAL FILTERS FOR PROTECTION OF SENSITIVE
RECEIVERS OF THE INFRARED REGION IN 10 MKM RANGE**

H. Baghdasaryan¹, T. Knyazyan¹, T. Hovhannisyan¹, G. Mardoyan²

ABSTRACT

The work is devoted to electromagnetic modelling of multilayer optical filters protecting highly sensitive receivers of the infrared region (in 10 μm range) from high-intensity laser radiation. Electromagnetic modelling has been carried out numerically on the basis of the method of single expression. The spectral characteristics of multilayer reflective structures for operation in the infrared region of 10 μm are obtained.

Keywords: optical filter, multilayer structure, optical receiver protection, infrared range, numerical modelling.

УДК 538.956

ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ВОСПРИИМЧИВОСТЬ БИЭКСИТОНОВ В СИЛЬНО СПЛЮСНУТОЙ ЭЛЛИпсоИДАЛЬНОЙ КВАНТОВОЙ ТОЧКЕ

Л.А. Тадевосян

*Российско-Армянский университет
mrvosyan@gmail.com*

АННОТАЦИЯ

В данной работе была теоретически исследована электрическая восприимчивость биэкситонов в сильно сплюснутой эллипсоидальной квантовой точке. Приведены теоретические расчеты электрической восприимчивости биэкситонов в зависимости от размеров большой и малой полуосей сильно сплюснутой эллипсоидальной квантовой точки. Приведена моделирование данной зависимости с помощью расчетных точек.

Ключевые слова: сильно сплюснутая эллипсоидальная квантовая точка, электрическая восприимчивость, поляризуемость.

Введение

Квантовые точки являются одним из самых исследуемых объектов в 21-ом веке. Именно из-за того что геометрию и размеры квантовых точек можно менять, получая квантовые точки разных видов и размеров. Это дает нам возможность получать квантовые точки с разными физическими характеристиками. Именно зависимость энергетического спектра от размеров наночастиц, дает нам возможности использовать квантовые точки в разных новейших технологиях. Квантовые точки используются в оптоэлектронике, микроэлектронике, энергетике а так же в медицине и биологии. За последние годы исследование разных характеристик квантовых точек является одним из важнейший направлений в квантовой физике. В данной работе теоретически была рассчитана электрическая восприимчивости биэкситонов в сильно сплюснутой эллипсоидальной квантовой точке при режиме сильного квантования [1–5].

Электрическая восприимчивость

Пусть стационарные состояния атома описываются решениями уравнения Шредингера

$$H|n\rangle = E_n|n\rangle$$

Пусть вектор $|0\rangle$ соответствует основному состоянию. Давайте вычислим электрическую поляризуемость атома α (это есть электрическая восприимчивость χ вещества, содержащего N атомов в 1 см^3). [6]

Поместим атом в электрическое поле ε , которое направленно вдоль оси z . Тогда на него действует возмущение

$$W = e\varepsilon \sum_{\lambda} z_{\lambda}$$

где e – заряд электрона, а индекс λ нумерует атомные электроны. Давайте напишем уравнение в первом порядке теории возмущения.

$$(H + W)|\psi\rangle \geq E|\psi\rangle$$

Решение будет вектором состояния

$$|\psi\rangle \geq |0\rangle + \sum_n' \frac{\langle n|W|0\rangle}{E_0 - E_n} |n\rangle$$

Также можем записать как

$$|\psi\rangle \geq |0\rangle + e\varepsilon \sum_n' \frac{\langle n|\sum z_{\lambda}|0\rangle}{E_0 - E_n} |n\rangle$$

Среднее значение проекции дипольного момента атома на направление поля определяется формулой

$$p_z = -e \langle \psi | \sum_{\lambda} z_{\lambda} | \psi \rangle$$

То есть имеем (с точностью до членов первого порядка малости включительно)

$$\begin{aligned} p_z = -e & \left\{ \langle 0 | \sum_{\lambda} z_{\lambda} | 0 \rangle \right. \\ & + \sum_n' \left[\frac{\langle n|W|0\rangle}{E_0 - E_n} \langle 0 | \sum_{\lambda} z_{\lambda} | n \rangle + \frac{\langle 0|W|n\rangle}{E_0 - E_n} \right. \\ & \left. \left. \langle n | \sum_{\lambda} z_{\lambda} | 0 \rangle \right] \right\} \end{aligned}$$

Первый член данной формулы есть дипольный момент невозмущенного атоме. Второй член показывает дипольный момент, индуцированный полем. Давайте его обозначим $P_{\text{инд}}$. Определяя поляризуемость атома α равенством, можем найти α

$$P_{\text{инд}} = \alpha \varepsilon$$

$$\alpha = 2e^2 \sum_n' \frac{|\langle n | \sum z_\lambda | 0 \rangle|^2}{E_n - E_0}$$

E_0 есть энергия основного состояния поэтому знаменатель в этом выражении положительный. Из этого следует, что поляризуемость α также является положительной [7].

χ (электрическая восприимчивость) есть коэффициент пропорциональности между напряженностью поля и поляризацией вещества $P = NP_{\text{инд}}$:

$$P = \chi \varepsilon$$

то есть

$$\chi = 2Ne^2 \sum_n' \frac{|\langle n | \sum z_\lambda | 0 \rangle|^2}{E_n - E_0}$$

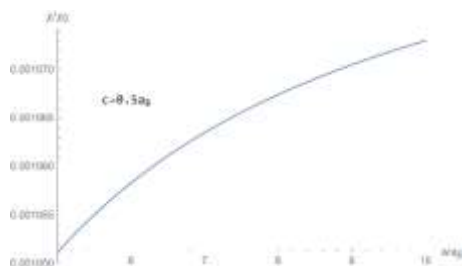
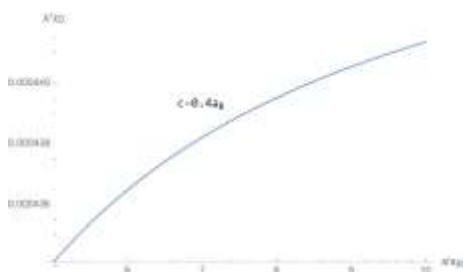
из этого следует что $\chi > 0$.

Обозначим $2Ne^2$ как χ_0 и для электрической восприимчивости получим

$$\chi = \chi_0 \sum_n' \frac{|\langle n | \sum z_\lambda | 0 \rangle|^2}{E_n - E_0}$$

Расчеты и обсуждение

Проведем расчеты и найдем зависимость χ (электрическая восприимчивость) от размеров нашей ССЭКТ. На Рис. 1. приведена зависимость электрической восприимчивости χ от большой полуоси эллипсоида, принимая, что размер маленькой полуоси фиксированный.



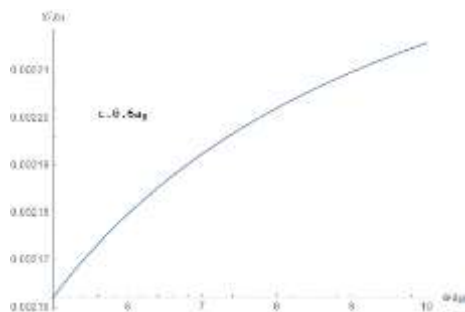


Рис. 1. Зависимость электрической восприимчивости от размера большой полуоси при разных фиксированных значениях маленькой полуоси.

Также были проведены исследования зависимости электрической восприимчивости от маленькой полуоси эллипсоида при фиксированном размере большой полуоси. Эти расчеты показаны на Рис. 2.

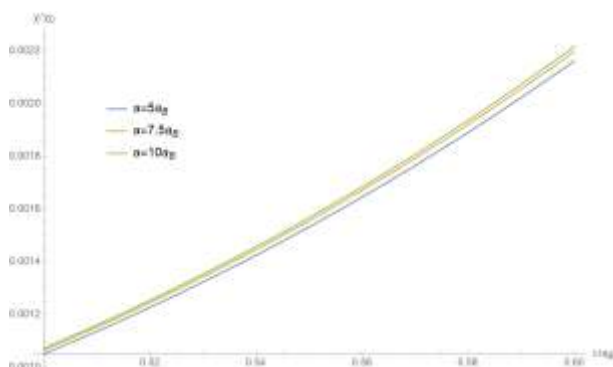


Рис. 2. Зависимость электрической восприимчивости от размера маленькой полуоси, при разных фиксированных значениях большой полуоси.

Сравнив рисунки, мы можем сказать, что зависимость электрической восприимчивости от маленькой полуоси более чувствительна, что является следствием более сильного размерного квантования.

Отметим, что нами было проведено моделирование графика зависимости и показано, что зависимость электрической восприимчивости от большой и маленькой полуоси носит экспоненциальный характер.

На Рис. 3 показано, что расчетные точки с большой точностью совпадают с функцией

$$\alpha + \beta e^{\gamma c}$$

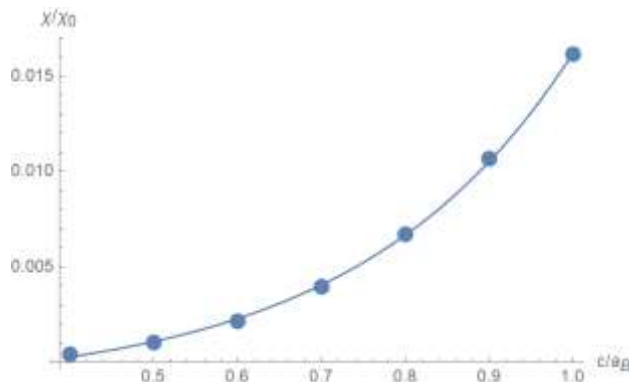


Рис. 3. Расчетные точки и моделированная функция.

Параметры моделирования для данного случая принимали значения

$$\alpha = -0,00141686, \beta = 0,000358 \text{ и } \gamma = 3,8979.$$

Отметим, что все рисунки и расчеты были проведены для режима сильного квантования.

ЛИТЕРАТУРА

1. Галицкий В.М., Карнаков Б.М., Коган В.И. Задачи по квантовой механике, М. «Наука», 1992.
2. Левич В.Г., Вдовин Ю. А., Мямлин В.А. Курс теоретической физики. Т. 2. М.: «Наука», 1971.
3. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Теоретическая физика. Т. 3. Квантовая механика. Нерелятивистская теория. М., 1989.
4. Hayrapetyan, D., Dvoyan, K. and Kazaryan, E., Direct interband light absorption in a strongly oblate ellipsoidal quantum dot. Journal of Contemporary Physics (Armenian Academy of Sciences), 42(4), 2007. PP.151–157.
5. Baghdasaryan, D., Hayrapetyan, D. and Kazaryan, E. Prolate spheroidal quantum dot: Electronic states, direct interband light absorption and electron dipole moment. Physica B: Condensed Matter, 479, 2015. PP. 85–89.
6. Флюгге З. Задачи по квантовой механике. Т. 2. М., 1974.

ELECTRIC SUSCEPTIBILITY OF BIEXCITONS IN A STRONGLY OBLATE ELLIPSOIDAL QUANTUM DOT

L. Tadevosyan

ABSTRACT

In this work, we theoretically studied the electrical susceptibility of biexcitons in a strongly oblate ellipsoidal quantum dot. The theoretical calculations of the electrical susceptibility of biexcitons as a function of the sizes of the major and minor semiaxes of a strongly oblate ellipsoidal quantum dot are presented, as well as the modeling of this dependence with the help of calculated points is shown bellow.

Keywords: strongly oblate ellipsoidal quantum dot, dielectric susceptibility, polarizability.

СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ АНТЕННЫМИ ИЗМЕРЕНИЯМИ ПО БЛИЖНЕМУ ПОЛЮ

С.Р. Тадевосян¹, В.Г. Аветисян^{1,2}

¹Российско-Армянский университет

*²Ереванский Научно-исследовательский институт средств связи
tad.sus.94@gmail.com, avahan@mail.ru*

АННОТАЦИЯ

В данной статье был изучен ближний метод измерения параметров антенн миллиметрового диапазона, в частности, система автоматического управления (САУ); был написан алгоритм логики работы САУ, а также было реализовано ПО для ее проверки в программной среде LabVIEW.

Ключевые слова: ближний метод измерения параметров антенн, миллиметровый диапазон, САУ, алгоритм, LabVIEW.

Введение

Вопрос проведения испытаний антенных устройств радиоэлектронных систем, работающих в миллиметровом диапазоне волн, является важным, поскольку антенные системы являются их неотъемлемой частью. Выбор того или иного метода измерений параметров антенных устройств зависит от точности результатов и размеров испытываемой антенной системы.

Метод ближнего поля антенных измерений на сегодняшний день применяется в различных передовых областях, применяющих радиоэлектронные устройства, при испытаниях автомобильных радаров, в связи, при тестировании антенн мобильных телефонов и т.д., благодаря наиболее точным результатам проведенных испытаний по сравнению с остальными методами.

Система антенных измерений ближнего поля – это автоматический измерительный комплекс, состоящий из следующих основных подсистем: подсистема электронного сканирования ближнего поля, радиоизмерительная подсистема, подсистема автоматического управления измерениями, и подсистема математической обработки данных.

Подсистема автоматического управления (САУ) измерениями позволяет выполнять управление движениями зонда, давать команду о снятии информации и т.д.

Система автоматического управления должна соответствовать следующим основным критериям:

1. Величина шага съема информации зондом должна быть равна порядка несколько длин волн до четверти волны частоты измерений;

2. Обеспечение минимальной ошибки позиционирования зонда и т.д.

Целью работы является изучение логики работы САУ, написание блок-схемы ПО данной логики и реализация ПО для ее проверки в программной среде LabVIEW.

Подсистема автоматического управления измерениями (САУ)

Нами рассматривается подсистема автоматического управления измерениями. Вся подсистема основана на датчике перемещения зонда, который представляет собой диск с прорезями для шаговых перемещений и еще одной щели для проверки выхода зонда за зону сканирования по координате X, каретки для перемещения по координате Y и контроллере для обработки полученных данных от датчиков.

Идея работы состоит в том, чтобы, изучив САУ в работе [1], упростить схему САУ, применяя распространенные на сегодняшний день STM контроллеры и ПЛИС-ы.

Изменения, введенные в работу [2] представляют собой то, что, если до этого вся электронная часть состояла из отдельных блоков, выполняющих ту или иную бинарную операцию, как это представлено на Рис.1, то при реализации предлагаемых изменений, заключающихся в том, чтобы работу всех имеющихся блоков заменить ПО на контроллер или на ПЛИС-е, обеспечивается увеличение быстродействия всей системы САУ. Блок-схема предлагаемой системы представлена на Рис.2.

Опишем для начала работу системы на Рис.1.

В исходном состоянии, в начале перемещения X-каретки зонд пересекает нижнюю границу зоны сканирования. При пересечении границы амплитуда импульса зоны сканирования поступает на компаратор нижней границы прямого хода, где она сравнивается с поступающим на его второй вход постоянным напряжением от источника напряжений. В результате сравнения на его выходе генерируется импульс, который переключает состояние триггера прямого хода с нуля на постоянное значение. При этом на выходе второго триггера получаем нулевое значение.

Постоянное ненулевое значение на выходе одного из триггеров переключает элемент ИЛИ на положительный выход, который подается на элемент И, который ждет, пока не придет шаговый импульс от шагового датчика. После прихода шагового импульса на выходе элемента И появляется положительное значение, дающий команду интерфейсу о чтении измеренных данных.

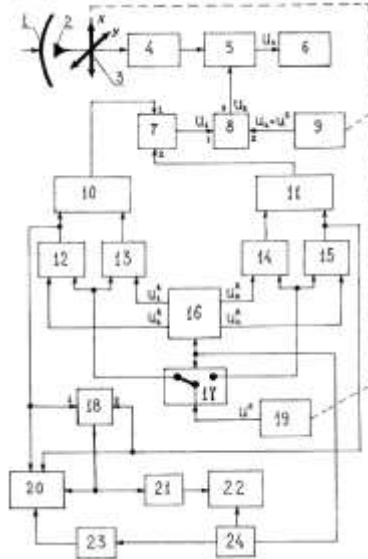


Рис. 1. Блок схема системы автоматического управления в работе: 1 – испытуемая антенна, 2 – зонд, 3 – механический сканер, 4 – амплифазометр, 5 – интерфейс, 6 – блок обработки и выдачи данных, 7 – элемент ИЛИ-1, 8 – элемент И, 9 – шаговый фотодатчик, 10 – триггер канала прямого движения зонда, 11 – триггер канала обратного движения зонда, 12 – компаратор верхней границы, 13 – компаратор нижней границы, 14 – компаратор верхней границы, 15 – компаратор нижней границы, 16 – источник опорных управляемых постоянных напряжений, 17 – коммутатор зонного фотодатчика, 18 – элемент ИЛИ-2, 19 – зонный фотодатчик, 20 – привод Х-каретки, 21 – реле времени, 22 – гидропривод Y-каретки, 23 – реле времени, 24 – лазерный датчик положения Y-каретки.

При пересечении зондом верхней границы зоны сканирования зонный импульс поступает на второй компаратор и сравнивается с постоянным напряжением источника напряжений. Результатом является импульс на его выходе, который переключает состояние триггера прямого хода с нуля на постоянное значение. При этом на выходе второго триггера – нулевое значение. Дальнейшие шаги повторяются.

В момент, когда зонд пересекает верхнюю границу зоны сканирования, положительное значение с выхода компаратора подается на второй элемент ИЛИ, другой его вход подключен к компаратору обратного хода сравнивающего импульса зоны сканирования с постоянным напряжением соответствующего нижней границе. В этом случае элемент ИЛИ имеет на своем выходе положительное значение, говорящее о смене направления движения каретки [3].

При этом положительные значения на выходах этих двух компараторов подаются на входы X-каретки и, соответственно, останавливают ее.

Выход второго элемента ИЛИ также запускает временную задержку, которая по истечению данного времени запускает Y-каретку. В то время как Y-каретка совершает шаг, приходит импульс от его фотодатчика (лазера), который запускает вторую задержку во времени, после чего X-каретка начинает свое движение. Так же данный импульс переключает выход зонного импульса либо на прямой ход, либо на обратный.

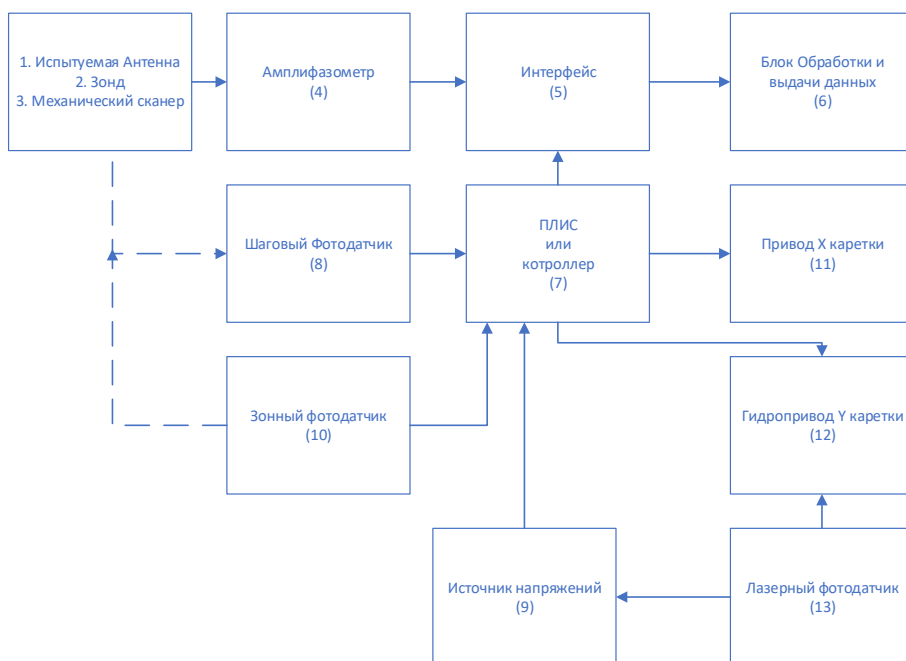


Рис. 2. Блок схема модернизированной системы автоматического управления измерениями.

Теперь же перейдем к описанию предлагаемых изменений.

Элементы на Рисунке 1: 7 – Элемент ИЛИ-1, 8 – элемент И, 10 – триггер канала прямого движения зонда, 11 – триггер канала обратного движения зонда, 12 – компаратор верхней границы, 13 – компаратор нижней границы, 14 – компаратор верхней границы, 15 – компаратор нижней границы, 17 – коммутатор зонного фотодатчика, 18 – элемент ИЛИ-2, 21 – реле времени, 23 – реле времени – заменяются на ПО реализованного на контроллере или на ПЛИС-е Рисунке 2.

Для проверки правильности алгоритма было разработано программное обеспечение в программной среде LabVIEW, полностью соответствующее ранее описанной блок-схеме, сигналы от датчиков были просимулированы программой.



Рис.3. ПО для проверки логики алгоритма.

Как можем увидеть из приведенного выше рисунка, команды на интерфейс, т.е. команды на момент снятия информации полностью соответствуют входным данным датчиков и полностью соответствует логике работы САУ.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Аветисян В.Г.* Автоматические измерительные комплексы для определения характеристик антенн методом ближнего поля в диапазоне миллиметровых волн»: Автореф. ... канд. техн. наук : 05.12.02 / НИИ Радиофизики.
2. *Herouni P.* History of NF-FF and holography in the UUSR // Trans. of XIV ESA Symp. on Antenna Measurements, ESTES, Netherlands, 1991. PP. 5–18.

3. Joy E. Near-field testing of radar antennas // Microwave J., January 1990. PP. 119–130.

**NEAR FIELD AUTOMATIC CONTROL SYSTEM FOR
ANTENNA MEASUREMENTS**

S. Tadevosyan¹, V. Avetisyan^{1,2}

¹*Russian-Armenian University*

²*Yerevan Scientific Research Institute of Communications*

tad.sus.94@gmail.com, avahan@mail.ru

ABSTRACT

In this work, a near field method for measuring the parameters of millimeter-wave antennas was studied. In particular, the automatic control system (ACS), the algorithm of the ACS operation logic was written, and software was also implemented to check it in the LabVIEW software environment.

Keywords: a near field method for measuring antenna parameters, millimeter range, ACS, algorithm, LabVIEW.

**ՏԻԵԶԵՐԱԿԱՆ ՃԱՌԱԳԱՅԹՆԵՐԻ ԱՆԿՅՈՒՆԱՅԻՆ ԲԱՇԽՄԱՆ
ԱՌԱՆՁՆԱՀԱՏԿՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԸ**

Ա.Ա.Թարոյան, Է.Պ.Կոկանյան, Յ.Ա.Թարոյան, Ն.Ն.Մխիթարյան

*Խ.Արքովյանի անվան հայկական պետական մանկավարժական
համալսարան
arsen.taroyan@mail.ru*

Հետազոտվել է տիեզերական ճառագայթների ուժգնության անկյունային բաշխումը: Գնահատվել է փափուկ և կոշտ բաղադրիչների գումարային ուժգնության փոփոխությունը ըստ երկու տարբեր էմպիրիկ բանաձևերի:

Հիմնաբառեր՝ տիեզերական ճառագայթներ, ճառագայթակտիվ հոսքի ուժգնության, անկյունային բաշխում, կլանման հետազոտում:

Առաջնային գալակտիկական տիեզերական ճառագայթները ժամանակի ընթացքում անփոփոխ են, իսկ տարածության մեջ՝ իզոտրոպ [4]: Այն հիմնականում կազմված է պրոտոններից, որոնք կազմում են բոլոր առաջնային մասնիկների և ատոմային միջուկների 90%-ը, α -մասնիկները կազմում են 7%-ը, իսկ մնացած 3%-ը կազմում են ատոմային միջուկներ՝ ընդհուպ մինչև ամենաձանր միջուկները, ինչպես նաև կան ոչ մեծ քանակության էլեկտրոններ, պոզիտրոններ և նեյտրոններ [5]:

Տիեզերքիցեկող առաջնային տիեզերական ճառագայթները (օրինակ՝ պրոտոն, կամ α -մասնիկ) ունենալով համեմատաբար մեծ զանգված և էներգիայի մեծ պաշար 10^{15} էՎ կարգի), ծովի մակերևույթից 15÷20կմ բարձրությունում, օդի մոլեկուլների ատոմների միջուկների հետ, բխման արդյունքում առաջացնում է մեծ թվով փափուկ և կոշտ մասնիկներ: Կոշտ միջուկակապիվ մասնիկներն են հիմնականում՝ π -մեզոնները՝ դրական, բացասական և չեզոք (պիոններ): Դրական և բացասական լիցքակիր պիոնները ունեն 273 էլեկտրոնի զանգված, և միջուկակապիվ ադրոնների խմբում ամենափոքր զանգվածով մասնիկներն են [7]: Պիոնները լինելով անկայուն և ունենալով կյանքի կարճ տևողություն իսկույն տրոհվում են: Օրինակ՝ բացասական պիոնը տրոհվում է ոչ միջուկակապիվ մասնիկի՝ բացասական μ^- -մեզոնի (մյուոն, կամ «ծանր էլեկտրոն») և նեյտրինոյի [6]: Բացասական լիցքով մյուոնը իր հատկություններով մոտ է էլեկտրոնին, ունենալով 207 էլեկտրոնի զանգված, և համեմատաբար կյանքի երկար տևողություն, ոչմիջուկակապիվ է և հանդիսանում կոշտ բաղադրիչը: Անցնելով մթնոլորտով, այն իր էներգիան

ծախսում է միայն մթնոլորտի օդի ատոմների և մոլեկուլների իոնացման վրա, և էլեկտրոնի համեմատ ունենալով 207 անգամ ավելի մեծ զանգվածկրում է էներգիայի համեմատաբար քիչ կորուստներ (օդի ատոմների և մոլեկուլների իոնացման վրա մասնիկի էներգիայի կրած կորուստները հակադարձ համեմատական է նրա զանգվածի մեծությանը) ու կարողանում է հասնել Երկրի մակերևույթը և թափանցել խորքերը:

Երևան քաղաքի պայմաններում, հետազոտվել է տիեզերական ճառագայթների ուժգնության կախվածությունը բևեռային θ -անկյունից որի համար օգտագործվել է ճառագայթների գրանցման ՓԻԿ-01 [2] տիեզերական հեռադիտակը: Հեռադիտակը բաղկացած է Հայգերի երկու հաշվիչների համակարգերից որոնք գտնվում են իրարից 40սմ հեռավորության վրա և տիեզերքից դեպի հաշվիչները եկող տիեզերական ճառագայթը, եթե միաժամանակ հատում է երկու տուփերում տեղադրված հաշվիչները, ապա նրանցում առաջացած ազդանշանների՝ դեպի դեկավարման վահանակ միաժամանակյա մուտքի դեպքում հնարավոր է ազդանշանի գրանցում, քանի որ դեկավարման սարքում աշխատող էլեկտրոնային սխեման գործում է այն դեպքում, երբ երկու տուփերի հաշվիչներից եկող ազդանշանները հասնում են էլեկտրոնային սխեմային միաժամանակ, քանի որ սարքի էլեկտրոնային սխեման աշխատում է միայն այդպիսի համընկեցման ռեժիմում: Իսկ եթե մասնիկը հատում է հաշվիչներից միայն մեկին, այն չի գրանցվում: Հեռադիտակի աշխատանքի այդ հատկությունը հնարավորություն է տալիս գրանցել միայն այն մասնիկներին, որոնց շարժման ուղղությունները համընկնում է հաշվիչները պահող բազուկի ուղղվածության ուղղության հետ, այսինքն գուգահեռմասնիկների հոսքը:

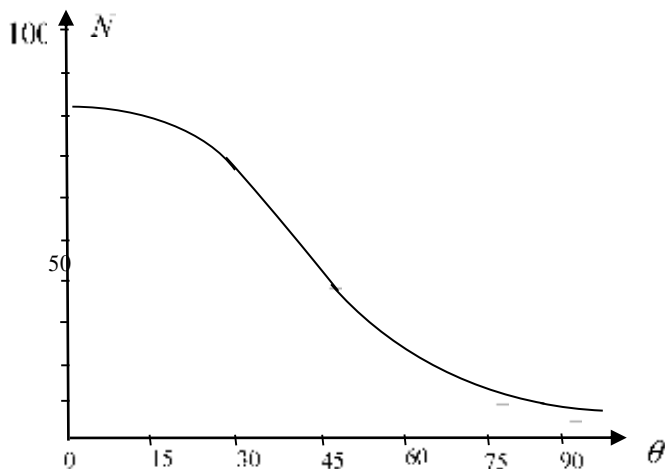
ԱՂՅՈՒՍԱԿ

Θ	N ₁	N ₂	N ₃	N ₄	N ₅	N _{միջ.}
0°	87	91	72	81	85	83,2
15°	79	68	67	103	79	79,2
30°	54	79	65	76	71	69
45°	34	44	43	39	44	40,8
60°	17	25	21	22	30	23
75°	10	13	9	15	14	12,2
90°	10	7	14	4	14	9,8

Չափումների դիտման բևեռային θ -անկյունը փոփոխվել է 0-ից 90 աստիճան անկյուններում 15-ականաստիճան քայլով: Արդյունքները բերված են աղյուսակում, իսկ մասնիկների թվերի միջինարժեքները \bar{N} միջբերված են աղյուսակի վերջին սյունակում:

Մինչև այժմ տարածված է այն ենթադրությունը, որ տիեզերական ճառագայթների ուժգնությունը փոխվում է բևեռային անկյան կոսինուսի քառակուսուն ուղիղ համեմատական՝ $I = I_0 \cos^2 \theta$, θ -ի 0-ից 90 աստիճան անկյունների տիրույթում [1], [4]: Սակայն մեր էքսպերիմենտի արդյունքներով կառուցված նկ. 1-ի գրաֆիկից պարզ երևում է, որ այդպիսի փոփոխությունը կարող է տեղ գտնել բևեռային անկյան սահմանափակ արժեքների՝ այն է 0-ից մինչև 30-աստիճան տիրույթում միայն: Իսկ 30 և 45-աստիճաններից մինչև 90-աստիճան տիրույթում այն նվազում է էքսպոնենցիալ օրենքով, այն է՝ $I_n = I_0 e^{-\mu_n L_n}$, որտեղ μ -ն կոշտ և փափուկ մասնիկների գումարային կլանման գործակիցն է մթնոլորտային օդում:

Աղյուսակի տվյալներով կառուցված գրաֆիկը պատկերված է նկարում:



Նկ. 1: Միավոր ժամանակում փափուկ և կոշտ տիեզերական ճառագայթների թվի կախվածությունը բևեռային անկյունից:

Գրաֆիկից երևում է նաև, որ տիեզերական ճառագայթների ուժգնությունը զրոյից տարբեր է անգամ $\theta = 90^\circ$ արժեքի դեպքում, որը

ամենայն հավանականությամբ, պայմանավորված տիեզերական ճառագայթների կոշտ բաղադրիչի մթնոլորտային օդում թույլ կլանումով, կլանման գործակցի փոքր արժեքով:

Ստացված արդյունքը կարևոր է նրանով, որ այն պետք է կիրառվի գիտական պարբերականներում, ինչպես նաև բուհական դասագրքերում մտցվի ուղղում և կիրառվի մեր ստացված արդյունքը:

Այսպիսով՝

1. Տիեզերական ճառագայթների փափուկ բաղադրիչը նկատելի կլանվում է մթնոլորտային օդում:

2. Տիեզերական ճառագայթների կոշտ բաղադրիչի կլանման երևույթը $\theta = 90^\circ$ արժեքի դեպքում մթնոլորտային օդի երկար հաստության շերտում նկատելի է, սակայն նրա ուժգնությունը զրոյից տարբեր է մնում: Երևան քաղաքի ծովի մակերևույթից 1000 մ բարձրության վրա այդպիսի օդային շերտի հաստությունը ավելի փոքր է, քան թե ծովի մակերևույթի վրա է այն: Մի գուցեծովի մակերևույթի բարձրությունում կարող է տեղի ունենալ կոշտ բաղադրիչի ամբողջությամբ կլանումը, որը կարող է հաստատվել միայն էքսպերիմենտով:

ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅՈՒՆ

1. *Թարոյան Ա.Ա., Էլոյան Գ.Ա.* Ատոմի միջուկի և տարրական մասնիկների ֆիզիկա, Եր., 2016, էջ 130:
2. *Սարանյան Ռ.Ս., Թարոյան Ա.Ա.* Միջուկային ֆիզիկայի փորձարարական աշխատանքների ուսումնական ձեռնարկ», Եր., 2014, էջ 65:
3. *Мухинк Н.* Физика элементарных частиц, Т. 2. М.: «Атомиздат», 1984.
4. *Добротин Н.А.* Космические лучей. М., Изд. АН СССР. 1963г.
5. *Мурзин В.С.* Введение в физику космических лучей. М., Изд. МГУ, 1988.
6. *Яворский Б.М., Детлаф А.А.* Курс физики, Т. 3, М. 1971.
7. *Широков Ю., Юдин П.* Ядерная физика. М.: «Наука», 1980.
8. *Окунь Л.* Элементарные частицы. М.: «Мир», 1988.
9. *Соболев В.В.* Курс теоретической астрофизики, 2-е изд.; М., 1972, էջ 3:

ОСОБЕННОСТИ УГЛОВОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПРОСТРАНСТВЕННОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

А.С. Тароян, Э.П. Коканян, Ю.А.Тароян, Н.Н. Мхитарян

*Армянский государственный педагогический университет имени Х. Абовяна
arsen.taroyan@mail.ru:*

В данной статье было исследовано угловое распределение интенсивности космических лучей. Дана была оценка изменения суммы прочности мягко-твердых компонентов по двум различным эмпирическим формулам.

Ключевые слова: космические лучи, интенсивность потока излучения, угловое распределение, исследование поглощения.

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕЖЗОННОЙ ФОТОЛЮМИНЕСЦЕНЦИИ КВАНТОВЫХ ТОЧЕК GeSi

Р.В. Устименко¹, М.Я. Винниченко¹, Д.А. Фирсов¹, А.А. Саркисян^{1,2}

¹ *Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого
(Санкт-Петербург Россия)*

² *Российско-Армянский университет, Ереван, Армения
ratmirustimenko@yandex.ru*

АННОТАЦИЯ

В данной работе исследуется влияния параметров оптической накачки и температуры на межзонную фотолюминесценцию в квантовых точках GeSi/Si, связанную с прямыми и непрямыми в реальном пространстве оптическими переходами носителей заряда. Обнаружен голубой сдвиг пика фотолюминесценции, соответствующего непрямым переходам, с увеличением мощности оптической накачки, связанный с изменением изгиба зон на гетерогранице при высоких концентрациях неравновесных носителей заряда. Величина сдвига пика фотолюминесценции увеличивается с ростом уровня легирования квантовых точек.

Ключевые слова: квантовые точки, GeSi, фотолюминесценция, не-
прямые переходы.

Введение

Изучение свойств квантовых точек (КТ) является одним из перспективных направлений исследований, направленных на применение в совершенно разных областях – от медицины и энергетики до электроники и астрофизики [1]. Несмотря на то, что еще 10 лет назад полупроводниковые нанокристаллы повсеместно не использовались, в данный момент множество компаний в разных сферах начинает массовое производство своей продукции с использованием технологий, основанных на квантовых точках. Квантовые точки имеют дискретный энергетический спектр, путем контроля размеров и состава КТ возможно получать необходимые энергии внутризонных и межзонных оптических переходов, т.е. контролировать спектральный диапазон, в котором проявляются нужные оптические свойства. Это, в свою очередь, может быть использовано при создании фотоприемных структур на инфракрасный (ИК) диапазон спектра. Важное отличие детекторов излучения с КТ от структур с квантовыми ямами – это возможность использования нормального падения излучения на структуру, что позволяет упростить конструкцию матричных фотоприемников [2, 3].

Важным свойством системы квантовых точек на основе твердого раствора GeSi является то, что спектры межзонной фотолюминесценции (ФЛ) квантовых точек лежат в области длин волн 1,3–1,55 мкм (950–800 мЭВ), что соответствует

энергиям кванта света менее ширины запрещенной зоны кремния. Благодаря этому с использованием массивов КТ возможна реализация оптических межсоединений в интегральных электронных приборах на основе кремния, причем оптическое излучение может распространяться по кремниевым волноводам [4]. Недавние исследования [5–9] описывают новые экспериментальные результаты по фотоотклику КТ Ge/Si в среднем ИК диапазоне (3–6 мкм). В работе [5] наблюдалась фотопроводимость в условиях делокализации электронов, в [6] обсуждался эффект узкого фонованного горла, а в [7] исследовалось влияние легирования квантовых точек Ge/Si на характеристики фотоприемников. В работах [8, 9] экспериментально обнаружено многократное усиление внутризонного фототока дырок за счет взаимодействия с поверхностными плазмонами в структуре, покрытой золотой пленкой с упорядоченными нанотверстиями. Совместимость структур с квантовыми точками Ge/Si с развитой кремниевой технологией, в частности, с КМОП – технологией [10], принципиально важна как с точки зрения разработки новых приборов наподобие интегральных фоточувствительных линеек и матриц на ближний и средний ИК диапазон, так и с точки зрения построения принципиально новой архитектуры интегральной оптической микро- и наноэлектроники на основе кремния.

В данной работе проведено исследование спектров фотолюминесценции (ФЛ) в средней ИК области спектра в структурах с квантовыми точками разного уровня легирования при разных уровнях оптической накачки при разных температурах.

Образцы и методика эксперимента

Структуры с квантовыми точками выращивались методом молекулярно-пучковой эпитаксии. Дизайн выращенной структуры с 10 слоями КТ представлен на рисунке 1. Локальное δ -легирование каждого периода акцепторной примесью осуществлялось в слой кремния на расстоянии 5 нм до слоя Ge. Плотность атомов бора в каждом δ -легированном слое в различных структурах была: 0, 4, 8, $12 \cdot 10^{11} \text{ см}^{-2}$. В качестве референса для ряда экспериментов использовалась подложка Si(100) без квантовых точек.



Рис. 1. Дизайн структуры с квантовыми точками GeSi/Si.

Измерения фотолюминесценции ближнего ИК диапазона осуществлялись с помощью вакуумного фурье-спектрометра Bruker Vertex 80v в режиме пошагового сканирования (step-scan) со спектральным разрешением около 4 мэВ. Образец помещался в криостат замкнутого цикла с окнами из ZnSe. Использовался светоделитель из CaF₂. Оптическое возбуждение носителей заряда осуществлялась лазером с длиной волны излучения 532 нм. Непрерывное лазерное излучение модулировалось обтюратором на частоте 600 Гц и попадало на образец через окно из плавленого кварца. Так как штатные фотоприемники фурье-спектрометра не удовлетворяли условиям эксперимента по спектральному диапазону и чувствительности, то в качестве фотоприемника ближнего ИК излучения вне фурье-спектрометра был установлен охлаждаемый жидким азотом InGaAs фотоприемник с GaAs окном. Сигнал с фотоприемника усиливался и усреднялся с помощью фазочувствительного синхронного усилителя Look-in SR830 и/или импульсного синхронного детектора Voxcar SR250, которые были синхронизованы с обтюратором. Полученный сигнал подавался на АЦП, встроенный в персональный компьютер, где обрабатывался в программном пакете OPUS. Путем быстрого фурье-преобразования из интерферограмм были получены спектры фотолюминесценции.

Экспериментальные результаты

Квантовые точки занимают достаточно малый объем образца, поэтому предварительные измерения спектров межзонной фотолюминесценции КТ в непрерывном режиме на фурье-спектрометре и/или на автоматическом решеточном монохроматоре продемонстрировали достаточно малый уровень сигнала. Поэтому вместо режима непрерывного сканирования (rapid-scan) был использован режим пошагового сканирования (step-scan) фурье-спектрометра. Были измерены спектры ФЛ структур при разных температурах (T) и уровнях оптической накачки. В реперном образце без КТ был обнаружен только один пик при энергии кванта ~ 1100 мэВ, который связан с фотолюминесценцией кремния. Этот пик был также обнаружен и в спектрах ФЛ образцов с КТ. Помимо этого, были обнаружены два пика фотолюминесценции при энергиях кванта около 820 и 870 мэВ. На рисунках *2a* и *2b* приведены спектры ФЛ при $T = 4$ К для структур с нелегированными КТ и с легированием $12 \cdot 10^{11} \text{ см}^{-2}$, соответственно, при разных уровнях оптической накачки. С учетом того, что спектры при низких энергиях ограничены чувствительностью фотоприемника, все спектры хорошо аппроксимируются двумя гауссовыми контурами. Для других легированных структур поведение спектров схоже с зависимостями, представленными на рисунке *2b*. По аналогии с работой [11],

эти пики объясняются прямыми и непрямыми в реальном пространстве межзонными переходами носителей заряда в КТ (см.: вставку к рисунку 2а). В отличие от работы [11], посвященной анализу спектров ФЛ в нелегированных КТ, объектом наших исследований являлся набор структур разного уровня легирования. Увеличение мощности накачки для всех структур приводит к глубокому сдвигу пика, связанного с непрямыми переходами, из-за изгиба зон на гетерогранице Si/Ge при высоких концентрациях носителей заряда. Наблюдаемый сдвиг пика увеличивается с ростом уровня легирования. Отметим, что интенсивность полосы ФЛ, связанной с прямыми в реальном пространстве электрон-дырочными переходами меньше, что может быть связано с невысокой концентрацией неравновесных электронов, локализованных в пределах КТ. С ростом температуры наблюдается спад интенсивности ФЛ. При этом интенсивность пика ФЛ, связанного с прямой в реальном пространстве электрон-дырочной рекомбинацией, спадает намного быстрее, чем для не прямой. Это связано с интенсивной температурной депопуляцией электронных состояний, локализованных непосредственно в КТ, по сравнению с состояниями, локализованными в потенциальных ямах на интерфейсе.

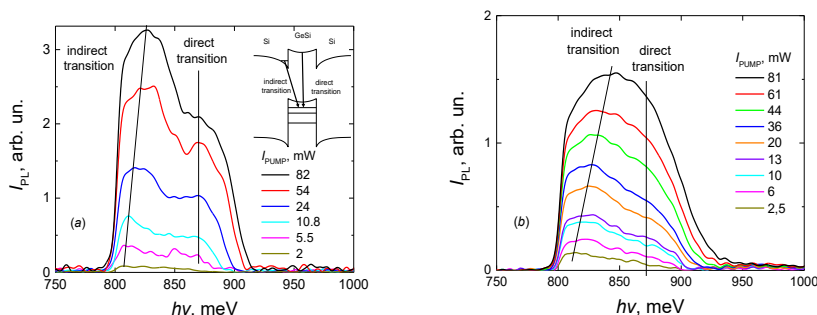


Рисунок 2. Спектры межзонной фотолюминесценции нелегированной структуры (а) и структуры с КТ, легированной до уровня $12 \cdot 10^{11} \text{ см}^{-2}$ (б) при разных интенсивностях оптической накачки (I_{PUMP}) при $T = 4 \text{ К}$. На вставке к рисунку (а) схематично приведена зонная диаграмма КТ в направлении роста структуры. Стрелками показаны прямые (direct) и не прямые (indirect) в реальном пространстве переходы.

Благодарности

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке РФФИ (грант номер 20-52-05004), а также при частичной финансовой поддержке Минобрнауки России в рамках государственного задания по теме «Реализации комплекса мер по повышению эффективности деятельности Российско-Армянского и Белорусско-Российского университетов» (ДС от 08.07.21 № 075-03-2021-050/5).

ЛИТЕРАТУРА

1. *Bimberg D., Pohl U.* Quantum dots: promises and accomplishments // *Materials Today*, 2011. 14(9). PP. 388–397.
2. *Rappaport N. et al.* Midinfrared photoconductivity of Ge/Si self-assembled quantum dots // *Applied Physics Letters*, 2000. 77 (20). PP. 3224–3226.
3. *Heiss M. et al.*, Self-assembled quantum dots in a nanowire system for quantum photonics // *Nature materials*, 2013. 12(5). PP. 439–444.
4. *Krasilnik Z. et al.* SiGe nanostructures with self-assembled islands for Si-based optoelectronics // *Semiconductor Science and Technology*, 2010. 26(1). 014029.
5. *Yakimov A. et al.* Localization of electrons in dome-shaped GeSi/Si islands // *Appl. Phys. Lett.*, 2015. 106. 032104.
6. *Yakimov A. et al.* Phonon bottleneck in p-type Ge/Si quantum dots // *Appl. Phys. Lett.*, 2015. 107. 213502.
7. *Yakimov A. et al.* Photoconductive gain and quantum efficiency of remotely doped Ge/Si quantum dot photodetectors // *Mater. Res. Express*, 2016. 3. 105032.
8. *Yakimov A. et al.* Plasmon polariton enhanced mid-infrared photodetectors based on Ge quantum dots in Si // *J. Appl. Phys.*, 2017. 122. 133101.
9. *Yakimov A. et al.* Photovoltaic Ge/SiGe quantum dot mid-infrared photodetector enhanced by surface plasmons // *Opt. Express*, 2017. 25. 25602.
10. *Yuryev V., Arapkina L.* Ge quantum dot arrays grown by ultrahigh vacuum molecular-beam epitaxy on the Si (001) surface: nucleation, morphology, and CMOS compatibility // *Nanoscale Research Letters*, 2011. 6. 522.
11. *Larsson M. et al.* Growth-temperature-dependent band alignment in Si/Ge quantum dots from photoluminescence spectroscopy // *Physical Review B*, 2006. 73(19). 195319.

INVESTIGATION OF INTERBAND PHOTOLUMINESCENCE
OF GESI QUANTUM DOTS

R. Ustimenko¹, M. Vinnichenko¹, D. Firsov¹, H. Sarkisyan^{1,2}

¹*Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, (St. Petersburg, Russia*

²*Russian-Armenian University, Yerevan, Armenia*

ABSTRACT

In this work, we study the influence of optical pumping and temperature on the interband photoluminescence in GeSi/Si quantum dots, associated with direct and indirect optical transitions of charge carriers in real space. A blue shift of the photoluminescence peak corresponding to indirect transitions with an increase of the optical pumping was found. It is associated with the change in the bending of energy band at the heterointerface at high concentrations of nonequilibrium charge carriers. The magnitude of the photoluminescence peak shift increases with an increase in the doping level of the quantum dots.

Keywords: quantum dots, GeSi, photoluminescence, indirect transitions

БИОЛОГИЯ И ХИМИЯ

АТТЕНУАЦИЯ ГИПЕРФОСФОРИЛИРОВАНИЯ БЕЛКА ТАУ СОЕДИНЕНИЯМИ РАСТИТЕЛЬНОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ

Е.Р. Амбарцумян, А.А. Манукян, С.Г. Тирацунян¹

Российско-Армянский университет¹

yelena.hambarcumyan@rau.am, anait_manukyan_97@mail.ru,

susanna.tiratsuyan@bk.ru

АННОТАЦИЯ

Болезнь Альцгеймера – нейродегенеративное заболевание, которое характеризуется гиперфосфорилированием белка тау во внутриклеточных нейрофибриллярных клубках, агрегацией β -амилоидных пептидов во внеклеточных бляшках, окислительным стрессом. В течение многих лет считалось, что накопление β -амилоидных пептидов инициирует каскад, включающий патологию белка тау. На сегодняшний день известно, что обе патологии имеют синергетический эффект [1]. Тау-белок, который стабилизирует структуру аксональных микротрубочек и нейрональные связи. При патологических состояниях повышенный уровень активности гликогенсинтазы – 3β (GSK- 3β) и киназы 4, регулирующей сродство к микротрубочкам (MARK4), приводит к гиперфосфорилированию белка тау и агрегации последних парные спиральные филаменты [2,8].

Исследования показывают, что вторичные метаболиты растений способны ингибировать олигомеризацию тау и могут дезагрегировать филаменты. Артемизинины являются вторичными метаболитами растений рода *Artemisia annua* и обладают когнитивно-стимулирующими, нейропротекторными, противогрибковыми функциями, снижают накопление β -амилоида и тау, высвобождение факторов воспаления и факторов апоптоза *in vivo* [6], что делает их многообещающими соединениями в лечении болезни Альцгеймера. Целью представленной работы является исследование потенциала ингибирования GSK- 3β , MARK4 артемизинином, димером дигидроартемизинина, куркумином и сравнение с таковыми известных ингибиторов.

Ключевые слова: Болезнь Альцгеймера, GSK- 3β , MARK4, димер дигидроартемизинина.

Введение

Болезнь Альцгеймера (БА) – нейродегенеративное заболевание, от которого страдают миллионы людей во всем мире. Гиперфосфорилирование белка тау во внутриклеточных нейрофибриллярных клубках, агрегация β -амилоидных пептидов ($A\beta$) во внеклеточных бляшках и усиленный окислительный стресс – основные признаки пораженного мозга при БА. В течение многих лет

считалось, что А β и тау действуют в отсутствие специфического взаимодействия. Тем не менее, накопленные данные утверждают, что патологии имеют синергетический эффект. Это может не только помочь объяснить отрицательные результаты клинических испытаний, направленных исключительно против агрегации А β , но также подчеркнуть важность испытаний, направленных на тау [1].

Тау стабилизирует структуру аксональных микротрубочек и нейрональные связи. При патологических состояниях повышенный уровень активности киназ, таких как гликогенсинтаза-3 β (GSK-3 β) и киназа 4, регулирующая сродство к микротрубочкам (MARK4) [8], гиперфосфорилируют тау, приводя к агрегации последних парные спиральные филаменты в нейрональных клубках [2].

Экспериментальные данные показывают, что вторичные метаболиты растений, включая артемизинины, обладают когнитивно-стимулирующими, нейропротекторными, противогрибковыми, функциями, снижают накопление β -амилоида и белка тау, высвобождение факторов воспаления и факторов апоптоза *in vivo*, что делает их многообещающими соединениями в лечении БА. Было показано, что куркумин подавляет олигомеризацию тау и может дезагрегировать тау-филаменты. Таким образом, разработка селективных ингибиторов GSK-3 β , и MARK4, модулирующих гиперфосфорилирование тау, является многообещающей стратегией терапии БА [3]. Целью представленной работы является исследование потенциала ингибирования GSK-3 β , MARK4 артемизинином (ART), димером дигидроартемизинина (DDHA), куркумина (CUR) и сравнение с известными АТФ-конкурентным ингибитором фосфоаминофосфоновой кислотой и аденилатом (ANP), субстрат-конкурентным ингибитором LY2090134 (для GSK-3 β) и АТФ-конкурентным ингибитором MARK4- 5RC.

Материалы и методы

Трехмерные структуры GSK-3 β (PDB ID: 1J1B) в комплексе с АТФ-конкурентным ингибитором ANP, MARK4 в комплексе спиразоллопиримидиновым ингибитором 5RC, были получены из RSCB Protein Data Bank, а химические структуры CUR [CID: 969516], ART [CID: 68827], DDHA [CID: 44564070], LY2090134 [CID: 10029385] - из базы данных PubChem. Докинг анализ проводился с использованием Autodock Tools и Autodock Vina [4]. Для валидации протокола докинга был проведен редокинг ANP, LY2090134 и 5RC с GSK-3 β и MARK4, соответственно. Анализ водородных связей и гидрофобных взаимодействий произведен с помощью Ligplot + [5].

Результаты и обсуждение

Докинг ART, CUR с GSK-3 β выявил взаимодействие в АТФ-связывающем сайте, а для DDHA и в субстрат-связывающем сайте. ANP ($\Delta G_{bind} = -7,9$ ккал / моль) образует водородные связи с Phe67, Ser66, Arg141, Lys85 и гидрофобные взаимодействия с Val70, Leu132, Leu188, Gly63, Ile62. В АТФ-связывающем сайте GSK-3 β DDHA ($\Delta G_{bind} = -9,5$ ккал / моль) образует водородную связь с Arg141 и гидрофобно взаимодействует с Val70, Gln185, Ile62, Gly63, Asn64, Tyr140. В субстрат-связывающем сайте киназы DDHA ($\Delta G_{bind} = -9$ ккал / моль) образует водородную связь с Gln89 и гидрофобно взаимодействует с Phe67, Val87, Lys94, Phe93. LY2090134 ($-9,3$ ккал / моль) образует водородные связи с Arg180, Arg96, Ala204, Glu97, Asp90 и гидрофобные контакты с Ser203, Gly202, Phe67, Val87 (Рис.1.).

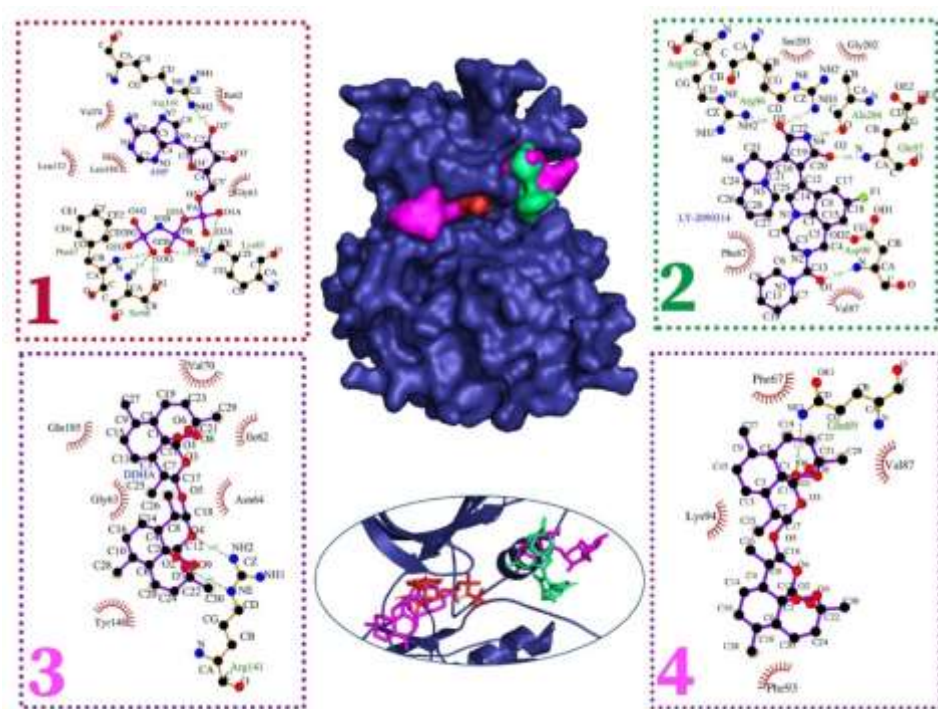


Рисунок 1. Докинг ANP (красный), LY2090134 (зеленый), двух конформаций DDHA (сиреневый) с GSK-3 β (в центре), анализ водородных связей и гидрофобных взаимодействий(ANP(1), LY2090134(2), DDHA в АТФ-связывающем сайте (3) и субстрат-связывающем сайте (4).

CUR ($\Delta G_{bind} = -7$ ккал / моль) образует водородные связи с Lys85, Asp200, Arg141 и гидрофобно взаимодействует с Ala83, Cys199, Leu188, Val70, Gly63.

ART($\Delta G_{\text{bind}} = -8.4$ ккал / моль) образует водородную связь с Asn64 и гидрофобно взаимодействует с Leu188, Leu132, Ile62, Gly63, Val70 (Рис. 2).

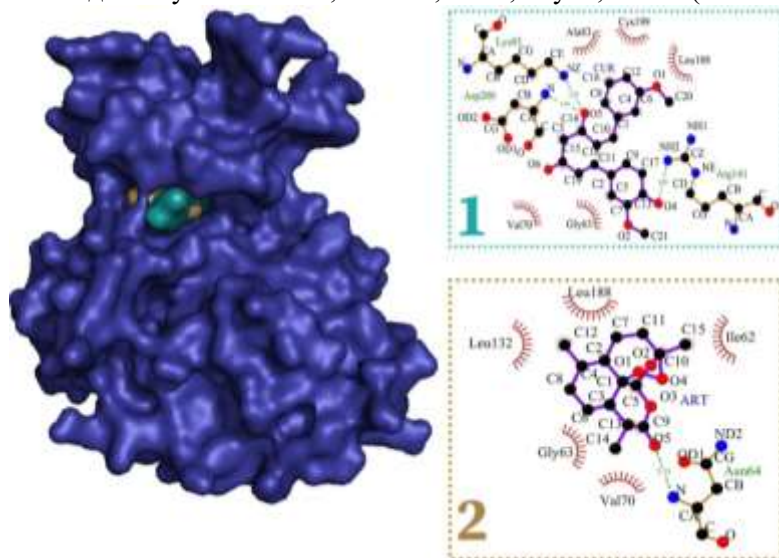


Рисунок 2. Докинг CUR (бирюзовый), ART (оранжевый), анализ водородных связей и гидрофобных взаимодействий (CUR(1), ART(2)).

Докинг CUR с GSK-3 β выявил гидрофобное взаимодействие с Cys199, расположенным у входа в АТФ-связывающий сайт GSK-3, и играющим ключевую роль в инактивации фермента семейством производных галогенметилкетона. ANP, CUR образуют водородные связи с Lys85, который отвечает за связывание АТФ и катализирует перенос γ -фосфата на субстрат. Из всех лигандов только DDHA в субстрат-связывающем сайте гидрофобно взаимодействует с Phe93, что характерно для ингибиторов пептидной природы [6]. DDHA, LY2090134, ANP взаимодействуют с Phe67, мутации которого нарушают фосфорилирование некоторых субстратов. Arg141 представляет собой остаток, не консервативный в других киназах и играет ключевую роль в стабилизации ANP-GSK-3 β . Таким образом, нацеливание на Arg141 – это подход к созданию селективных ингибиторов GSK-3 β . ANP, CUR, DDHA взаимодействуют с Arg141. LY2090134 взаимодействует с Glu97, который наряду с Lys85 отвечает за активность и селективность фермента [7].

Докинг MARK4 с ART($\Delta G_{\text{bind}} = -8.6$ ккал / моль), CUR($\Delta G_{\text{bind}} = -7.9$ ккал / моль), DDHA($\Delta G_{\text{bind}} = -10.7$ ккал / моль), 5RC($\Delta G_{\text{bind}} = -10.5$ ккал / моль) выявил, что лиганды взаимодействуют в активном сайте киназы. Все лиганды гидрофобно взаимодействуют с Leu185, Ile62 и Val70. CUR и 5RC образуют водородные связи с Lys85, с которым DDHA взаимодействует гидрофобно.

CUR, DDHA гидрофобно взаимодействуют с Gly65, Phe67, Gly63. DDHA и5RC гидрофобно взаимодействуют с Ala83, Ala195, а 5RC and CUR образуют водородные связи с Ala135 (Рис. 3).

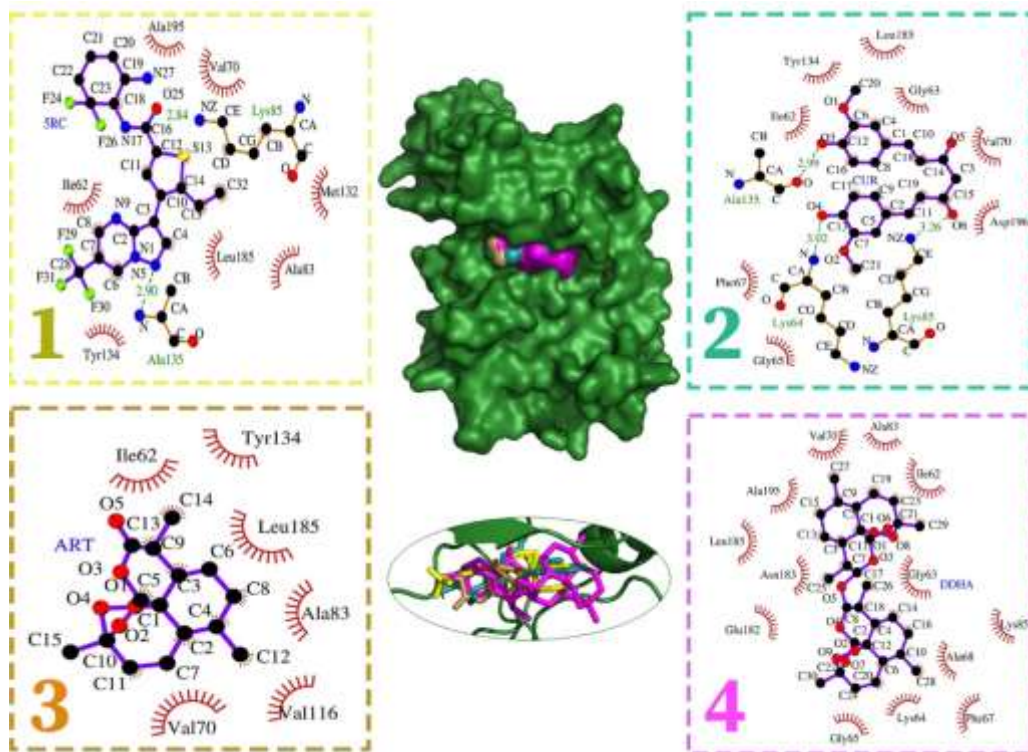


Рисунок 3. Докинг ART (оранжевый), CUR (бирюзовый), 5RC(желтый), DDHA (сиреневый) (в центре) с MARK4 , анализ водородных связей и гидрофобных взаимодействий(5RC(1), CUR(2), ART(3), DDHA(4)).

Согласно литературным данным Lys85, Ala135, Ile62, и Asp196 являются каталитически важными остатками для функционирования киназы MARK4 и играют важную роль в связывании АТФ. Также наблюдаются важные взаимодействия с окружающими остатками, такими как Gly63, Gly65, Val70, Ala83, Tyr134 и Ala195 [8]. DDHA гидрофобно взаимодействует с мишенью с наивысшей энергией связывания.

Заклучение

Согласно полученным результатам, аффинности связывания лигандов с MARK4 и GSK-3 β могут быть расположены в следующем убывающем порядке: DDHA > ART > CUR. ART, CUR, DDHA связываются с АТФ-связывающим сайтом GSK-3 β фермента. Для DDHA наблюдается взаимодействие также с субстрат-связывающим сайтом. Субстрат-конкурентные ингибиторы считаются высокоселективными и более подходящими для клинической практики. DDHA также взаимодействует с Phe93, что характерно для пептидных ингибиторов. CUR и DDHA взаимодействуют с Arg141, который не консервативен для других киназ. Все лиганды взаимодействуют с АТФ-связывающим сайтом MARK4 с наивысшей аффинностью для DDHA. Таким образом, DDHA может ингибировать активность киназ, вовлеченных в гиперфосфорилирование белка тау, тем самым выступая в качестве потенциального лидирующего соединения в лечении БА.

ЛИТЕРАТУРА

1. Busche M.A., Hyman B.T. Synergy between amyloid- β and tau in Alzheimer's disease // *Nature neuroscience*. 2020. Т. 23. №. 10. СС. 1183–1193.
2. Mouchlis V.D. et al. Computer-aided drug design of β -secretase, γ -secretase and anti-tau inhibitors for the discovery of novel Alzheimer's therapeutics // *International journal of molecular sciences*. 2020. Т. 21. №. 3. СС. 703.
3. Liang Z, Li QX. Discovery of Selective, Substrate-Competitive, and Passive Membrane Permeable Glycogen Synthase Kinase-3 β Inhibitors: Synthesis, Biological Evaluation, and Molecular Modeling of New C-Glycosylflavones. *ACS Chem Neurosci*. 2018; 9(5): 1166–1183. doi:10.1021/acscchemneuro.8b00010
4. Trott O., Olson A. J. AutoDock Vina: improving the speed and accuracy of docking with a new scoring function, efficient optimization, and multithreading // *Journal of computational chemistry*. 2010. Vol. 31. №. 2. PP. 455–461.
5. Wallace A. C., et al. LIGPLOT: a program to generate schematic diagrams of protein-ligand interactions // *Protein engineering, design and selection*. 1995. Vol. 8. №. 2. PP. 127–134.
6. Rane J.S., Bhaumik P., Panda D. Curcumin inhibits tau aggregation and disintegrates preformed tau filaments in vitro // *Journal of Alzheimer's Disease*. 2017. Т. 60. №. 3. СС. 999–1014.
7. Zhao X. et al. Artemisinin improved neuronal functions in Alzheimer's disease animal model 3xtg mice and neuronal cells via stimulating the ERK/CREB signaling pathway // *Aging and disease*. 2020. Т. 11. №. 4. С. 801.
8. Shamsi A. et al. MARK4 inhibited by AChE inhibitors, donepezil and Rivastigmine tartrate: insights into Alzheimer's disease therapy // *Biomolecules*. 2020. Т. 10. №. 5. С. 789.

ATTENUATION OF TAU PROTEIN HYPERPHOSPHORYLATION BY PHYTOCOMPOUNDS

Y. Hambarzumyan, A. Manukyan, S. Tiratsuyan¹

ABSTRACT

Alzheimer's disease is a neurodegenerative disorder, which is characterized by hyperphosphorylation of the tau protein in intracellular neurofibrillary tangles, aggregation of β -amyloid peptides in extracellular plaques ($A\beta$) and enhanced levels of oxidative stress. For many years, it was believed that $A\beta$ related pathology accelerates the disease process and initiate a cascade involving tau protein pathology and neurodegeneration. Nowadays, the accumulated data suggest that both pathologies have a synergistic effect.

Tau is a microtubule-associated protein that stabilizes axonal microtubule structure and neuronal connections. In pathological conditions, an increased level of activity of tau kinases, such as glycogen synthase-3 β (GSK3 β) and microtubule affinity-regulating kinase 4 (MARK4), is observed, leading to hyperphosphorylation of the protein, resulting in the aggregation of tau into paired helical filaments.

Experimental studies show that secondary metabolites of plants can inhibit oligomerization of tau and can disaggregate filaments. Artemisinins, which are secondary metabolites of *Artemisia annua*, display cognitive-stimulating, neuroprotective, antifungal, functions, reduce the accumulation of β -amyloid peptides and tau protein, reduce the release of inflammatory factors and apoptosis factors in vivo, which makes them promising compounds in the treatment of AD. The aim of this work is to study the potential of inhibition of GSK-3 β , MARK4 by artemisinin (ART), dihydroartemisinin dimer, curcumin and comparison with known ATP-competitive ANP inhibitor, substrate-competitive inhibitor LY2090134 for GSK-3 β and ATP-competitive inhibitor MARK4 – 5RC.

Keywords: Alzheimer's disease, GSK-3 β , MARK4, dihydroartemisinin dimer.

LIQUID PHASE OXIDATION PROCESSES OF HALOGEN-VINYLIC COMPOUNDS VIA MOLECULAR OXYGEN

A. Baghdasaryan¹, M. Peltekian¹, M. Petrosyan¹, A. Grigoryan², N. Asatryan¹,
A. Mikaelyan¹

¹National Polytechnic University of Armenia, ²Russian-Armenian University
bagdasaryan97@gmail.com, mherpeltekian@gmail.com, preregim@gmail.com,
anna.grigoryan@rau.am, asatryannona@gmail.com, aramm@seua.am

ABSTRACT

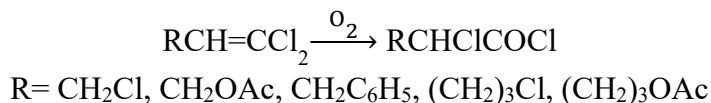
Generation of functional groups of organic molecules by liquid phase oxidation (LPO) processes with air or molecular oxygen, is one of the important areas of organic chemistry and are widely developed for laboratory and industrial application. Molecular oxygen (O₂) is the ultimate “green” oxidant for organic synthesis. There has been recent intensive research to develop new selective liquid phase aerobic oxidation methodologies as a response to the necessity to reduce the environmental impact of chemical synthesis and manufacture. Green and sustainable chemical processes rely not only on effective chemistry but also on the implementation of reactor technologies that enhance reaction performance and overall safety. Continuous flow reactors have facilitated safer and more efficient for these processes, whilst enabling protocols to be scalable. There are represented the generalized structures of the emerging intermediate compounds and partial oxidation products. The non-catalytic liquid phase oxidation of 1,1-dichloro-5-acetoxy-1-pentene by molecular oxygen in glass ring packed-bed reactor with oxygen-spray has been investigated. The possibilities of using transition metals and their oxides (e.g., TiO₂) in selective oxidation reactions of halogen-vinyl compounds have been studied. The latter can be presented as an effective catalytic systems, making the reaction technologically widely applicable.

Keywords: Aerobic oxidation, liquid phase oxidation, flow reactor, transition metals, halogen vinylic compounds

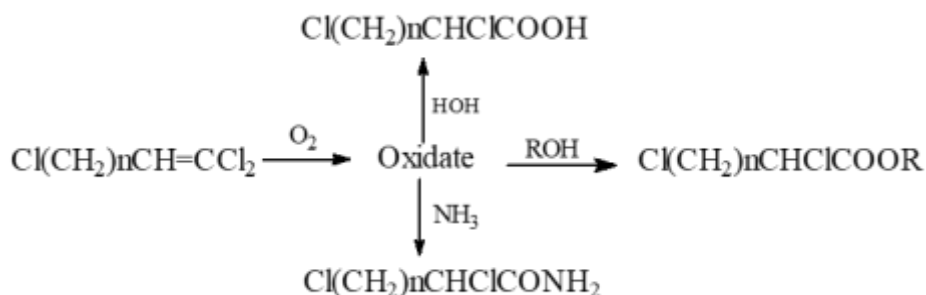
Introduction

Liquid phase oxidation (LPO) of vinyl halides with molecular oxygen is a simple and affordable method for the synthesis of functionally substituted chloride of α -halogencarboxylic acids [1,2,3]. The latter have found wide application for the production of various medicinal substances, plant protection chemicals and other important products [4, 5].

The authors Shakhnazaryan G.M., Bayatyan B.E. [6,7] showed that for a number of halogen-vinylic compounds with non-catalytic LPO with molecular oxygen as the main reaction product forms α -halogencarboxylic acid chloride (yield 70 ÷ 90%), although it must be noted that the duration of the process lasted 30 hours, for some substrates even reached 60 hours.



Hydrolysis, alcoholysis and aminolysis of the oxidate has been conducted to form acids, esters and amides of α -chloro carboxylic acids.



The kinetics of oxidation of 1,1,3-trichloropropene; 1,1-dichloro-3-phenyl-1-propene; 1,1,5-trichloro-1-pentene and 1,1-dichloro-5-acetoxy-1-pentene by oxygen has been studied [11, 12, 13].

We have worked on the results of more detailed studies of the reactions of non-catalytic LPO with 1,1-dichloro-5-acetoxy-1-pentene with molecular oxygen and the choice of optimal conditions for the synthesis of chloride of 1-chloro-5-acetoxyvaleric acid. Oxidation was carried out at 90, 100, 110, 130 °C. Investigations show that the optimal temperature of the process is 100 °C, a further increase in temperature, although at the initial stage increases the rate of formation of the target product, but with the accumulation in the reaction mixture of a sufficient amount of chloride of 1-chloro-5-acetoxyvaleric acid (20-30%) strongly accelerates the polycondensation of the latter with intensive release of acetyl chloride.

It was determined that at 100 °C the yield of targeted 1-chloro-5-acetoxyvaleric acid chloride was 50-60%, and their polycondensation products are also isolated (polyesters with an average molecular weight of $18 \div 20 \cdot 10^3$, yield 20 \div 40%).

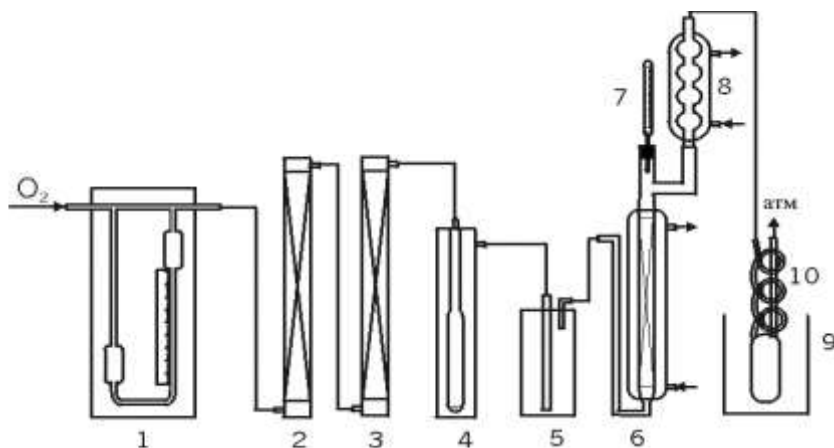


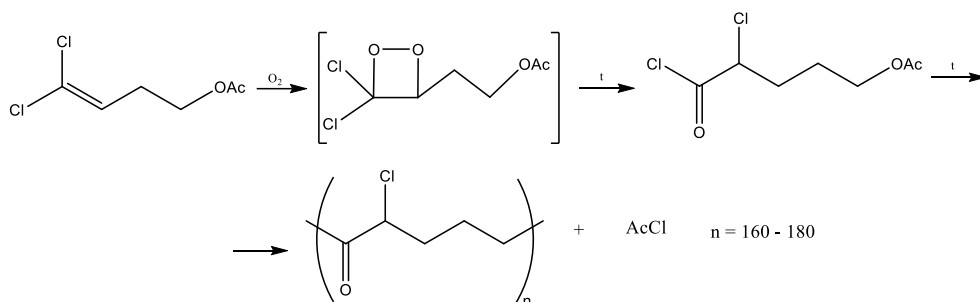
Image 1. Oxidation laboratory installation with glass ring packed-bed reactor unit.

1. Rheometer, 2. Basic dryer (KOH), 3. Calcium chloride dryer,
4. Acidic dryer (sulfuric acid), 5. Trap for acid drops, 6. Bubbling reactor, 7. Thermometer, 8. Reflux condenser, 9, 10. Cold trap on liquid nitrogen.

Process explanation: Oxygen at constant flow measured in rheometer (1) is passing through several drying traps (2, 3, 4 and 5) and enters to the bubbling reactor (6) from the bottom part of it. Reactor is packing type and previously is filled by liquid halo-vinyl starting material and silver catalyst. Reactor is jacketed for precise temperature control. Reaction products stay in the reactor while volatile products are being collected in cold trap (8,9).

Methods of Catalytic LPO

Kinetic studies of liquid phase oxidation reaction of halogenolefines are based on measurements of oxygen absorption rate (manometric method) and speed of consumption of halogenvinyl compounds, and formation of the products by GLC method. The correlation of products, dynamics of their formation and changes in quantities of intermediary products are determined by the following methods: peroxides- by iodometric method, chloride of α -halogen carboxylic acids(after alcoholysis)and the starting halogenvinyl compounds - by GLC method in isothermal and programming regimes. The obtained experimental data shows that the increase of oxygen flow speed does not affect the process itself furthermore substitution of oxygen with air causes increase of acidchloride yield.



It has been shown, that titanium dioxide (10mg TiO₂ to 1mmol substrate) has catalytic activity in these oxidation reactions, so by 70 °C after 6.5 hour the yield of acid chloride arrived at 61%.

Conclusion

It has been proposed that this oxidation process will offer synthetic utility since reaction proceeds readily, does not require any solvent (which would usually introduce problems for purifying of products) and provide selective formation of chlorides of α -halogenalkenoic acids. On the basis of the obtained results on direct liquid phase oxidation of halogenolefines by oxygen from air, it is supposed to find the opportunities for application of these reactions for solution of environmental problems related particularly to the problems of utilization, mineralization and metabolism in the biosphere of halogenorganic compounds wastes.

REFERENCES

1. Mayo F., Honda M. Liquid-phase autooxidation of trichloroethylene. J. Am. Chem. Soc., Div. Pet. Chem. prepr., 1968, № 12(2). PP. 5–10.
2. Полуэктов В.А., Мехрюшев Ю.Я. Кинетика и механизм низкотемпературного окисления трихлорэтилена. Кинетика и катализ, 1971. Т. 12, № 4. СС. 833–837.
3. Полуэктов В.А., Агреев Н.Г. Кинетика и механизм окисления гексафторбутадиена. Кинетика и катализ, 1971. Т. 12, № 1. СС. 27–32.
4. Фрейдлина Р.Х., Каранетян Ш.А. Полимеризация и новые синтетические материалы. М.: Изд-во АН ЦСЦР, 1961. С. 104.
5. Рубцов М.В., Байчиков А.Г. Синтетические химико-фармацевтические препараты. М.: Медицина, 1971.
6. Шахназарян Г.М., Баятян Б.Э. Окисление некоторых гем-дихлорвиниловых соединений воздухом. Ж. Прикл. химии, 1974, Т. 47, Т. 5. СС. 1187–1189.
7. Шахназарян Г.М., Баятян Б.Э. Получение хлорангидридов α -хлоркислот окислением гем-дихлорвиниловых соединений воздухом. Ж. прикл. химии, 1979. Т. 52, № 10. СС. 2307–2310.
8. Lokhat D., Oliver M., Carsky M. Preparation of iron oxide nanocatalysts and application in the liquid phase oxidation of benzene // Polish Journal of Chemical Technology, 17, 2. PP. 43–46.

9. Cameron A., Price, Pastor-Pérez L., Ivanova S., Tomas R. Reina1 and Jian Liu, The Success Story of Gold-Based Catalysts for Gas- and Liquid-Phase Reactions: A Brief Perspective and Beyond, Perspective article Front. Chem, 24 October 2019.
10. Shibata S., Sugahara K., Kamata K. and Hara M. Liquid-phase oxidation of alkanes with molecular oxygen catalyzed by high valent iron-based perovskite, Chemical Communications Issue 50, 2018.
11. Bayatyan B., Mikaelyan A. et al. Book of abstracts of annual scientific conference of SEUA, Vol. 1, 29 October –2 November 2001, Yerevan. PP. 66–68, 68–70.
12. Ayvazyan A., Mikaelyan A., Asatryan N., Bayatyan B., Mirzakhanyan R., Badanyan Sh. Information Technologies and Management, (Series chemical technologies and ecological engineering), Yerevan, 2002, №1. PP.191–196.
13. Sarksyian A., Mikaelyan A. Book of abstracts of annual scientific conference of SEUA, 28–30 April 2003, Yerevan. PP. 3–5.

**ЖИДКОФАЗНЫЕ ПРОЦЕССЫ ОКИСЛЕНИЯ
ГАЛОГЕНВИНИЛОВЫХ СОЕДИНЕНИЙ МОЛЕКУЛЯРНЫМ
КИСЛОРОДОМ**

*A.C. Багдасарян¹, М. Пелтэжян¹, М.Ю. Петросян¹, А.М. Григорян²,
Н.Л. Асатрян¹, А.Р. Микаелян¹*

¹Национальный Политехнический университет Армении,

²Российско-Армянский университет

*bagdasaryan97@gmail.com, mherpeltekian@gmail.com, prereg@gmail.com,
anna.grigoryan@rau.am, asatryannona@gmail.com, ararm@seua.am*

АННОТАЦИЯ

Генерация функциональных групп органических молекул процессами жидкофазного окисления (ЖФО) воздухом или молекулярным кислородом является одним из важных направлений органической химии и широко разработана для лабораторного и промышленного применения. Молекулярный кислород (O₂) является основным «зеленым» окислителем для органического синтеза. В последнее время были проведены интенсивные исследования по разработке новых методологий селективного жидкофазного аэробного окисления в ответ на необходимость снижения воздействия химического синтеза и производства на окружающую среду. Экологичные и устойчивые химические процессы зависят не только от эффективной химии, но и от внедрения реакторных технологий, которые повышают эффективность реакции и общую безопасность. Реакторы с непрерывным потоком стали более безопасными и эффективными для этих процессов, а также позволили протоколам быть масштабируемыми. Представлены обобщенные структуры образующихся промежуточных соединений и продуктов парциального окисления. Исследовано некаталитическое жидкофазное окисление 1,1-дихлор-5-ацетокси-1-пентена молекулярным кислородом в барботажном реакторе с насадкой с кислородным распылением. Изучены возможности использования переходных металлов и их оксидов (например, TiO₂) в реакциях селективного окисления галогенвиниловых соединений. Последние могут быть представлены как эффективные каталитические системы, делающие реакцию технологически широко применимой.

Ключевые слова: аэробное окисление, жидкофазное окисление, проточный реактор, переходные металлы, галогенвиниловые соединения.

PREDICTION THE RISK OF DEVELOPMENT FOR SCHIZOPHRENIA IN ARMENIAN AND JEWISH ASHKENAZI POPULATION, USING MACHINE LEARNING APPROACHES

S. Davitavyan^{1,2}, *M. Nikoghosyan*^{1,2}, *A. Arakelyan*^{1,2}

¹*Institute of Biomedicine and Pharmacy, Russian-Armenian University, Yerevan, Armenia,* ²*Research Group of Bioinformatics, Institute of Molecular Biology NAS RA, Yerevan, Armenia*

surendavitavyan98@gmail.com, marianikoghosyan@gmail.com, arsen.arakelyan@rau.am

ABSTRACT

The genetic risk associated with the same disease considerably varies among persons and populations. Consequently, there is a necessity for the development of new data-mining approaches that will contribute to efficient disease diagnostics, prognostics, and monitoring of disease courses. The aim of this study was to identify population-specific schizophrenia-associated genetic markers and compare their distribution in Armenians and Ashkenazi Jews as well as create population-level disease genetic risk portraits. Genome wide microarray SNP data for Ashkenazi Jew patients and healthy subjects was obtained from Gene Expression Omnibus; for Armenian patients whole exome sequencing data was obtained. We used self-organizing map (SOM) algorithm for clustering and dimension reduction. This approach allowed distinguishing the sets of SNPs associated with schizophrenia for both populations, and on the other hand, it provides information on the distribution of population specific SNPs for the Armenian and Jewish samples.

Keywords: schizophrenia, single nucleotide polymorphisms, self-organizing maps

Introduction

One of the most important challenges of genomic/personalized medicine is identifying and describing the genetic markers, which are associated with a predisposition or involved in the development of complex diseases. The important hallmark of complex disease is that there is no single gene responsible for its development, but rather a set of dozen genes, as well as gene-environment interaction, are implicated in disease development.

There are hundreds of diseases, which are classified as complex, polygenic diseases, moreover, multiple studies have already determined hundreds or thousands of genetic markers mostly single nucleotide polymorphisms, SNPs), associated with them, and their identification and development of genome-based diagnostics and prognostic tools are important questions of modern personalized and precision medicine [1].

The common strategy for searching for multiple variant associations across the whole genome is a genome-wide association study (GWAS) [2] approach. Nowadays, research groups all over the world have done multiple GWA studies [3] and have accumulated huge volumes of SNP-diseases association (4,000,000 markers on average per single subject, several project initiatives have databases with dozen thousands of individuals studied). Based on the reported associations and statistics it is possible to build the set of SNPs that influence certain disease development and evaluate the cumulative effect of that SNPs. However, reported SNPs-disease associations using GWAS approaches in one population do not always replicate when studied in other populations often being reported[4]. Nowadays, one of the most important challenges is to describe the variability of population-specific disease-associated genomic variation and develop the approach to disease risk evaluation and prediction based on the population belongingness of the individual.

To describe the distribution of disease-associated SNPs for schizophrenia we used a bioinformatics pipeline based on self-organizing maps (SOM) machine learning. This pipeline was previously used for analyzing different -omicdata [5] as well as to describe the entire distribution of disease-associated SNPs in worldwide populations [6]. We have studied the distribution of 14603 disease-associated SNPs in schizophrenia cases and control.

Materials and methods

Datasets

Genotype data for schizophrenia cases and controls (Ashkenazi population)

The schizophrenia case-control data (GSE23201) was taken from the Genome Expression Omnibus (GEO) database (<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/geo/query/acc.cgi?acc=GSE23201>). The data includes 245 schizophrenia and 490 control samples from Ashkenazi Jewish descent. We have used raw CEL files, which were processed with the “oligo” R package (<https://git.bioconductor.org/packages/oligo>). The final dataset contains 40000 SNPs for 735 samples.

Genotype data for schizophrenia cases (Armenian population)

The schizophrenia case-control data for the Armenian population is a product of collaboration between Russian-Armenian University and Institute of Molecular Biology. The genomes of 20 patients were sequenced and information about SNPs was received by using variant calling technique. The raw fastq files were aligned using the bwa [7] algorithm, in the next step we used Picard and the GATK to prepare the data for variant calling. Finally, the annotation of transcripts was generated by the SnpEff package. Thereby, for the Armenian population we have 20 schizophrenia samples with annotated SNPs.

Disease-SNPs association data

Information related to the association of complex diseases and SNPs was obtained from GWAS catalog database (<https://www.ebi.ac.uk/gwas/docs/about>). It contains curated information on SNP-trait / SNP-disease associations from the publication.

Genotype encoding

To perform the downstream analysis, the genotypes for schizophrenia cases and controls were encoded into the number. The encoding was performed with the following approach. The reference homozygous alleles were encoded into 0, heterozygous alleles - 1, and alternative homozygous alleles- 2.

Self-organizing maps analysis

We performed self-organizing maps (SOM) analysis for schizophrenia case-control genotype data, which is implemented in the “oposSOM” R package[8]. SOM is an unsupervised machine learning method and uses neural network clustering algorithms. SOM allows efficient analysis of high-throughput multi-dimensional biological data as well as has strong visualization capability (Figure1. A). As a result, we have obtained the global distribution of disease-associated SNPs for the background Ashkenazi and Armenian populations as well as for schizophrenia patients.

The results of SOM analysis are presented in the form of visualized portraits (Figure 1. B). Each pixel of the portraits is a microcluster of SNPs with similar profiles across samples. In the SOM pipeline, ternary code is used for coloring each pixel of landscape: the pixels with the most frequent reference allele and the most frequent alternative allele are in blue and red, respectively and heterozygous in green. SOM portraits are generated for the following levels: the sample level (for all samples), the group level (cases and controls), and the global level (combined global portrait). All the portraits can be compared with each other.

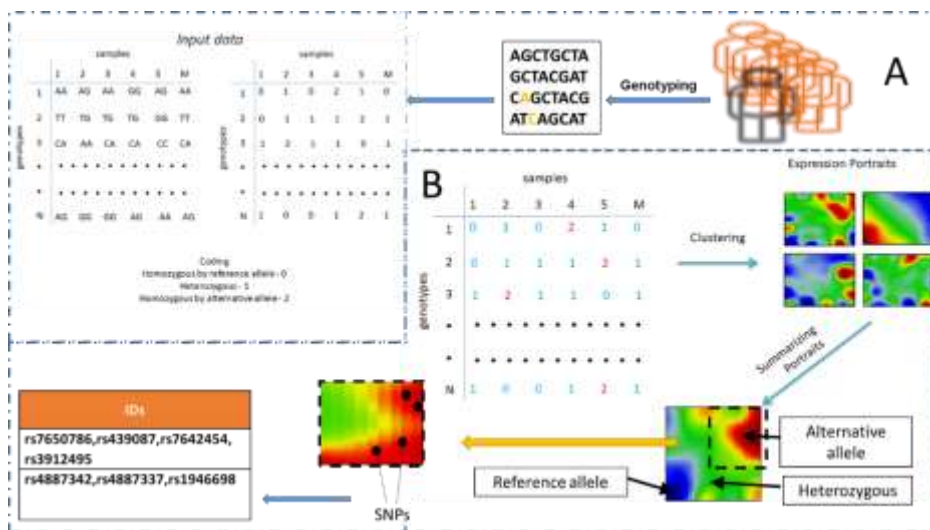


Figure 1. SOM pipeline. A) After genotyping the genotypes were transformed to a numeric matrix, then the SOM algorithm reduces the dimensionality of input data, simultaneously clustering samples with similar genotypes. B) At the metadata level, it generates individual SOM portraits for each sample, which are then combined in group portraits and in the end the global SOM portraits. In these portraits, red spots indicate a high content of the alternative allele, blue – reference, and green – heterozygotes. Each spot contains a cluster with SNPs.

Results and Discussions

In order to determine the distribution of samples obtained by combining Armenian and Jewish data, we performed SOM algorithms and by dint of visual analysis of SOM group portraits (Figure 2), we can detect individual clusters/spots. The distribution of alleles differ both between the case-control groups and at the population level, as spots were observed that have differing values of alternative allele frequency.

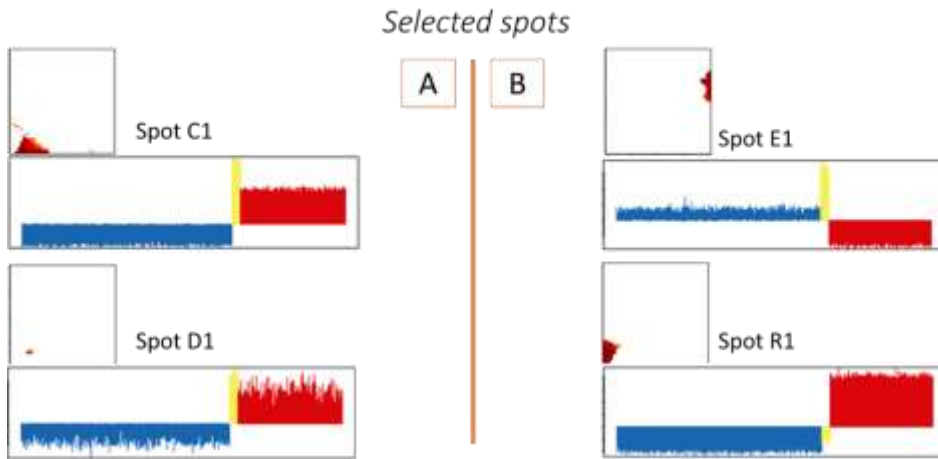


Figure 2. Selected SOM spots of Jewish schizophrenia case-controls and Armenian cases, the control group is marked in blue, the Jewish cases in red, and the Armenian population in yellow.. A) SNPs from spots C1 and D1 may be associated with disease, since the levels of SNP overexpression differ between cases and control group B) SNPs from spots E1 and R1 emphasize the specificity of the association of polymorphisms for different populations.

On the portrait, each dot represents the presence of schizophrenia-associated or population-specific SNPs. We can distinguish the set of SNPs, which are located in the spot area (red spot on schizophrenia map), with high alternative allele frequency in the group (Table 1). We detect 2 spots that may be associated with the disease and 2 spots that highlight the difference in allele frequencies in the samples based on their belongingness to the population.

IDs	Gene Symbol	Gene name
rs2138278,rs10466250,rs1278352	ADAM12	ADAM metalloproteinase domain 12
rs12473715,rs17416172,rs6435690	ERBB4	erb-b2 receptor tyrosine kinase 4
rs6558713,rs7840624,rs7820227,rs11136648,rs1526337,rs968371,rs9644335,rs1504771	CSMD1	CUB and Sushi multiple domains 1
rs12546027,rs12543841,rs17747335,rs17689289,rs10091197,rs4433149	MSRA	methionine sulfoxide reductase A
rs12457272,rs1784729,rs2320747,rs1402629,rs3745050	DIGAP1	DIG associated protein 1
rs2692149,rs10269376,rs10238991,rs2248328	CNTNAP2	contactin associated protein like 2
rs7650786,rs439087,rs7642454,rs3912495	FHIT	fragile histidine triad
rs4887342,rs4887337,rs1946698	NTRK3	neurotrophic receptor tyrosine kinase 3

Table 1. The list of SNPs from the selected spots and which genes they are part of, on the left side are polymorphisms from the E1 module and on the right C1.

We have also performed functional annotation of GO terms for the schizophrenia specific and population associated spots using over-representation analysis (ORA) implemented in Webgestalt web-server [9]. The results demonstrate that SNPs associated with population are involved in biological processes such as mitochondrial fragmentation involved in apoptotic process [10], negative regulation of neuron migration [11] and olfactory bulb interneuron differentiation [12] (Table 2). Findings also highlight altered functions in case of schizophrenia specific clusters, such as transmission of nerve impulse [13], protein localization to juxtaparanode region of axon [14], positive regulation of axon regeneration [15], positive regulation of neuron projection regeneration [16] and GPI-linked ephrin receptor activity [17].

E1	C1
mitochondrial fragmentation involved in apoptotic process	transmission of nerve impulse
muscle structure development	multicellular organismal signaling
negative regulation of neuron migration	protein localization to juxtaparanode region of axon
olfactory bulb interneuron differentiation	positive regulation of axon regeneration
positive regulation of protein localization to cell surface	protein repair
mammary gland epithelial cell differentiation	positive regulation of neuron projection regeneration
mammary gland alveolus development	vocal learning
mammary gland lobule development	imitative learning
positive regulation of cardiac muscle cell proliferation	GPI-linked ephrin receptor activity
circulatory system development	observational learning

Table 2. *Biological processes which are significantly overrepresented in the clusters. In the left part, the processes in which involved the SNPs from schizophrenia-associated spots. In the right part the SNPs from population-specific spots.*

Conclusions

In this study, we have analyzed the distribution of disease-associated SNPs for schizophrenia cases and controls of Ashkenazi and cases from Armenian populations using the SOM method. This approach enables the detection of modest allele frequency changes in the whole genome between the groups, while the standard approaches e.g. PCA or GWAS can miss that information because of the small sample size and conservative multiple adjustments of p-values. Further, we have annotated the SNPs specific for schizophrenia samples, which are mainly included in processes affected during the disease.

BIBLIOGRAPHY

**ПРОГНОЗИРОВАНИЕ РИСКА РАЗВИТИЯ ШИЗОФРЕНИИ У
ЕВРЕЙСКОГО ПОПУЛЯЦИИ АШКЕНАЗИ, ИСПОЛЬЗУЯ
ПОДХОДЫ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ**

С.С. Давитавян^{1,2}, М.А. Никогосян^{1,2}, А.А. Аракелян^{1,2}

¹Институт Биомедицины и Фармации, Российско-Армянский Университет, Ереван, Армения,
²Исследовательская группа биоинформатики, Институт Молекулярной Биологии
НА РА, Ереван, Армения

surendavitavyan98@gmail.com, marianikoghosyan@gmail.com, arsen.arakelyan@rau.am

АННОТАЦИЯ

В настоящее время возникла необходимость в разработке новых системных подходов для анализа геномных данных, которые будут способствовать эффективной диагностике, прогностике и мониторинга клинического течения заболеваний. Между тем, было показано, что в разных популяциях генетический риск, связанный с одним и тем же заболеванием, может значительно варьировать.

Основная цель нашего исследования – выявить популяционные генетические маркеры, связанные с шизофренией среди евреев Ашкенази и в армянской популяции, получить портреты генетического риска заболеваний на популяционном уровне. Для идентификации популяционно-специфических однонуклеотидных полиморфизмов был использован алгоритм кластеризации методом самоорганизующихся карт. Полученные результаты позволили идентифицировать популяционно-специфические группы маркеров, связанных с шизофренией у обеих групп, а также выявить умеренные изменения частоты аллелей у пациентов по сравнению с контрольной группой.

Ключевые слова: шизофрения, однонуклеотидный полиморфизм, самоорганизующиеся карты.

PHYLOGENETIC ANALYSIS OF SARS-COV-2 LINEAGES IN ARMENIA

G. Khachatryan^{1,2}, T. Sirunyan^{1,2}, L. Ghukasyan^{2,3}, A. Arakelyan^{1,2}

¹Russian-Armenian University

²Institute of Molecular Biology NAS RA
Yerevan State University

gisane.khachatryan@student.rau.am, tamara.sirunyan@student.rau.am,
lilit.ghukasyan2@ysumail.am, arsen.arakelyan@rau.am

ABSTRACT

The SARS-CoV-2 pandemic seriously affected the healthcare system over the world. Studies related to the SARS-CoV-2 genome characterization can help in understanding viral evolution. As a result of the mutations, several new lineages of SARS-CoV-2 appeared (20H Beta, V2; 20I Alpha, V1; 20J Gamma, V3; 21A/I/J Delta; 21B Kappa, 21C Epsilon, 21D Eta; 21F Iota, 21G Lambda) that increased transmissibility and may potentially impair the natural and vaccination-induced immune protection. From this point of view, the prompt identification and traceability of disease pathogens and genetic variations are of special importance and interest for disease monitoring and prevention.

In this study, we performed a clade/lineage identification and phylogenetic analysis of SARS-CoV-2 lineages in Armenia using nanopore sequencing of samples collected in January-August 2021. The results show time-dependent changes in the prevalence of different viral variants in our country. The 19A clade was the most prevalent in January; however, it was completely replaced with the 20I (Alpha) variant in early March. Starting from June 21A and 21J (Delta) variants became the most dominant, currently accounting for the most Covid-19 cases. Eight Delta variants (AY.21, AY.24, AY.29, AY.33, AY.39, AY.42, AY.43, B.1.617.2) were detected in 50 samples with B.1.617.2 (n = 11) and AY39 (n = 39) being the most overrepresented.

Phylogenetic analysis allows the allocation of the variants from different time periods on different tree branches, which suggest multiple waves of variant transmission to Armenia. The results of this study suggest the importance of continuous molecular genetic monitoring using whole-genome sequencing for monitoring and prevention of pandemic.

Key words: SARS-CoV-2, Phylogenetic analysis, Armenia, variants.

Introduction

Severe acute respiratory syndrome coronavirus-2 (SARS-CoV-2) was first identified in China (Wuhan) in December 2019 causing novel coronavirus pneumonia.

The complete genome sequence was published in January 2020, which led to the development of real-time reverse transcription-polymerase chain reaction (qRT-

PCR) assays for SARS-CoV-2 detection as a diagnostic standard during ongoing COVID-19 pandemic.

For the identification of SARS-CoV-2 lineages in Armenia Oxford Nanopore sequencing was used, which is a relatively low cost and simple approach with minimal infrastructure requirements.

Since January 2020 there have been found the following mutations: 19A, 20I, 20J, 21A, 21J. In this review we will focus on the method of discovery and phylogenetic analysis of SARS-CoV-2 lineages in Armenia.

Materials and methods

Samples

RNA samples isolated from nasopharyngeal swabs were obtained from the National Center for Disease Control and Prevention, Ministry of Health RA (NCDC). SARS-CoV-2 PCR testing was performed using Real-Time PCR Detection Kit for COVID-19 Coronavirus CE-IVD kit (Biotech & Biomedicine (Shenyang) Group Ltd., China) targeting ORF1ab and N genes. Samples were selected based on the viral RNA load as measured by Ct values between 18-35 for both targets.

Nanopore sequencing

Nanopore sequencing was performed according to the “nCoV-2019 sequencing protocol v3 (LoCost) V.3” based on ARTIC SARS-CoV-2 sequencing protocol with ARTIC nCoV-2019 V3 PCR panel.

cDNA generation. RNA samples were directly used for the first-strand synthesis using the LunaScript RT SuperMix Kit (New England Biolabs, USA) with random hexamer and oligo-dT primers. Briefly, 8 μ L RNA were mixed with 2 μ L LunaScript RT SuperMix (5X) and were placed in a thermocycler and incubated 2 minutes at 25°C, followed by 10 minutes at 55°C and 1 minute at 95°C and cooling to 4°C. cDNAs were immediately used in subsequent steps.

Amplicon generation. To amplify amplicons in cDNA, the primer pairs from the ARTIC V3 primer scheme were used. Two Multiplex PCR reactions with 2.5 μ L cDNA, 12.5 μ L Q5 Hot Start High-Fidelity 2X Master Mix (New England Biolabs, USA), and 4 μ L ARTIC V3 pool 1 (10 μ M) or 4 μ L ARTIC V3 pool 2 (10 μ M) were performed. PCR cycling conditions were: 98°C for 30 secs followed by 35 cycles of 98°C for 15 secs, 65°C for 5 mins and hold at 4°C. The amplified products were purified with an 0.4x volume of AMPure XP beads (Beckman Coulter, USA) to exclude small nonspecific fragments.

Barcoding and library preparation. The purified PCR amplicons were treated with NEBNext End repair/dA-tailing Module (New England Biolabs, USA)

and then barcoded with native barcodes and sequencing adapters (EXP-NBD104 kit Oxford Nanopore Technologies, UK).

Nanopore sequencing. After priming the flow cell, 15 ng of the final sequencing library diluted to a final volume of 75 μ L was loaded. Following the ligation sequencing kit (SQK-LSK109, Oxford Nanopore Technologies, UK) protocol, MinION Mk1B was used to perform genome sequencing in an FLO-MINSP6 R 9.4.1 flow cell for 3-6 hours.

Data preprocessing and demultiplexing. Read base calling and demultiplexing were performed using *Guppy* (4.0.14). The obtained FASTQ files were filtered and reads with length 400-700b were selected using ARTIC pipeline (release 1.1.0). The downstream analyses were performed using the nanopolish workflow implemented in the ARTIC pipeline.

Phylogenetic analysis and multiple alignment.

Multiple alignment was performed with the MAFFT (Multiple Alignment using Fast Fourier Transform) which is a high speed sequence alignment program. For curation and construction of phylogenetic tree, we used NGPhylogeny.fr webservice, which provides a complete set of phylogenetic tools and workflows adapted to various contexts and various levels of user expertise.

Curations were performed using the Noisy clean up tool, and the phylogenetic tree was built using the PhyML tool.

Clade and lineage analysis was performed using Nextclade web app.

Results and discussion

Here we present the study of SARS-CoV-2 sequences that were obtained by the Oxford Nanopore sequencing method. The obtained sequences were aligned with SARS-CoV-2 reference genome. Next we performed multiple sequence alignment with the MAFFT tool, and did a curation using the Noisy clean up tool of the NGPhylogeny.fr webservice. Using the same web service we built the phylogenetic tree. Nextclade web app allows identification of the following mutations, currently widespread in Armenia: 19A, 20B, 20I, 21J, 21A.

Discussion

COVID-19 outbreak, which started at the end of 2019 has a catastrophic burden to healthcare systems worldwide. More than 1,800,000 SARS-CoV-2 genome sequences have been deposited in the GISAID EpiCoV database, an open-access global science initiative. Nextstrain recently designated the new Nextstrain clade 21A and currently divides SARS-CoV-2 diversity into 13 major global clades (19A,

19B, 20A-20J and 21A) based on high prevalence, signature mutations and geographic spread. Presently, the most common strain is Delta.

The results showed considerable changes in lineage composition throughout September 2020 - March 2021. B.1.1.163 became dominant in January samples. These samples contained characteristic D614G mutation, which is known to increase virion spike density and infectivity. Another study also confirmed that D614G substitution activates viral replication in human lung epithelial cells and primary human airway tissues by increasing the infectivity and stability of virions.

B.1.1.7 Alfa lineage first has been detected in clinical samples collected in March. This genetic lineage is suspected to be associated with an increased human-to-human viral transmissibility.

The SARS-CoV-2 B.1.617 lineage was identified in October 2020 in India. In Armenia its appeared during March 2021. The lineage includes three main subtypes (B.1.617.1, B.1.617.2 and B.1.617.3), which contain diverse mutations in the N-terminal domain (NTD) and the receptor-binding domain (RBD) of the SARS-CoV-2 spike protein. This may increase the immune evasion potential of these variants. B.1.617.2, also termed the Delta variant, is believed to spread faster than other variants.

The results of the study again emphasize the need for constant sequencing-based surveillance of SARS-CoV-2 strains for public health decision-making and health care. Nanopore sequencing can serve as an efficient and affordable alternative to short-read NGS and be used for epidemiologic surveillance and molecular genetic analysis of SARS-CoV-2. This is of special importance in countries with underdeveloped NGS sequencing facilities, such as Armenia, and can play an important role in shaping local, national, and regional COVID-19 response strategies.

REFERENCES

1. Artic Network [WWW Document], n.d. URL <https://artic.network/ncov-2019/ncov2019-bioinformatics-sop.html> (accessed 6.17.21).
2. Bull R., Adikari T., Ferguson J., Hammond J., Stevanovski I., Beukers A., Naing Z., Yeang M., Verich, A., Gamaarachchi H., Kim, K., Luciani F., Stelzer-Braid S., Eden, J.-S., Rawlinson W., van Hal S.J., Deveson I., 2020b. Analytical validity of nanopore sequencing for rapid SARS-CoV-2 genome analysis. *Nat. Commun.* 11, 6272. <https://doi.org/10.1038/s41467-020-20075-6>
3. CDC, 2020. SARS-CoV-2 Variant Classifications and Definitions [WWW Document]. *Cent. Dis. Control Prev.* URL <https://www.cdc.gov/coronavirus/2019-ncov/variants/variant-info.html> (accessed 6.17.21).
4. Charre C., Ginevra C., Sabatier M., Regue, H., Destras G., Brun S., Burfin G., Scholtes C., Morfin F., Valette M., Lina B., Bal A., Josset L. 2020. Evaluation of NGS-based approaches for SARS-CoV-2 whole genome characterisation. *Virus Evol.* 6, veaa075. <https://doi.org/10.1093/ve/veaa075>

ФИЛОГЕНЕТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ЛИНИЙ SARS-COV-2 В АРМЕНИИ

Г.В. Хачатрян^{1,2}, Т.К. Сирунян^{1,2}, Л.Г. Гукасян^{2,3}, А.А. Аракелян^{1,2}

¹Российско-Армянский университет

²Институт молекулярной биологии НАН РА

³Ереванский государственный университет

gisane.khachatryan@student.rau.am, tamara.sirunyan@student.rau.am, lilit.ghukasyan2@ysu-mail.am, arsen.arakelyan@rau.am

АННОТАЦИЯ

Пандемия SARS-CoV-2 серьезно повлияла на систему здравоохранения во всем мире. Исследования, связанные с характеризованием генома SARS-CoV-2 могут способствовать пониманию эволюции вируса. В результате мутаций появилось несколько новых линий SARS-CoV-2 (20NBeta, V2; 20IAlpha, V1; 20JGamma, V3; 21A/I/JDelta; 21BKappa, 21CEpsilon, 21DEta; 21F). Iota, 21GLambda), которые повышают трансмиссивность и потенциально могут нарушать естественную и вызванную вакцинацией иммунную защиту. С этой точки зрения быстрая идентификация и отслеживание возбудителей болезней и генетических вариаций имеют особое значение и интерес для мониторинга и профилактики заболеваний.

В этом исследовании мы провели идентификацию линии и филогенетический анализ SARS-CoV-2 в Армении с использованием нанопорового секвенирования образцов, собранных в январе-августе 2021 года. Результаты показывают временную зависимость в распространенности различных вариантов вируса в нашей стране. В январе наиболее распространенной была линия 19A, однако в начале марта она была полностью заменена вариантом 20I (Альфа). Начиная с 21 июня, варианты A и 21J (Дельта) стали преобладающими, на них в настоящее время приходится большинство случаев Covid-19. Восемь дельта-вариантов (AY.21, AY.24, AY.29, AY.33, AY.39, AY.42, AY.43, B.1.617.2) были обнаружены в 50 образцах с наиболее высокой распространенностью B.1.617.2 (n = 11) и AY39 (n = 39) вариантов.

Результаты этого исследования свидетельствуют о важности непрерывного молекулярно-генетического мониторинга с использованием полногеномного секвенирования для предотвращения пандемии.

Ключевые слова: SARS-CoV-2, филогенетический анализ, Армения, линии.

SARS-CoV-2/

СИНТЕЗ И НЕКОТОРЫЕ БИОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПРОИЗВОДНЫХ ХРОМОФОРА ЗЕЛЕННОГО ФЛУОРЕСЦЕНТНОГО БЕЛКА

А.Т. Макичян^{1,2}, А.А. Оганнесян¹, В.О. Топузьян¹*

¹*Научно-технологический центр органической и фармацевтической химии
НАН РА* ²*Российско-Армянский университет
ani.makichyan@rau.am*

АННОТАЦИЯ

Реакцией 2-фенил-4-(4-бензоилоксиарилиден)-5(4H)-оксазолонов с 1,1,1,3,3,3-гексаметилдисилазаном в зависимости от условий реакции были синтезированы первичные амиды N,O-дibenzoил- α,β -дегидротирозинов и 2-фенил-5-(гидроксibenзилиден)-4-имидазолон. Исследованы антирадикальные и антихолинэстеразные свойства синтезированных соединений.

Изучена возможность применения O-бензоильной защитной группы для синтеза как бензиламида N-бензоил- α,β -дегидротирозина, так и соответствующего 5-имидазолон.

Ключевые слова: O-защитная группа, α,β -дегидроаминокислота, 5(4H)-оксазолон, имидазол-4-он, амиды.

В настоящее время имеются многочисленные свидетельства о нахождении природных соединений, содержащих остаток 4-имидазолон [1–6]. В этом ряду особое место занимает семейство зеленого флуоресцентного белка [7].

Известно, что 4-имидазолон проявляют различные биологические свойства, в том числе противораковое [8], антигипертензивное [9], антигистаминное [10], противовоспалительное [11], и противосудорожное свойства [12]. Они также являются ингибиторами моноаминоксидазы [13] и холинэстераз [14]. В связи с этим нами осуществлен синтез некоторых аналогов хромофора ЗФБ и исследованы их антирадикальные и антихолинэстеразные свойства.

Ранее при синтезе производных ХЗФБ в качестве O-защиты α,β -дегидротирозинового остатка применялись ацетильная [15–17] или трет-бутилдиметилсилильная [18–20] группы. В работах [21,22] описаны методы удаления метильной группы из метокси производного ХЗФБ. По данным [23], где синтез производных ХЗФБ осуществлен 2+3 циклоконденсацией арилидениминов и илидов, защита фенольной гидроксильной группы применялась. Нами же исследована возможность применения O-бензоильной защитной группы при синтезе ХЗФБ.

Синтез целевых соединений осуществлен взаимодействием ненасыщенных 5(4H)-оксазолонов 1–3 с 1,1,1,3,3,3-гексаметилдисилазаном (ГМДС) при

различных условиях (схема 1). В случае проведения реакции в этилацетате при комнатной температуре получены первичные амиды N,O-дibenzoил- α,β -дегидротирозинов 4-6, выход которых колеблется в пределах 52–89%. В случае же применения в качестве растворителя ДМФА и кипячения реакционной смеси (0,5 ч) образуются 2,4-дизамещенные 5-имидазолы 12, 13 с выходами 75.9% и 61%, соответственно. Увеличение продолжительности времени нагревания реакционной смеси до 1,5 ч наряду с дегидратацией приводит к удалению бензоильной O-защитной группы с образованием производных 5-гидроксиарилиден-4-имидазолонов 15–17. Такой же результат получен при реакции оксазолон 1 и ГМДС в присутствии 3-диметиламино-1-пропиламина (ДМАПА) в среде ДМФА. В последнем случае 4-имидазолон 15 получен с выходом 84% при кипячении реакционной смеси в течение 1 ч. Бензиламид N,O-дibenzoил- α,β -дегидротирозина (7) был получен взаимодействием оксазолон (1) с бензиламином при комнатной температуре в диметилформамиде. При этом установлено, что при соотношении оксазолон 1 и бензиламина 1:1 в течение 24 ч выход бензиламида 7 составляет 39%, тогда как увеличение количества бензиламина до 3 эквивалентов в течение 3 ч приводит к образованию амида 7 с выходом 81%. В последнем случае увеличение реакционного времени до 24 ч приводит к 99% образованию амида 7. В этих условиях O-бензоильная группа амида 7 сохраняется.

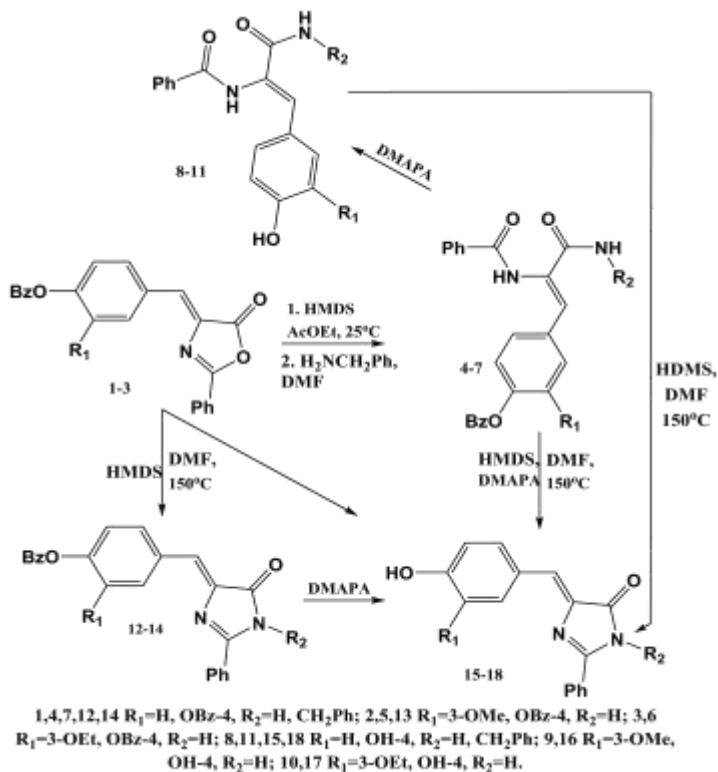
Синтез фенолбензоата 14 осуществлен кипячением смеси амида 7 с ГМДС в диметилформамиде в течение 0,5 ч. При этом получен смесь имидазолонов 14 и 18. Обработкой реакционной смеси удалось выделить имидазолон 14 с выходом 45%. Однако, в случае удлинения времени реакции до 1,5 ч процесс приводит к образованию имидазол-4-она 18 с выходом 70%. Очевидно, что при взаимодействии ГМДС и амида 11 протекают две параллельные реакции – циклизация и удаление O-бензоильной защитной группы.

Из производных α,β -дегидротирозинов 4–7 и 4-имидазолонов 12–14 O-бензоильную группу удаляли реакцией с ДМАПА в среде ацетонитрила. При этом с хорошими выходами получены амиды 8–11(74–94%) и 4-имидазолы 15–18 (77–90%).

С применением стабильного радикала – 2,2'-дифенил-1-пикрилгидразила (ДФПГ·) исследованы антирадикальные свойства соединений 4–18 (Табл.1), измерения проводились спектрофотометрическим методом [24]. Согласно полученным данным по ингибированию ДФПГ· производные α,β -дегидротирозина 8–11 и 5-(4-гидроксибензилиден)-4-имидазолон 15–18 превосходят их O-бензоильным аналогам (4–7 и 12–14). Из данных Табл.1 видно, что в ряду

соединений 4–18 сравнительно высоким антирадикальным свойством (99%) обладает амид N-бензоил- α,β -дегидро-3-метокситирозина (9).

Схема 1. Методика синтеза целевых соединений.



Исследованы также антихолинэстеразные свойства синтезированных соединений 4–18 по отношению как к ацетилхолинэстеразе (АХЭ), так и к бутирилхолинэстеразе (БухЭ). Антихолинэстеразные свойства определяли с применением метода, описанного в работе [25]. В исследованиях применяли эритроцитарную АХЭ и плазменную БухЭ человека. Измерения проводились в термостатируемой ячейке спектрофотометра “Specord UV-Vis” при 412 нм. В опытах реакционная среда в 2.5 мл конечного объема содержала реагенты в следующих концентрациях: дистиллированная вода – 1.25 мл, 0.1М фосфатный буфер – 1мл (рН 7.6±0.1), 0.005М раствор 5,5'-дитиобис-(2-нитробензойная кислота) (ДТНБ) – 0.02мл, 0.005М водный раствор ацетилтихолина (АТХ) – 0.005мл, водный раствор соответствующего фермента – 0.02 мл и 0.01М диметилсульфоксидного раствора исследуемого вещества – 0.02 мл.

Таблица 1. Данные антирадикальных и антихолинэстеразных свойств соединений 4–18.

Соединение	Ингибирование, %		
	ДФПГ*	АХЭ	БуХЭ
4	7	67.2	46
5	7.5	75.2	81
6	9.7	28	74.4
7	43,1	63,6	28,7
8	67.1	31.9	67.1
9	99.1	44.8	33.3
10	79.8	69.6	52.4
11	85,1	76,6	40,5
12	23.5	94.8	96
13	35.8	48.4	11.3
14	6,86	43,0	54,5
15*	78.5	90	100
16	77.7	91.4	94.8
17	72.2	79.6	69.4
18	16,2	37,0	16,1

* При уменьшении концентрации соединения **15** в 2 раза, антихолинэстеразная активность составляет АХЭ 21.6%, БуХЭ 59.2%.

Для контрольных опытов раствор, содержащий фермент и ДТНБ, инкубировали 10 мин. при 25°C, измеряли поглощение, после чего добавляли АТХ и повторно измеряли поглощение раствора после инкубирования 20 мин при 25°C. Тестовые опыты проводили аналогично, изначально в присутствии исследуемого соединения.

Согласно данным, приведенным в Табл.1, все исследованные соединения обладают антихолинэстеразной активностью. В случае АХЭ она колеблется в пределах 28–94%, а БуХЭ – 11–96%.

При этом, по ингибирующим свойствам из амидов α,β -дегидроаминокислот 4–11 сравнительно высокую антихолинэстеразную активность проявляет амид N-бензоил- α,β -дегидро-3-метокси-O-бензоилтирозин (5 АХЭ-75%; БуХЭ-81%), тогда как из соответствующих 4-имидазолонов 12–18 сравнительно высокую антихолинэстеразную активность проявляется у 2-фенил-5-(4-гидроксипензилиден)-4-имидазолон (15 АХЭ-90%; БуХЭ-100%).

Из данных табл. 1 легко убедиться, что при переходе от амидов α,β -дегидроаминокислот 4–11 к 4-имидазолонам 12–18 антихолинэстеразные свойства по отношению к обоим ферментам возрастают.

ЛИТЕРАТУРА

1. Sato H., Tsuda M., Watanabe K., Kobayashi J. // *Tetrahedron Lett.*, 1988, v.54, p.8687
2. Numata A., Takahashi C., Matsushita T., Miyamoto T., Kawai K., Usami Y., Matsumura E., Inoue M., Ohishi H., Shingu T. // *Tetrahedron Lett.*, 1992, v.33. P. 1623
3. Kato T., Shizuzi Y., Izumida H., Yokoyama A., Endo M. // *Tetrahedron Lett.*, 1995, v.36. p. 2133.
4. Supriyono A., Schwartz B., Wray V., Witte L., Muller W.E.G., Van Soest R., Sumaryono W., Proksch P.Z. // *Naturforsch. C: Biosci.*, 1995, v. 50. P. 669.
5. Kitagawa I., Kobayashi M., Kitanaka K., Kido M., Kyogoku Y. // *Chem. Pharm. Bull.*, 1983, v.31. p. 2321
6. Chan G., Mong S., Hemling M., Freyer A., Offen P., DeBrosse C., Sarau H. Westley J.W. // *J. Nat. Prod.*, 1993, v. 56, № 1. PP.116–121.
7. Craggs T. // *Chem. Sic. Rev.*, 2009, v.38. P.2865.
8. Vishnu Kolhe and Vinod Dingara // *J. Heterocycl. Chem.*, 4(1), 69 *Chem. Abstr.*, 1995, 122.
9. Burgey C.; Stump C., Nguyen D., Deng J., Quigley A., Norton B., Belli. M., Mosser S., Salvatore C., Rutledge R., Kane S., Koblan K., Vacca J., Graham S., Williams T. // *Bioorg. Med. Chem. Lett.* 2006, 16, 5052.
10. Ronnie R. Grenshaw and Luke George M // *Chem. Abstr.*, 98, 16649p (1983).
11. El-Araby, Omar A., Hassanein, El-Helby, Abdel-Rahman // *Molecules*, 18;17(10): 12262–75, Oct. (2012).
12. Verma M., Chaturvedi A., Chadari A. and Parmar S. // *J. Pharm. Sci.*, 63, 1740 (1974).
13. Mosaad Sayed Mohamed, Rehab Kamel Mahmoud, Amira Ibrahim Sayed I, Moustafa El-Araby E. // *Open Journal of Medicinal Chemistry*, 2, 24–29 (2012).
14. Saito R., Hoshi M., Kato A., Ishikawa C., Komatsu T. // *Eur. J. Med. Chem.*, 2017, 125, 965–974.
15. Lee C.-Y., Chen Y.-C., Lin H.-C., Jhong Y., Chang C.-W., Tsai C.-H., Kao C.-L., Chien T.C. // *Tetrahedron*, 2012, 68, 5898–5907.
16. He X., Bell A.F., Tong P. J. // *Org. Lett.*, 2002, 4, 1523–1526.
17. Kojima S., Ohkawa H., Hirano T., Maki S., Niwa H., Ohashi M., Inouye S., Tsuji F.I. // *Tetrahedron Lett.*, 1998, 39, 5239–5242.
18. Bell A., He X., Wachter R., Tonge P. // *Biochemistry*, 2000, 39, 4423–4431.
19. Niwa H., Inouye S., Hirano T., Matsuno T., Kojima S., Kubota M., Ohashi M., Tsuji F. // *PNAS*, 1996, 93, 13617–13622.
20. Chuang W.-T., Hsieh C.-C., Lai C.-H., Lai C.-H., Shih C.-W., Chen K.-Y., Hung W.-Y., Hsu Y.-H., Chou P.-T. J. // *Org. Chem.*, 2011, 76, 8189–8202.
21. Chen K.-Y., Cheng Y.-M., Lai C.-H., Hsu C.-C., Ho M.-L., Lee G.-H., Chou P.T. J. // *Am. Chem. Soc.*, 2007, 129, 4534–4535.
22. Baldrige A., Kowalik J., Tolbert L. // *Synthesis*, 2010, 14, 2424–2436.
23. Zhu Q., Hackman R., Ensuna J. // *J. Agric. Food Chem.*, 2002, 50, 6929–6934.
24. Bondet V., Brand-Williams W., Berset C. // *Lebensm.-Wiss. U.-Technol.* 1997, 30, 609.
25. Ellman G., Courtney K., Andres V. Jr, Feather-Stone R. // *Biochem. Pharm.* 1961, 7, 88.

**SYNTHESIS AND SOME BIOLOGICAL PROPERTIES OF
GREEN FLUORESCENT PROTEIN CHROMOPHORE
DERIVATIVES**

A. Makichyan^{1,2*}, A. Ogannesyanyan¹, V. Topuzyan¹

¹Scientific and Technological Center of Organic and Pharmaceutical Chemistry NAS RA ² Russian-Armenian University

* ani.makichyan@rau.am

The primary amides N,O-dibenzoyl- α,β -dehydrotyrosines and 2-phenyl-5-(hydroxybenzylidene)-4-imidazolones. The antiradical and anticholinesterase properties of the synthesized compounds were studied.

The possibility of using the O-benzoyl protecting group for the synthesis of both N-benzoyl- α,β -dehydrotyrosinebenzylamide and the corresponding 5-imidazolone was studied.

Keywords: O-protecting group, α,β -dehydroamino acid, 5-(4H)-oxazolone, imidazol-4-one, amides.

THE ROLE OF PHYSICAL ACTIVITY IN PREVENTION OF LOWER LIMBS' VARICOSE VEINS OF REPRODUCTIVE AGE WOMEN

M. Ohanyan, A. Grigoryan, S. Avetisyan A. Manukyan

*Russian-Armenian Slavonic University, Shirakatsy Lyceum,
Yerevan State Medical University*

*mariamohanyan@shirakatsy.am, anna.grigoryan@rau.am, su-
zav1998@gmail.com, ah_manukyan@yahoo.com*

ABSTRACT

In this article, the author refers to varicose veins, a disease that is common in young, reproductive age women. The disease is associated with a modern, sedentary lifestyle, a decrease physical activity and obesity. The article takes into consideration the fact that skeletal muscles of lower limb promote the venous blood circulation during the walking and increase the role of the leg muscles in the function of the superficial and deep veins.

Key words: Varicose veins, risk factors, reproductive age, heredity, physical activity.

Introduction and relevance

Varicose veins affect young and adult population and result in significant psychological, physical, and financial burden. Nevertheless, the molecular pathogenesis of varicose vein formation remains unidentified.

Varicose veins are a common venous disease of the lower limbs which affects not only the adult population in Armenia, but also women of reproductive age. Varicose veins are elongated, dilated, and tortuous veins. In other words, varicose veins are transformational changes of lower limb veins. Varicose veins range in severity from the undesirable appearance of telangiectasia to large tortuous varicosities with or without associated swelling, dermatitis, pigmentation, or cutaneous ulcerations. There is a significant financial burden of chronic venous disease that comprises varicose veins and their complications on the health care system. In countries with developed health care system, the cost of treating advanced venous disease has accounted for up to 1% to 2% of the total health care budget. Thus, varicose veins pose considerable social and economic problems [1].

Varicose veins are characterized by symptoms or signs produced by venous hypertension because of structural or functional abnormalities of veins. Symptoms may include aching, heaviness, itching, sensations of burning, swelling, cramps, dilatation or prominence of superficial veins, and skin color changes. Signs may include reticular or varicose veins, edema, and skin changes such as pigmentation,

eczema, and even ulceration. Varicose veins in young girls and women in the reproductive age tends to spread and develop. This is due to sedentary lifestyle, obesity, heredity, and other factors affecting on veins structural and functional condition. Nowadays, it is essential to avoid the effects of modern medicine, prevent chronic disease and use various methods of physical education. The veins blood circulation contributes by skeletal muscle contraction. It is known that jogging, swimming, cycling strengthens the legs muscles, maintains veins normal functioning. Although there are suggested a lot of physical exercises that will reveal different mechanisms of muscle groups interaction with vessels in appropriate area. In scientific literature, you can face different methods of physical exercises that are discussed a lot, especially in the Russian literature, the exercises are in the form of simplest advisor and almost do not contain scientific justification and research [2]. English literature describes various research activities that do not include the above group. More research is necessary to do among young women, for example, students because of their unhealthy sedentary **lifestyle**, unhealthy food, that can cause not only vascular system disease but also other complications^[3].

“Structured exercise improves calf muscle pump function in chronic venous insufficiency and the efficacy of physical conditioning has been convincingly demonstrated in patients with chronic venous disease, but none of the practice guidelines for treatment of chronic venous disease describe the aerobic or strength training used in detail.”[3] Therefore, it is important to create specific complex of exercises that the young woman can do even in the bad before starting their daily activities.

Aims of the investigation are the following:

1. to observe the scientific literature, read and analyses the facts.
2. to test and identify the risk factors of venous insufficiency, with special emphasis on heredity and physical activity of young woman.
3. to assess the indicator of physical development of young woman (in our case, of the students).
4. to analyse the statistical results.

Methods

Methods of research are the following:

- Ultrasound diagnosis of lower limbs' superficial and deep veins (especially dorsal foot vein (DFV) and the great saphenous vein (GSF))
- Measurement of foot venous pressure (mmHG)

Foot venous pressure measurement is considered to be useful for assessing lower limb venous insufficiency, because venous hypertension is the main factor predisposing to venous insufficiency. In this study, we investigated the utility of foot venous pressure measurement in the evaluation of venous insufficiency.

Objectives

Objectives of the investigation are the following:

1. Determination of the effects of conventional-simple kinesiotherapy on venous blood circulation, pain.
2. Identification and quantification of risk factors for venous insufficiency, with special emphasis on physical activity.

For that purpose, controls were sampled among the students with subacute conditions such as superficial visible varicose veins, pain, redness of the skin and were matched on referral physician, age 22 (\pm 3 years), and gender (women). Subjects were eligible if they were 19 to 25 years old and were excluded if they had nonpalpable pedal pulse or any chronic active diseases. Cases' and controls' statuses were ascertained by the participating physicians.

“Women who reported spending eight or more hours in an average day in sedentary activities (sitting or standing) also had a significantly higher incidence of varicose veins than those who spent four or fewer hours a day in such activities. For men, varicose veins coexisted with lower levels of physical activity and higher smoking rates. While men and women with varicose veins had a higher incidence of atherosclerotic cardiovascular disease than those without varicose veins, only the excess risk of coronary heart disease in women was statistically significant (p less than 0.05). However, this finding was not significant after controlling for body mass and systolic blood pressure. These results suggest that increased physical activity and weight control may help prevent varicose veins among adults at high risk and reduce the overall risk of atherosclerotic cardiovascular disease as well.” [4]

Results

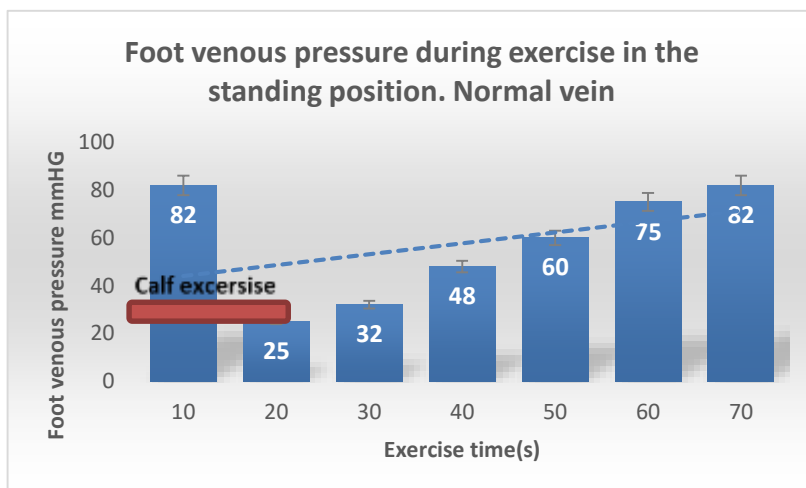
For this purpose, randomized controlled trial was undertaken. We enrolled 35 women of reproductive age with stage I venous insufficiency on the clinical, etiological, anatomical scale of venous disorders, randomly assigning them to a control ($n = 19$) or experimental ($n = 16$) group. All the women undergo an ultrasound examination before and after structured exercises, a walking program for a 4-week period. Main outcome measures determined pre- and post-intervention were venous blood pressure, venous velocity, skin temperature and filling of pain(in levels).

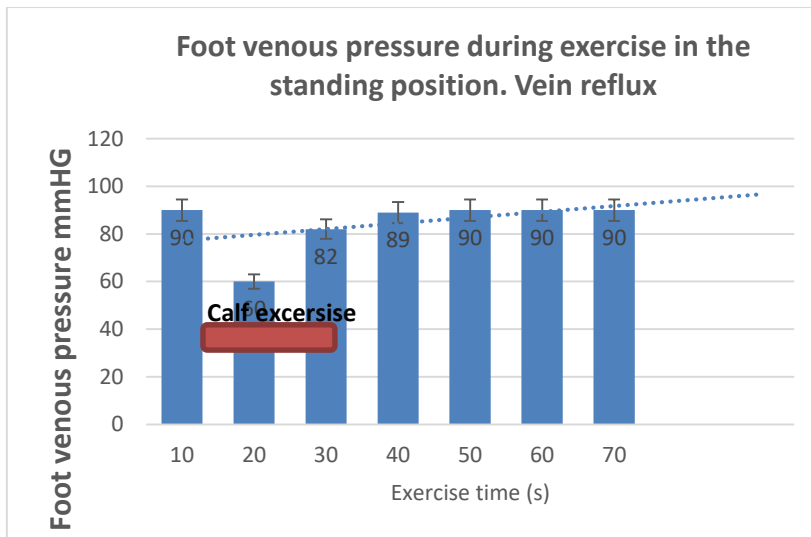
“Structured exercise improves calf muscle pump function in chronic venous insufficiency and the efficacy of physical conditioning has been convincingly demonstrated in patients with chronic venous disease...”[3]

Because of the location of varicose veins in the lower limb, and the increase in lower limb venous pressure in the standing position, a relationship between the lower limb high venous pressure and the formation of varicose veins has long been proposed. In the upright position and in the absence of muscle contraction, venous hydrostatic pressure measured on the dorsum of the foot ranges from 95 to 120 mmHg, depending on the women height and weight. Return of blood from the dependent lower limb to the heart requires overcoming the effects of hydrostatic pressure (the weight of the column of blood below the right atrium), which is accomplished by *muscle pumps* working with venous valves. When a *normal subject exercise*, the venous pressure remains at a low and steady level throughout the period of exercise [4].

The venous pressure measured in insufficient superficial veins during walking decrease but still is higher than those observed in normal veins and returned to the preexisting levels much faster when walking of young women is stopped (see Fig. 1).

Figures 1 and 2: Diagrams showing foot venous pressure during exercise in the standing position for normal and varicose veins. Lower diagram illustrates venous pressure in patients with venous reflux.





These changes are attributed to the venous blood reflux in distal veins during muscle relaxation with the rapid establishment of the hydrostatic column and *venous hypertension*. The p-value, short for probability value, is an important concept in statistical hypothesis testing. The p-value is less than the critical p value(0.05), so we got statistical proof.

The venous pressure in superficial veins during walking decreases. The combination of walking therapy and kinesiotherapy improves the venous circulation, decreases the pain in lower limbs of young women with venous insufficiency. Foot venous pressure measurements were very useful for evaluating the outcome of walking therapy and kinesiotherapy for venous insufficiency. There's a common belief that varicose veins only happen in pregnant and *older* women, but men suffer them just as often, and moreover teenagers are at risk, especially in a progressively *sedentary society*.

Discussion

These changes are attributed to the reflux of blood distally during muscle relaxation with the rapid establishment of the hydrostatic column and venous hypertension. The observed pressure changes at the level of the foot in normal veins are entirely dependent on intact and functioning venous valves in the distal limb. Diastolic blood pressure, venous blood flow velocity was significantly higher in the experimental group than in the control group but after the 4-week treatment of only walking program it was regulated simultaneously.

The venous pressure in superficial veins during walking decreases, the blood circulation of lower limbs increases. The combination of walking therapy and kine-
siotherapy improves the venous return blood flow, pain and quality of life of young
women with venous insufficiency.

REFERENCES

1. *Gloviczki P., Comerota A., Dalsing M. et al.* The care of patients with varicose veins and associated chronic venous diseases: clinical practice guidelines of the Society for Vascular Surgery and the American Venous Forum. *J Vasc Surg.* 2011; 53 (5, Suppl): 2S–48S. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jvs.2011.01.079>. PMID:21536172.
2. *Khilnani N., Grassi C., Kundu S. et al.* Multi-society Consensus Quality Improvement Guidelines for the Treatment of Lower-extremity Superficial Venous Insufficiency with Endovenous Thermal Ablation from the Society of Interventional Radiology, Cardiovascular Interventional Radiological Society. *J VascInterv Radiol.* 2010; 21(1):14–31. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jvir.2009.01.034>. PMID:20123189.
3. Padberg FT Jr, Johnston MV, Sisto SA. Structured exercise improves calf muscle pump function in chronic venous insufficiency: a randomized trial. *J Vasc Surg.* 2004; 39(1):79–87. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jvs.2003.09.036>. PMID:14718821.
4. Garber CE, Blissmer B, Deschenes MR, et al. Quantity and quality of exercise for developing and maintaining cardiorespiratory, musculoskeletal, and neuromotor fitness in apparently healthy adults: guidance for prescribing exercise. *Med Sci Sports Exerc.* 2011;43(7):1334–59. <http://dx.doi.org/10.1249/MSS.0b013e318213feff>. PMID:21694556.

РОЛЬ ФИЗИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ В УЛУЧШЕНИИ ФИЗИОЛОГИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ У ЖЕНЩИН В РЕПРОДУКТИВНОМ ВОЗРАСТЕ С ВАРИКОЗНЫМИ ВЕНАМИ

М.Г. Оганян, А.М. Григорян, С.С. Аветисян, А.А. Манукян

*mariamohanyan@shirakatsy.am, anna.grigoryan@rau.am, suzav1998@gmail.com,
ah_manukyan@yahoo.com*

АННОТАЦИЯ

В этой статье исследуются варикозные вены, заболевание, которое распространено у молодых женщин в репродуктивном возрасте от 19 до 25 лет. Заболевание связано с современным, малоподвижным образом жизни, снижением физической активности и с ожирением. Статья принимает во внимание тот факт, что скелетные мышцы при ходьбе способствуют кровообращению в нижних конечностях и повышают роль мышц голени в функции поверхностных и глубоких вен голени.

Ключевые слова: физические упражнения, ходьба, варикозные вены, факторы риска, изменения в образе жизни.

ДЕЙСТВИЕ НАНОЧАСТИЦ ОКСИДА ЖЕЛЕЗА, СТАБИЛИЗИРОВАННЫХ ЛИМОННОЙ КИСЛОТОЙ, НА ПАРАМЕТРЫ РОСТА *ESCHERICHIA COLI* K12

М.И. Тимотина¹, Л.С. Габриелян^{1,2}, К.А. Трчунян^{1,2}

¹Российско-Армянский университет

²Ереванский Государственный университет

Timotina.mar@gmail.com, Lsgabrielyan@gmail.com, K.trchounian@gmail.com

АННОТАЦИЯ

В данной статье исследовано влияние наночастиц оксида железа (Fe_3O_4), стабилизированных лимонной кислотой, на параметры роста и количество жизнеспособных колоний бактерии *Escherichiacoli* K12. Показано, что использованные наночастицы демонстрируют выраженный антибактериальный эффект.

Ключевые слова: *Escherichia coli*; наночастицы оксида железа; рост бактерий; выживаемость.

Введение

В настоящее время достижения нанотехнологии позволяют использовать наночастицы (НЧ) в самых различных сферах жизнедеятельности, таких, как биотехнология, биомедицина, фармацевтика, пищевая промышленность и др. [1-3]. При этом, НЧ оксида железа (Fe_3O_4) благодаря своим парамагнитным свойствам широко используются в биомедицине [2,3]. Из-за склонности наночастиц к агрегации для их использования в биомедицине необходима их стабилизация, что может влиять на их свойства [4,5]. Наиболее распространенными являются гидрофобные стабилизаторы, однако это делает наночастицы растворимыми только в органических растворителях, и, как следствие, ограничивает их использование в биомедицине [4,5]. Поэтому для применения в биомедицине гидрофобный стабилизатор часто предлагается заменить на гидрофильный [5]. Таким стабилизатором является лимонная кислота. Было показано, что НЧ, стабилизированные лимонной кислотой, довольно долго оставались стабильными в водных растворах, при этом стабильность сохранялась под действием электрического поля [6]. Обработка НЧ лимонной кислотой в водном растворе стабилизировала поверхность НЧ [7]. При этом в литературе мало данных об антибактериальных свойствах НЧ, стабилизированных лимонной кислотой. Изучение антибактериальных свойств НЧ, стабилизированных лимонной кислотой, является важным для их применения в биомедицине.

В данной работе было изучено действие наночастиц оксида железа Fe_3O_4 , стабилизированных лимонной кислотой, на параметры роста и количество жизнеспособных колоний грамотрицательной бактерии *Escherichiacoli*K12.

Материал и методы

Объектом исследования служил штамм *E. coli* дикого типа K12 (Коллекция микроорганизмов кафедры биохимии, микробиологии и биотехнологии биологического факультета Ереванского государственного университета). Бактерия выращивалась в анаэробных условиях на пептоновой питательной среде, содержащей 2% пептона, 0.5 % NaCl, 0.2 % K_2HPO_4 и 0.2 % глюкозы при температуре 37°C и pH 7.58,9]. Наночастицы оксида железа (средний размер около 10 нм) в концентрации от 50 до 250 мкг/мл добавлялись непосредственно в среду роста бактерий. За ростом бактерии следили по измерению оптической плотности суспензии с помощью денситометра DEN-18 McFarland (BioSan, Латвия) при длине волны 600 нм (OP_{600}). Удельная скорость роста (μ) определялась по формуле: $\mu = (\ln OP_t - \ln OP_0)/t$, где OP_0 – начальное значение оптической плотности (OP_{600}); $aOP_t - OP_{600}$ через время t , и выражали в $ч^{-1}$. Продолжительность лаг-фазы роста определяли графически, как время до начала логарифмической фазы роста [8,9]. Подсчет жизнеспособных бактерий проводили методом посева соответственно разведенной в определенном объеме культуры *E. coli* на плотную питательную среду в чашки Петри, а затем подсчитывали количество сформированных колоний [8,9]. В работе приводятся средние арифметические значения из трех независимых экспериментов со среднеквадратическими отклонениями результатов. Достоверность данных подтверждали расчетом критерия достоверности Стьюдента ($p < 0.05$).

Результаты и обсуждение

E. coli является классическим модельным организмом для множества биомедицинских и биотехнологических исследований [1, 9].

Обнаружено ингибирующее действие НЧ Fe_3O_4 , стабилизированных лимонной кислотой, на грамотрицательную бактерию *E. coli*K12 (Рис. 1). При этом действие НЧ Fe_3O_4 на рост *E. coli* проявляло концентрационную зависимость. Продолжительность фазы латентного роста (лаг-фазы) значительно возрастала в присутствии НЧ Fe_3O_4 , при этом также наблюдалась концентрационная зависимость (рис. 1А). При выращивании *E. coli* K12 в присутствии 250 мкг/мл НЧ Fe_3O_4 , стабилизированных лимонной кислотой, продолжительность лаг-фазы возрастала примерно в 2 раза (Рис. 1А).

В присутствии 50 мкг/мл НЧ Fe_3O_4 , стабилизированных лимонной кислотой, удельная скорость роста *E. coli* K12 была схожа с контролем (Рис. 1Б). Максимальный ингибирующий эффект проявлялся при концентрации 250 мкг/мл, что привело к снижению удельной скорости роста бактерий примерно на 40%, что свидетельствует о антибактериальном эффекте данных НЧ (Рис. 1Б).

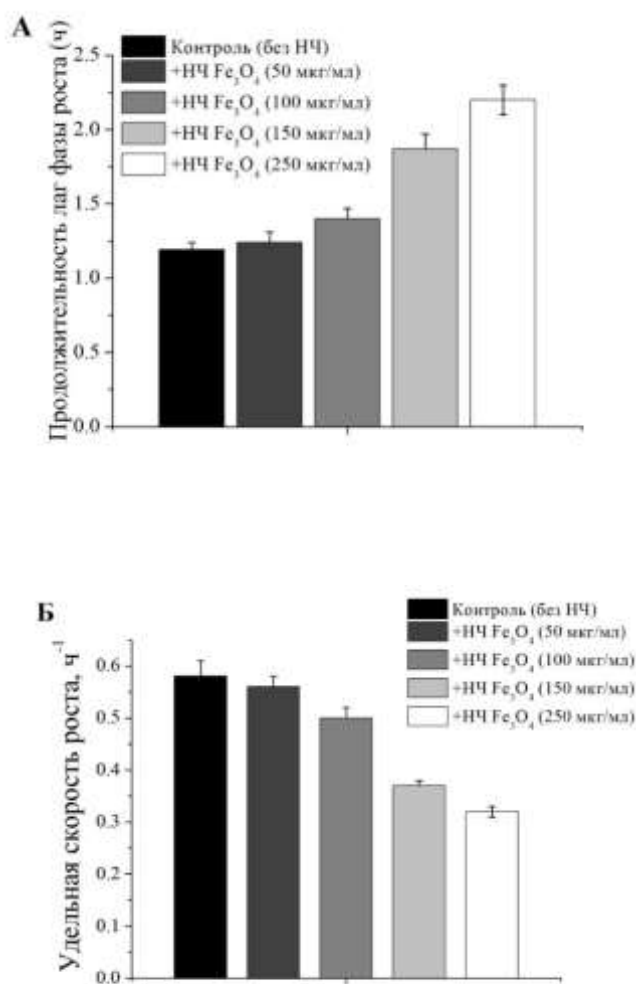
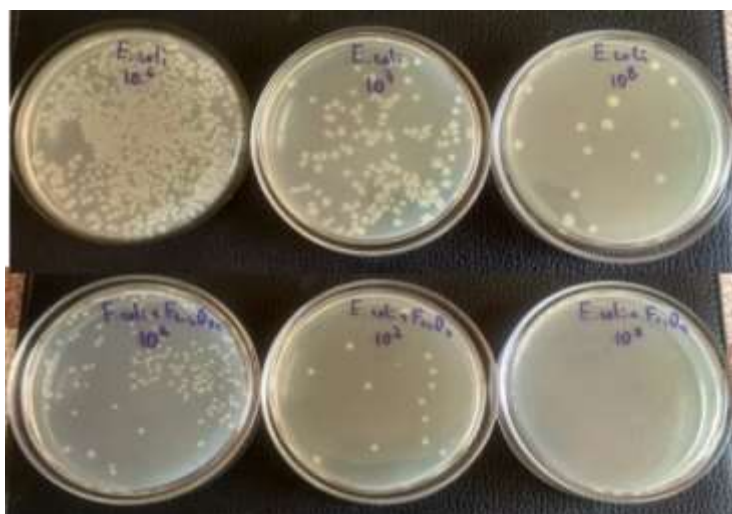


Рис. 1. Влияние различных концентраций наночастиц Fe_3O_4 , стабилизированных лимонной кислотой, на продолжительность лаг фазы (А) и удельную скорость (Б) роста *E. coli* K-12 ($p < 0.05$). Контроль – бактерии, выращенные без наночастиц.

Аналогичные результаты были получены и с НЧ Fe_3O_4 , стабилизированными олеиновой кислотой [9]. НЧ Fe_3O_4 , покрытые олеиновой кислотой, демонстрировали более выраженную антибактериальную активность в той же концентрации против *E. coli* K12, по сравнению с *E. coli* BW25113 [9]. Образование наночастицами оксида железа активных форм кислорода может привести к окислительному стрессу, повреждениям белков и клеточных мембран, что является одним из основных механизмов антибактериального эффекта НЧ [3,9].

Также было исследовано влияние НЧ Fe_3O_4 (250 мкг/мл), стабилизированных лимонной кислотой, на количество колониеобразующих единиц (КОЕ) *E. coli* K12 (рис 2). При добавлении НЧ оксида железа, стабилизированных лимонной кислотой, количество жизнеспособных колоний *E. coli* K12, выросших на твердой питательной среде, понижалось примерно в 7 раз, по сравнению с контролем, свидетельствуя о бактерицидном действии данных НЧ (Рис. 2Б).

А



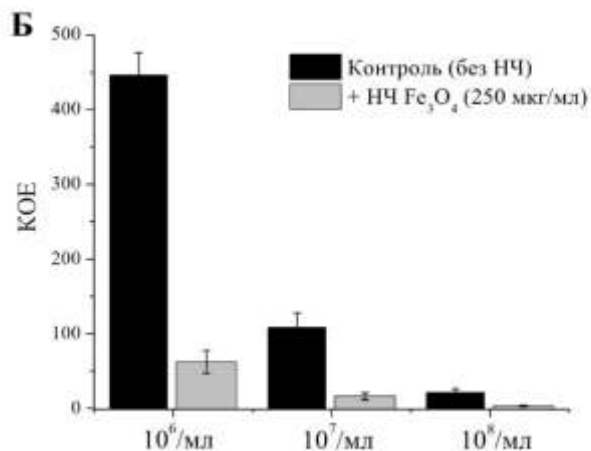


Рис. 2. Влияние НЧ Fe₃O₄ (250 мкг/мл), стабилизированных лимонной кислотой, на количество колониеобразующих единиц (КОЕ) *E. coli* K12 (при различных разбавлениях) ($p < 0.05$). Контроль – бактерии, выращенные без наночастиц.

Таким образом, наночастицы Fe₃O₄, стабилизированные лимонной кислотой, проявляют себя как выраженные антибактериальные агенты в отношении данного штамма *E. coli*, подавляя рост и выживаемость бактерии. Полученные данные позволяют рассматривать изученные наночастицы в качестве альтернативы антибиотикам для применения в биомедицине.

Благодарность

Авторы выражают благодарность заведующему кафедрой технологии материалов и структур электронной техники РАУ, к.т.н., доценту Владимиру Арамовичу Геворкяну за предоставленные наночастицы.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Trchounian A., Gabrielyan L., Mnatsakanyan N.* Nanoparticles of various transition metals and their applications as antimicrobial agents. In: *Metal Nanoparticles: Properties, Synthesis and Applications* (eds. Saylor Y., Irby V.) Nova Science Publ, 2018. PP.161–211.
2. *Arias L., Pessan J., Vieira A.P.M., Lima T.* Delbem ACB, Monteiro DR. Iron oxide nanoparticles for biomedical applications: a perspective on synthesis, drugs, antimicrobial activity, and toxicity // *Antibiotics (Basel)*. V. 7(2), 2018, PP. 46–78.
3. *Wang L., Hu C., Shao L.* The antimicrobial activity of nanoparticles: present situation and prospects for the future // *Int. J. Nanomedicine*. V. 12, 2017. PP. 1227–1249.
4. *Lai C., Low F., Ta M., Hamid Sh.D. A.* Iron oxide nanoparticles decorated oleic acid for high colloidal stability // *Adv. Polym. Technol.* V. 37, 2018. PP. 1712–1721.
5. *Patil R., Shete P., Thorat N. et al.* Non-aqueous to aqueous phase transfer of oleic acid coated iron oxide nanoparticles for hyperthermia application // *RSC Adv.* V. 4, 2014. PP. 4515–4522.

6. *Yokoyama Sh., Suzuki I., Motomiya K., Takahashi H., Tohji K.* Aqueous electrophoretic deposition of citric-acid-stabilized copper nanoparticles // Coll. Surfaces A: Physicochem. Eng. Aspects. V. 545, 2018. PP. 93–100.
7. *Li L., Mak K.Y., Leung C.W. et al.* Effect of synthesis conditions on the properties of citric-acid coated iron oxide nanoparticles // Microelectr. Eng. V. 110, 2013. PP. 329–334.
8. *Арутюнян А.А., Тимотина М.И., Рштуни Л.Р., Габриелян Л.С., Трчунян А.А.* Антибактериальный эффект наночастиц оксида железа на антибиотикоустойчивый штамм *Escherichiacoli* // «Вестник РАУ», сер.: физ.-мат. и ест. науки 1, 2019. СС. 81–91.
9. *Gabrielyan L, Hovhannisyana, Gevorgyan V, Ananyan M, Trchounian A.* Antibacterial effects of iron oxide (Fe₃O₄) nanoparticles: distinguishing concentration-dependent effects with different bacterial cells growth and membrane-associated mechanisms // Appl Microbiol Biotechnol. V. 103, 2019. PP. 2773–2782. DOI: 10.1007/s00253-019-09653-x.

**THE EFFECT OF IRON OXIDE NANOPARTICLES,
STABILIZED WITH CITRIC ACID, ON THE GROWTH
PARAMETERS OF *ESCHERICHIA COLI* K12**

M. Timotina¹, L. Gabrielyan^{1,2}, K. Trchounian^{1,2}

ABSTRACT

In this work, the effects of iron oxide (Fe₃O₄) nanoparticles, stabilized with citric acid, on the growth characteristics and the number of viable colonies of the *Escherichia coli* K12 were investigated. It has been shown that used nanoparticles demonstrate a significant antibacterial effect.

Keywords: *Escherichia coli*, iron oxide nanoparticles, bacterial growth, survival.

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ ВОЗДЕЙСТВИЯ БИОГЕННЫХ AgNPS НА АНТИОКСИДАНТНУЮ ФЕРМЕНТАТИВНУЮ СИСТЕМУ ПОЧЕЧНОЙ ТКАНИ КРЫС WISTAR

Дж.Г. Тумоян, Ш.А. Казарян, А.А. Оганесян

Российско-Армянский Университет

Лаборатория аналитической биохимии и биотехнологии

julia.tumoyan@gmail.com shushanik.kazaryan@rau.am

ashkhen.hovhannisyan@rau.am

АННОТАЦИЯ

Нанотехнологии – быстро развивающаяся отрасль науки, которая направлена на создание различных наночастиц (НЧ), обладающих уникальными свойствами, благодаря которым они находят применение в различных сферах науки, технологии, медицины. В данной работе представлена сравнительная оценка изучения профиля длительности воздействия биогенных наночастиц серебра (AgNPs) стабилизированных в 50% экстракте *O. araratum* на орган выделительной системы – почки. Оценка воздействия проводилась определением показателей антиоксидантной системы (АОС): супероксиддисмутаза (СОД), пероксидаза (ПО) и содержания малонового диальдегида (МДА) в гомогенате почек экспериментальных животных. Результаты исследования воздействия биогенных AgNPs выявили повышение содержания МДА при кратковременном воздействии, а при длительном воздействии наблюдается нормализация содержания МДА. Наблюдается повышение ингибирования активности СОД, как при кратковременном, так и при длительном воздействии. Также происходит подавление активности ПО, активность которой продолжает понижаться в зависимости от продолжительности воздействия.

Ключевые слова: биогенные AgNPs, почки, СОД, ПО, МДА.

Введение

Наночастицы серебра на сегодняшний день являются одним из наиболее широко используемых наноматериалов, которые получили широкое применение благодаря уникальным физическим и химическим свойствам. AgNPs используются в самых разнообразных областях применения в медицине, фармацевтике и т.д. [1].

Благодаря тому что, AgNPs обладают небольшим размером, они могут проникать в организм человека при проглатывании, вдыхании, а также при

контакте с кожей. Попадая различными путями в организме человека или животных AgNPs способны накапливаться и в определенных дозах оказывать токсическое воздействие на различные органы и ткани [2]. Токсичность AgNPs связана с несколькими физико-химическими свойствами, такими как размер, химическая природа, площадь поверхности, реакционная способность, заряд, а также состав и способность легко агрегировать. Считается, что чем меньше размер наночастицы (НЧ), тем более они токсичны, но размер не является единственным фактором, определяющим токсичность НЧ [3]. Наиболее распространенный механизм цитотоксичности НЧ серебра, включает индукцию окислительного стресса, которое вызвано образованием активных форм кислорода (АФК), истощением глутатиона, снижением активности фермента СОД и увеличением перекисного окисления липидов [2]. Так как избыток АФК может возникать при действии различных факторов окружающей среды, в клетке существуют различные механизмы, которые направлены на поддержание определенного оптимального уровня АФК [4].

В связи с чем целью данной работы является изучение профиля длительности воздействия биогенных AgNPs стабилизированных в 50% экстракте *O.araratum* на антиоксидантный статус главного органа выделительной системы белых беспородных крыс Wistar.

Материалы и методы

Получение биогенных НЧ было осуществлено путем добавления соли Ag к 50% этанольному экстракту *O.araratum*. Биогенные AgNPs, после синтеза были промыты и дополнительно стабилизированы в 50% этанольном экстракте *O.araratum*. Исследование размера и форм НЧ было осуществлено с помощью SEM (SEMLEO-1430 VP, Carl Zeiss, Германия)[5].

Сравнительная оценка воздействия биогенных НЧ, стабилизированных в 50% экстракте *O.araratum* на антиоксидантную систему почек, проводилось на самцах белых беспородных крыс Wistar. Все манипуляции проводились в соответствии с принципами лабораторного ухода за животными Комитета по этике Ереванского государственного медицинского университета (Ереван, Армения) и в соответствии с решением 22 сентября 2010 года Совета европейских сообществ [2010/63/EU]. (<http://www.utsouthwestern.edu/utsw/cda/dept238828/files/469088.html>).

Для определения нелетальной дозы AgNPs были выбраны две разные концентрации в 4,5 и 6 мг/мл, в соответствии с литературными данными [Ferdous et al., 2020 [6]; Stensberg et al., 2011]. Так, уже после первой инъекции НЧ Ag в концентрации 6 мг/мл выжило всего 50% особей, после второй – 25%, до

конца эксперимента в живых осталось 12,5% особей. В связи с вышесказанным в дальнейших экспериментах была использована концентрация AgNPs в 4,5 мг/мл, что составляет дозировку 0,9 мкг/г массы.

Исследование проводилось в двух сериях экспериментов, воздействующие агенты вводились животным в/м на каждые вторые сутки в течение 7 (1-я серия) и 14 дней (2 серия).

В ходе исследования животные были разделены на 3 экспериментальные группы: 1 группа –получившие PBS(контроль), 2 группа –получившие 50% этанольный экстракт *O.araratum*, 3 группа –получившие биогенные AgNPs стабилизированные в 50% этанольном экстракте *O.araratum*, по 6 особей в каждой. После завершения экспериментального периода животных выводили из опыта под легким эфирным наркозом, был произведен забор исследуемого материала (почки). Оценка воздействия проводилась определением показателей активности антиоксидантной ферментативной системы: СОД, ПО и содержания МДА в гомогенате почек экспериментальных животных.

Для определения активности ПО образцы почечной ткани гомогенизировали в 10мМ калий-фосфатном буфере (рН 7,2) на холоде в ручном гомогенизаторе. Активность ПО определяли детекцией накопления продукта окисления пирогаллола – пурпургаллина при 420 нм на спектрофотометре UV-VIS18 (MRC, Израиль) по методу [7]. Метод определения активности СОД основан на его способности тормозить реакцию аутоокисления адреналина при рН-10,2 [8]. Перекисное окисление липидов изучали по накоплению продуктов, реагирующих с 2-тиобарбитуровой кислотой (ТБК). При высокой температуре в кислой среде малоновый диальдегид вступает в реакцию с ТБК, образуя окрашенный триметиновый комплекс, детектируемый при 532 нм [9].

Статистический анализ материала проводили на основе комплексного применения стандартных статистических методов: вычисления средних значений, стандартных отклонений, стандартных средних ошибок. Статистическую обработку полученных результатов проводили с использованием однофакторный дисперсионный анализ (ANOVA). Достоверность различий и корреляционных связей считалась установленной при p (вероятность ошибки) < 0,05.

Результаты и обсуждения

Результаты исследования в гомогенате почек экспериментальных животных выявили, что при кратковременном воздействии биогенными AgNPs, стабилизированных в 50% экстракте *O.araratum* наблюдается повышение инги-

бирования активности СОД и показатели процента ингибирования аутоокисления адреналина составляют ($89,9 \pm 11,4\%$), и в зависимости от продолжительности воздействия биогенными AgNPs, результаты активности СОД не сильно отличаются и составляют ($91,01 \pm 32,2\%$) по сравнению с контролем ($35,27 \pm 30,7\%$). Повышение ингибирования активности СОД, вероятно свидетельствует о нарушении баланса АОС в организме. Так как и при воздействии 50% экстрактом *O.araratum* и биогенными AgNPs стабилизированными в 50% экстракте *O.araratum*, наблюдается повышение ингибирования активности СОД, данный эффект вероятно обусловлен наличием биоактивных компонентов экстракта.

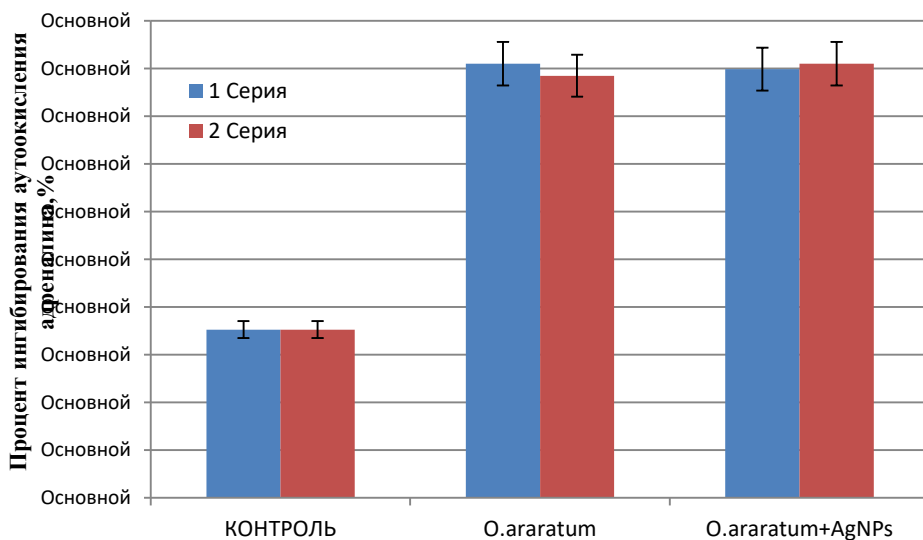


Рис.1 Показатели активности СОД в гомогенате почек экспериментальных животных.

Результаты исследования активности ПО, выявили значительное подавление активности ПО при кратковременном воздействии, как при действии экстракта *O.araratum* ($893,8947 \pm 934,1$ пкат/мг белка), так и при воздействии биогенных AgNPs, стабилизированных в 50% экстракте *O.araratum* ($328,48 \pm 619,98$ пкат/мг белка), по сравнению с контролем ($7119,387 \pm 76,6$ пкат/мг белка), активность которой продолжает подавляться в зависимости от продолжительно-

сти воздействия. И так как данное ингибирование активности более выражено при воздействии биогенных AgNPs, то, вероятно, данный эффект обусловлен наличием самих НЧ.

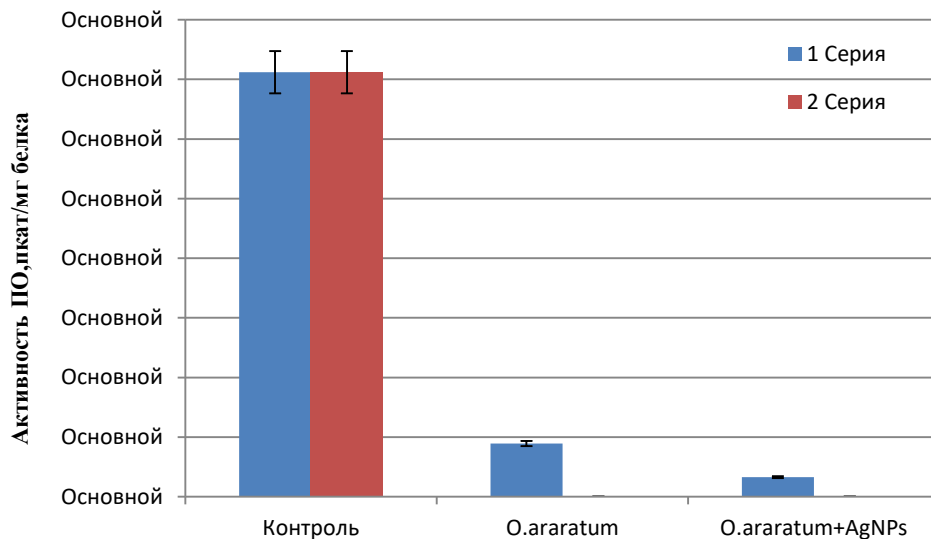


Рис.2 Активность пероксидазы в гомогенате почек экспериментальных животных.

Как видно из результатов приведенных на Рис. 3, при кратковременном воздействии происходит значительное повышение концентрации МДА ($1,75 \pm 1,08 \mu\text{г}/\text{мл}$) при воздействии экстрактом *O.araratum*, в отличие от воздействия биогенными AgNPs ($0,36 \pm 0,05 \mu\text{г}/\text{мл}$), по сравнению с контролем ($0,06 \pm 0,03 \mu\text{г}/\text{мл}$). Повышение содержания МДА свидетельствует о перекисном окислении липидов (ПОЛ). Однако после длительного воздействия происходит понижение содержания МДА, как при воздействии экстракта *O.araratum* ($0,42 \pm 0,3 \mu\text{г}/\text{мл}$), так и при воздействии биогенными AgNPs ($0,18 \pm 0,08 \mu\text{г}/\text{мл}$). Данное понижение содержания МДА более выражено при воздействии биогенных AgNPs, и вероятно эффект обусловлен наличием биогенных AgNPs, которые, исходя из результатов исследования, по мере продолжительности воздействия все больше ингибируют процессы ПОЛ.

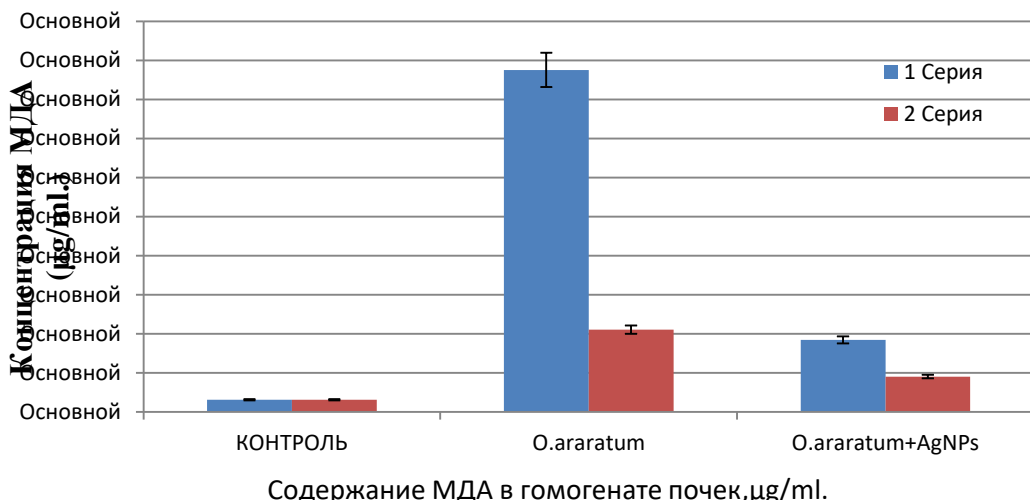


Рис.3. Содержание концентрации МДА в гомогенате почек экспериментальных животных.

Таким образом, результаты исследования демонстрируют, что при кратковременном воздействии биогенными AgNPs, стабилизированными в 50% экстракте *O.araratum* наблюдается повышение содержания МДА, повышение ингибирования активности СОД и подавление активности ПО. После длительного воздействия наночастицами, имеются незначительные изменения содержания МДА, значения которой становятся близкими к контрольной, в активности СОД не имеются значительных изменений и продолжает наблюдаться ингибирование активности, а активность ПО все больше ингибируется в зависимости от продолжительности воздействия.

Исходя из вышеизложенного, можно предположить, что биогенные AgNPs при кратковременном воздействии могут стать причиной генерации свободных радикалов, приводя к оксидативному стрессу, который является не патологическим для организма, а наоборот, приводит к активации компенсаторных механизмов. Однако для понимания сложных механизмов такого воздействия необходимы дальнейшие исследования.

ЛИТЕРАТУРА

1. Sarhan O, Hussein R. Effects of intraperitoneally injected silver nanoparticles on histological structures and blood parameters in the albino rat. *Int J Nanomedicine*. 2014;9(1):1505–1517. doi.org/10.2147/IJN.S56729
2. Nosrati, H., Hamzepoor, M., Sohrabi, M. et al. The potential renal toxicity of silver nanoparticles after repeated oral exposure and its underlying mechanisms. *BMC Nephrol* 22,228 (2021). doi.org/10.1186/s12882-021-02428-5

3. Korani, Mitra, Ghazizadeh, Elham, Korani, Shahla, Hami, Zahra and Mohammadi-Bardbori, Afshin. Effects of silver nanoparticles on human health European Journal of Nanomedicine, vol. 7, no. 1, 2015. PP. 51–62. doi.org/10.1515/ejnm-2014-0032/
4. Никерова К.М. и др. Определение активности супероксиддисмутазы и полифенолоксидазы в древесине *Betula pendula* var. *carelica* (Betulaceae) при разной степени нарушения ксилогенеза // «Растительные ресурсы», 2019. Т. 55. №. 2. СС. 213–230.
5. Petrosyan M., Gevorgyan T., Kirakosyan G., Ghulikyan L, Hovhannisyan A., Ayyazyan N. (2020) Testing Green Silver Nano-particles for Genotoxicity, Antioxidant and Anticancer. IFMBE Proceedings. 77:567–571. Springer, Cham. doi:10.1007/978-3-030-31866-6_10
6. Health Impact of Silver Nanoparticles: A Review of the Biodistribution and Toxicity Following Various Routes of Exposure
7. Suzuki Y., Imada T., Yamaguchi I. et al. Effects of prolonged water washing of tissue samples fixed in formalin on histological staining. Biotech Histochem. 2012;87(4):241–248. doi:10.3109/10520295.2011.613410
8. Zaqarian A., Elbakyan V., Ayyazian N., Poghosyan G., Zaqarian N. Seferyan T., Trchunyan A. Fundamentals of the method of chemiluminescence analysis and LabVIEW software for automatic registration and mathematical data processing. // International scientific-practical conference Education, science and engineering applications in LabVIEW environment and National Instruments technology», 17–18 Nov., Moscow, (2006) 429.
9. Stalnaja, I., Garishvili, T. Method of malonicdialdehyde determination with thiobarbituroacid. In: Biokhimicheskimetodiissledovania (Biochemical Methods of Investigations). PP. 66–68 (1985).

**COMPARATIVE ASSESSMENT OF BIOGENIC AGNPS
EXPOSURE ON WISTAR RATS KIDNEY TISSUE
ANTIOXIDANT ENZYMATIC SYSTEM**

J. Tumoyan, Sh. Kazaryan, A. Hovhannisyan
Russian-Armenian University

Laboratory of analytical biochemistry and biotechnology

julia.tumoyan@gmail.com shushanik.kazaryan@rau.am ashkhen.hovhannisyan@rau.am

ABSTRACT

Nanotechnology is a rapidly developing branch of science that aims to create various nanoparticles with unique properties, due to which they find potential applications in various fields of science, technology and medicine. This paper presents a comparative assessment of the short and long-term effects of biogenic AgNPs stabilized in 50% *O. araratum* extract on the organ of the excretory system, the kidney. The influence of AgNPs on kidney tissue was assessed by determining the antioxidant system parameters: superoxide dismutase (SOD), peroxidase (PO), malonicdialdehyde (MDA) in kidney homogenates of experimental animals. The results of the study of the impact of biogenic AgNPs revealed an increase in the content of MDA with short-term exposure, and with long-term exposure, normalization of the MDA content is observed. There is an increase in inhibition of SOD activity, both with short-term and long-term exposure. There is also a suppression of PO activity, which continues to decrease depending on the exposure duration.

Keywords: biogenic AgNPs, kidneys, SOD, PO, MDA.

ДЕЙСТВИЕ МОДУЛЯТОРОВ NSOC В УСЛОВИЯХ ТАУ-СИНАПТОТОКСИЧНОСТИ В ГИППОКАМПАЛЬНЫХ НЕЙРОНАХ

Д.П. Чернюк, И.Б. Безпрозванный

*Лаборатория Молекулярной Нейродегенерации
Санкт-Петербургский политехнический университет им. Петра Великого
dashachernuk@gmail.com*

АННОТАЦИЯ

В данной статье был проанализирован эффект тау-токсичности в нейронах гиппокампа на плотность синаптических контактов и активность нейронального депо-управляемого входа кальция. Также была оценена возможность уменьшать патологические признаки болезни Альцгеймера, вызванные гиперфосфорилированием тау-белка, при помощи модуляторов кальциевого гомеостаза.

Ключевые слова: болезнь Альцгеймера, тау-токсичность, синапто-токсичность, нейрональный депо-управляемый вход кальция.

Введение

По данным ВОЗ существует много форм деменции. Болезнь Альцгеймера (БА) является наиболее распространенной причиной деменции – на нее приходится 60-70% всех случаев [1]. Наиболее популярными в научном сообществе гипотезами возникновения болезни Альцгеймера являются амилоидная и тау-гипотеза, но ни одна из них не была подтверждена и доказана. На данный момент существует достаточно много исследований, указывающих на то, что образование амилоидных бляшек и тау-нейрофибриллярных клубков является лишь симптомом, но не первопричиной развития патологии БА [2]. Сама же первопричина и молекулярные механизмы БА остаются неизвестны. Без полного понимания фундаментальных процессов, приводящих к нейродегенерации при БА, невозможно разработать объективную терапию для лечения данного заболевания. К тому же, исследование столь тонких молекулярных механизмов позволит лучше понять функционирования нейронов мозга и изменения, происходящие при различных нейродегенеративных нарушениях и в процессе нормального старения.

Исследования Лаборатории Молекулярной Нейродегенерации (ЛМН) показали, что первопричиной возникновения патологии болезни Альцгеймера может являться нарушение кальциевой сигнализации нервных клеток мозга [3]. В рамках этой «кальциевой гипотезы» была найдена абсолютно новая молекулярная мишень для разработки терапии и лекарственных препаратов для

лечения БА – нейрональный депо-управляемый вход кальция (nSOC). Предположительно, скорректировав работу nSOC при помощи фармакологических агентов, мы сможем устранить первопричину возникновения патологии и восстановить работу нервных клеток. Таким образом актуальной является задача исследования влияния тау-токсичности на стабильность синаптических контактов в гиппокампальных нейронах, на функционирование nSOC и возможность коррекции этого влияния при помощи модуляторов nSOC.

Материал и методы

Для *invitro* скрининга стабильности синаптических контактов была применена методика культивирования первичной культуры гиппокама. Для моделирования тау-токсичности был применен метод кальций-фосфатной трансфекции культуры нейрональных клеток, так как она является наименее травматичной для чувствительных нейрональных клеток. Были использованы две Тау-WT (human) mRuby2-MAPTau-C-10 (Addgene, Plasmid #55904, в дальнейшем MAP) и Тау (humanmutant – P301L/V337M – mRuby2) pMK1254 (Addgene, Plasmid #133057, в дальнейшем рМК) плазмиды. Для визуализации морфологии дендритного дерева гиппокампальных пирамидальных нейронов также была использована плазида, кодирующая GFP (greenfluorescentprotein).

Для изучения функционирования nSOC была применена методика кальциевогоимиджинга пирамидальных нейронов первичной культуры гиппокампа. Процедура визуализации кальция при помощи плазмиды GCaMP5.3 проводилась по протоколу, отработанному и описанному в предыдущих публикациях [6] и при наличии блокаторов Ca²⁺ каналов (Tg, ТТХ, нифедипин, D-AP5, CNQX). В качестве негативного контроля была использована амилоидная клеточная модель, заключающаяся в добавлении в первичную культуру гиппокампа A-beta пептидов.

Результаты

Из полученных данных видно, что даже гиперэкспрессиянативного тау-белка приводит к изменениям морфологии дендритных шипиковгиппокампальных нейронов и имеет эффект схожий с экспрессией мутантной формы тау-белка, но менее выраженный. Самые большие изменения происходят с грибовидными шипиками, чья численность заметно сокращается, при этом наблюдается повышение числа тонких шипиков, однако процент пеньковых шипиков остается неизменен, как и плотность шипиков на дендритах в целом. Отсюда можно сделать вывод, что грибовидные шипики переходят в тонкие

шипикки, которые обладают меньшей способностью образовывать синаптические контакты, по сравнению с грибовидными. Добавление соединения EVP4593 не приводит к улучшению ситуации в тау-токсичности, при этом значительно снижают процент грибовидных и увеличивают процент тонких шипиков в контрольной группе. Добавление агониста TRPC6 канала – соединения 51164, наоборот, в условиях тау-токсичности увеличивает процент грибовидных и снижает процент тонких шипиков, восстанавливая соотношение дендритных шипиков до уровня нормы. При этом инкубирование нейронов контрольной группы с соединением 51164 ни к каким изменениям не приводит. Таким образом можно сделать вывод, что тау-синаптотоксичность может быть вызвана как экспрессией мутантной формы тау-белка, так и гиперэкспрессией нативной формы белка, но в чуть менее выраженной степени. Протекторными же свойствами против тау-синаптотоксичности *in vitro* условиях обладает агонист TRPC6-зависимого нейронального депо-управляемого входа кальция (nSOC), соединение 51164. Антагонист nSOC – соединение EVP4593, напротив, усиливает наблюдаемую токсичность.

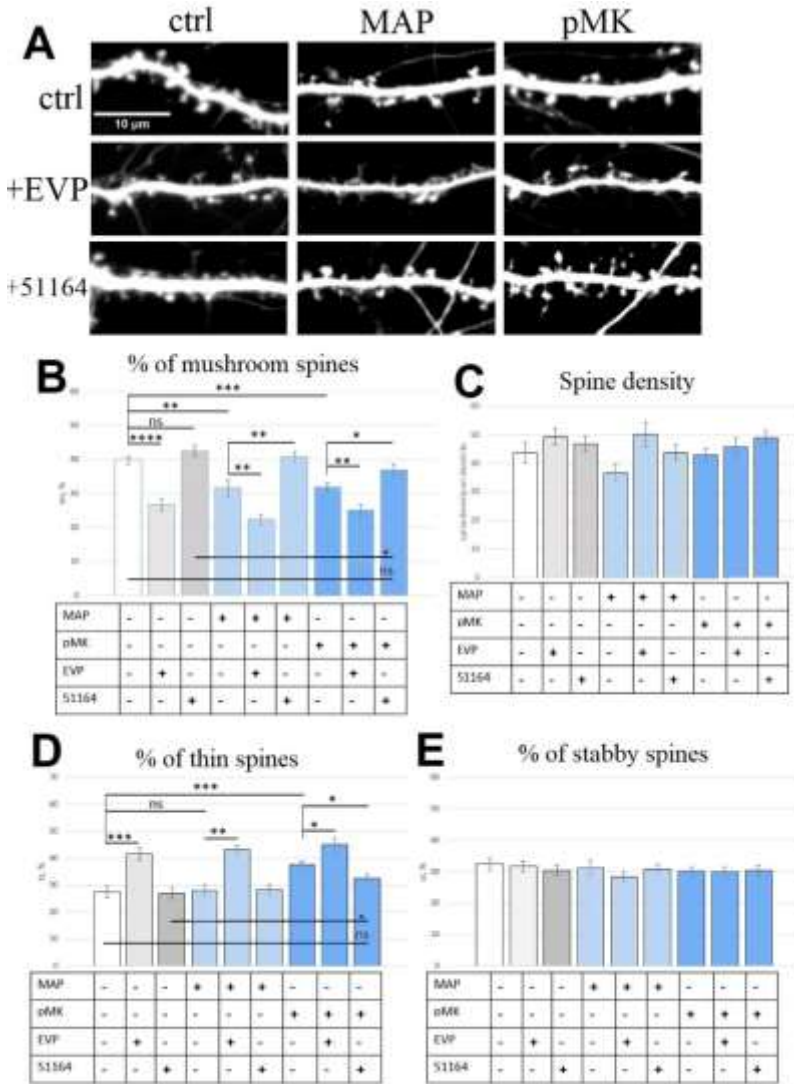


Рис. 1.

Результаты морфологического анализа дендритных шипиков гиппокампальных нейронов в контрольных условиях (ctrl) при гиперэкспрессии инативного тау-белка (MAP) и мутантного тау (pMK), а также при условии инкубирования клеток 16 часов до момента фиксации с 30 нМ EVP4593 (EVP) или 30 нМ соединения 51164. А) Репрезентативные конфокальные снимки каждой из экспериментальных групп. В) Гистограмма среднего процента грибовидных шипиков для каждой экспериментальной группы, изображенной на панели А. С) Гистограмма средней плотности шипиков в каждой из экспериментальных

групп. D) Гистограмма среднего процента тонких шипиков в экспериментальных группах. E) Гистограмма среднего процента пеньковых шипиклв в каждой экспериментальной группе. Результаты представлены как среднее \pm SEM, эксперименты были повторены не менее 2 раз, * $p < 0,05$, ** $p < 0,005$, *** $p < 0,0005$.

Из полученных ранее данных [4, 5] известно, что пресенилиновая токсичность также вызывает сокращение числа грибовидных шипиков и переход их в форму тонких, однако при данной токсичности протекторные свойства проявляет антагонист nSOC соединение EVP4593. В клеточной модели низкой амилоидной токсичности A-beta пептиды вызывают аналогичное снижение числа грибовидных шипиков и увеличение числа тонких, однако как и при тау-токсичности в этих условиях нейропротекторными свойствами обладает соединение 51164. Можно предположить, что нижележащие механизмы, вызывающие морфологические изменения в амилоидной и тау-токсичностях, будут схожи. Но следующие эксперименты кальциевого имиджинга показали их отличие (Рис. 2).

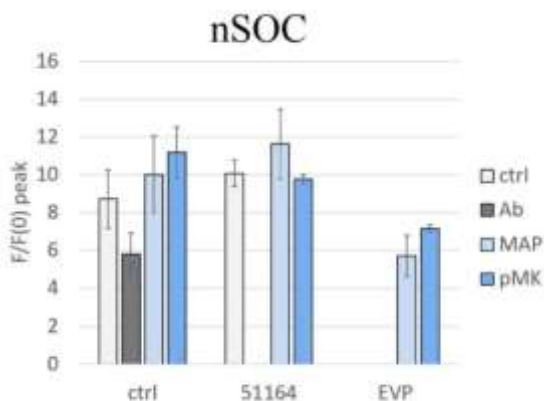


Рис. 2.

Результаты морфологического анализа дендритных шипиков гиппокампальных нейронов в контрольных условиях (ctrl), при гиперэкспрессии инативного тау-белка (MAP) и мутантного тау (pMK), а также при условии прижизненного инкубирования клеток во время эксперимента с 30 нМ EVP4593 (EVP) или 30 нМ соединения 51164. В качестве негативного контроля была использована амилоидная клеточная модель, заключающаяся в добавлении в первичную культуру гиппокампа A-beta пептидов (Ab). Средняя амплитуда пика флуоресцентного сигнала nSOC показана для каждой группы клеток. Сигналы средней амплитуды пика F/F_0 для каждой группы представлены как

среднее \pm SEM, n (шпы) = 14–15 на группу из одного эксперимента, эксперимент повторяли минимум 2 раза.

В отличие от амилоидной модели, экспрессия мутантной формы таубелка приводит к увеличению функциональной активности nSOC. Добавление соединения 51164 не приводит к значительным изменениям, однако в группе нейронов с рМК наблюдается тенденция к снижению уровня nSOC до уровня нормальных нейронов. При использовании соединения EVP4593 активность nSOC в условиях тау-токсичности заметно снижается, но уменьшается не до уровня нормы, а аналогично амилоидной токсичности. Данные экспериментальной группы ctrl+EVP не приводятся, так как было сделано менее 2 повторов.

Таким образом, можно заключить, что соединение EVP4593 еще раз подтвердило антагонистическое действие на nSOC, однако в условиях тау-токсичности при концентрации 30 нМ не обладает протекторным свойством. Соединение 51164, вопреки ожиданиям, основанным на предыдущих исследованиях [4], вместо того, чтобы увеличить активность nSOC, в условиях тау-токсичности сокращает его активность до уровня нормы. Данный факт может быть связан с особенностью молекулярного действия соединения 51164, и отличия этого действия от механизма работы соединения EVP4593. Ранее были выдвинуты предположения о прямом действии EVP4593 на компоненты nSOC [5, 7], в то время как соединение 51164 действует опосредовано на TRPC6 через DAG (диацилглицерол) [4, 8]. Механизм действия модуляторов nSOC и их активность в условиях тау-токсичности требуют дальнейшего изучения. На данном этапе исследования соединение 51164 выглядит наилучшим кандидатом в терапевтические вещества при патологических изменениях в условиях амилоидной и тау-токсичностей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Язуина Н.А. и др. Эпидемиология болезни Альцгеймера в мире // «Неврологический журнал», 2012. СС. 32–37.
2. Hua Zhang L., Ekaterina Pchitskaya, Zaharova O., Takashi S., Takaomi S. and Bezprozvanny I. Neuronal Store-Operated Calcium Entry and Mushroom Spine Loss in Amyloid Precursor Protein Knock-In Mouse Model of Alzheimer's Disease. *J Neurosci*, 2015.
3. Bezprozvann I. and Mattson M. Neuronal calcium mishandling and the pathogenesis of Alzheimer's disease. *Trends Neurosci*, 2008. 31(9): PP. 454–463.
4. Popugaeva E. et al., Derivatives of Piperazines as Potential Therapeutic Agents for Alzheimer's Disease. *MolPharmacol*, 2019. 95(4): PP. 337–348.
5. Chernyuk D. et al., Antagonist of neuronal store-operated calcium entry exerts beneficial effects in neurons expressing PSEN1DeltaE9 mutant linked to familial Alzheimer disease. *Neuroscience*, 2019. 410: PP. 118–127.

6. Zhang H., Wu L., Pchitskaya E., Zakharova O., Saito T., Saido T., Bezprozvanny I. Neuronal Store-Operated Calcium Entry and Mushroom Spine Loss in Amyloid Precursor Protein Knock-In Mouse Model of Alzheimer's Disease. *J. Neurosci.* 2015. 35:13275–13286
7. Wu J., Ryskamp D.A., Liang X., Egorova P., Zakharova O., Hung G., Bezprozvanny I. Enhanced Store-Operated Calcium Entry Leads to Striatal Synaptic Loss in a Huntington's Disease Mouse Model. *J. Neurosci.* 2016. 36: 125–141.
8. Prikhodko V., Chernyuk D., Sysoev Y., Zernov N., Okovityi S. and Popugaeva E. Potential Drug Candidates to Treat TRPC6 Channel Deficiencies in the Pathophysiology of Alzheimer's Disease and Brain Ischemia. *Cells* 2020, 9, 2351.

ACTION OF NSOC MODULATORS UNDER CONDITIONS OF TAU-SYNAPTOTOXICITY IN HIPPOCAMPAL NEURONS

D. Chernyuk, I. Bezprozvanny

*Laboratory of Molecular Neurodegeneration, Peter the Great St. Petersburg Polytechnic
University, St. Petersburg, Russia
dashachernuk@gmail.com*

ABSTRACT

In this work, the effect of tau toxicity in hippocampal neurons on the synaptic contacts density and the neuronal store-operated calcium entry activity was analyzed. The ability to reduce the pathological signs of Alzheimer's disease caused by the tau protein hyperphosphorylation using modulators of calcium homeostasis was also evaluated.

Keywords: Alzheimer's disease, tau toxicity, synaptotoxicity, neuronal store-operated calcium entry

ՖՈՏՈՍԻՆԹԵԶԻ ԷՎՈԼՅՈՒՑԻԱՆ

Լ. Գասպարյան¹

lusine.gasparyan.85@mail.ru

ԱՄՓՈՓՈՒՄ

Այս հոդվածը նվիրված է ֆոտոսինթեզի էվոլյուցիայի հակիրճ ներկայացմանը: Այստեղ զետեղել ենք, թե ինչպես է գիտության մեջ ձևավորվել ֆոտոսինթեզի էվոլյուցիայի վերաբերյալ տեսությունը՝ գաղափարների ծագման սկզբից մինչև այսօր:

Երկիրը բնակեցնող օրգանիզմների գոյությունը սերտորեն կապված է էներգիայի ծախսման հետ, իսկ էներգիայի հիմնական աղբյուրը Երկրի վրա, ինչպես հայտնի է, հանդիսանում է Արեգակի ճառագայթման էներգիան: Ֆոտոսինթեզը Արեգակ-Երկիր էներգիական կապը իրականացնող, ինչպես նաև այդ կապի շնորհիվ քիմիական և կենսաբանական երևույթների ամբողջությունն արտահայտող երևույթ է^[2]: Բնութագրելով բույսերի դերը երկրի վրա թթվածնի կուտակման գործում Վ.Ի. Վերնադսկին գրել է, որ մեր մոլորակի վրա գազի տեսքով կամ բնական ջրերում որպես լուծույթ գտնվող ազատ թթվածինը ամբողջությամբ ստեղծվում է կյանքի շնորհիվ: Առայժմ մենք չգիտենք ոչ մի դեպք, երբ այն նշանակալի քանակությամբ անջատվեր որևէ քիմիական պրոցեսի հետևանքով՝ կյանքից անկախ: Բայց մեզ հայտնի երկրային հազարավոր պրոցեսներ, որոնցում ազատ թթվածինը կլանվում, փոխարկվում է նոր միացությունների, սակայն դրա հետ միասին նրա քանակությունը կենսոլորտում զգալիորեն չի փոխվում ու դա ձեռք է բերվում կանաչ բույսերի անընդմեջ աշխատանքով: Այս կարևորագույն գործընթացը, որը ձևավորել է Երկրի վրա որոշակի ժամանակահատվածում, որոշակի զարգացումների հետևանքով, կենսաբանության մեջ ընդունված է անվանել էվոլյուցիա:

Հիմնաբառեր՝ Ֆոտոսինթեզ, էվոլյուցիա, սիմբիոզ, քլորոֆիլ, բակտերիաքլորոֆիլ, պլաստիդներ, ռիբոսոմ, կապտականաչ ջրիմուռ:

Հիմնախնդիրը: Թեման որպես բնության կարևորագույն երևույթ բացահայտելու և այն նկարագրելու համար փորձենք պատասխանել հետևյալ հարցերին՝

- ի՞նչն է նախորդել ֆոտոսինթեզին;

¹ Չարենցավանի N2 հիմնականդպրոց, ՊՈԱԿ:

- ինչպե՞ս է այն ծագել և ի՞նչ հետևանքներ է թողել օրգանական աշխարհի հետագա զարգացման վրա:

Հետազոտության նպատակը: Հետազոտության նպատակն է ուսումնասիրել ֆոտոսինթեզի Էվոլյուցիան՝ Ընդհանուր Օրգանական Աշխարհի Էվոլյուցիայի Ներքո:

Հիմնական տեքստ: Բջջի առաջացման Էվոլյուցիոն սիմբիոտիկ տեսությունը հիմնված է 2 դրույթների վրա: Ըստ առաջին դրույթի կենդանի օրգանիզմները բաժանվում են 2 խմբի՝ պրոկարիոտներ և էուկարոտներ^[3]:

Ըստ 2-րդ դրույթի բջջի որոշ մասերի առաջացումը պայմանավորված է սիմբիոզի էվոլյուցիայով:

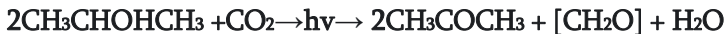
Համաձայն ժամանակակից կարգաբանների ամբողջ օրգանական աշխարհը բաժանվում է հետևյալ խմբերի՝ ոչ բջջային օրգանիզմներ, բջջային օրգանիզմներ՝ պրոկարիոտներին էուկարիոտների: Այս խմբերից ֆոտոսինթեզի ունակություն ունեն պրոկարիոտներից բակտերիաների որոշ խմբեր, էուկարիոտներից որոշ պրոտիստներ, բույսերը և տարբեր կարգաբանական խմբերի սիմբիոտները:

Որպեսզի պատկերացնենք, թե ինչպես է ընթացել ֆոտոստրոֆիզմի Էվոլյուցիան, դիտարկենք, թե ինչպիսի ելանյութեր են յուրացվում բջջի կողմից արեգակի լուսային էներգիայի հաշվին, ինչպիսի վերջնական նյութեր են արտազատվում արտաքին միջավայր:

Համաձայն ժամանակակից Էվոլյուցիոն ուսմունքի, առաջին, առավել հին կենդանի օրգանիզմները, որոնց անվանում են պրոտոբիոտներ, եղել են հետերոտրոֆներ, որոնք սնվել են ջրի միջավայրում՝ հիմնականում արիոզեն ճանապարհով սինթեզված օրգանական նյութերով: Նրանց քանակի մեծանալու հետ առաջացել և սրվել է մրցակցությունը: Այդ մրցակցության մեջ առավելություն են ստացել այն օրգանիզմները, որոնք առավել արդյունավետ ձևով են լուծել իրենց էներգիայով ապահովելու խնդիրը: Քանի որ մթնոլորտում թթվածինն անշան էր, ուստի էներգետիկ փոխանակությունն ընթացել է տարբեր տիպի խմորումների միջոցով: Այդ տիպի էներգետիկ փոխանակությունից տարբերվեց և մրցունակ եղավ ֆոտոքիմիական կենսասինթեզի ռեակցիաներ իրականացնելու որոշ օրգանիզմների ունակությունը՝ լույսի քվանտները հատուկ պորֆիրինային գունանյութերի միջոցով կլանելու և այդ էներգիայի հաշվին բարդ օրգանական նյութերի սինթեզը: Էվոլյուցիայի սկզբնական շրջանում նման ֆոտոսինթեզի համար ելանյութ է ծառայում ոչ թե CO₂-ը, այլ համեմատաբար պարզ օրգանական նյութերը: Նման սննդառության տիպը հանդիպում է այսօր որոշ անաէրոբ ֆոտո-հետերոտրոֆ

բակտերիաների մոտ, ինչպիսիք են ծիրանագույն (ոչ ծծմբային) բակտերիաները, որոնք անաէրոբ պայմաններում շրջապատող միջավայրից կլանում են օքսիկարագաթթուն և վերածում են այն բարձրամոլեկուլային պոլիմեր պոլի օքսիկարագաթվի, օգտագործելով ԱԵՖ-ի էներգիան, որն էլ իր հերթին ստացվում է լույսի էներգիայի հաշվին՝ ցիկլիկ ֆոտոֆոսֆորիլացման գործընթացի ժամանակ: Այդ ընթացքում տեղի չի ունենում գազային նյութերի ո՛չ կլանում, ո՛չ արտազատում:

Մյուս, համեմատաբար ավելի բարդ ֆոտոտրոֆ սննդառության եղանակը կայանում է նրանում, որ այս դեպքում կլանվում է CO₂-ը և դրա վերականգնումը ընթանում է էկզոգեն օրգանական նյութերի օքսիդացման հետ զուգընթաց: Այս եղանակը օգտագործում են որոշ ծիրանագույն բակտերիաներ, օրինակ *Rhodospseudomonas gelatinosa*-ն CO₂-ը վերականգնում է իզոպրոպանոլի օքսիդացմանը զուգընթաց:



Այս ձևով սնվում են նաև որոշ կանաչ ծծմբաբակտերիաներ: Սննդառության այս ձևը չի կարող համարվել լրիվ ավտոտրոֆ, քանի որ չնայած լուսային էներգիայի մասնակցությանը այն տեղի է ունենում արտաքին միջավայրից կլանված օրգանական նյութերի էներգիայի հաշվին: Կարելի է ենթադրել, որ երբ միջավայրում նվազեց աբիոգեն ճանապարհով օրգանական նյութերի քանակությունը, ձևավորվեց ֆոտոսինթեզի մի նոր եղանակ, որի ժամանակ CO₂-ի վերականգնումը իրականացվում է ոչ օրգանական միացությունների օքսիդացման հետ: Ժամանակակից օրգանիզմներից նման եղանակով են սնվում որոշ ծծմբային կանաչ բակտերիաներ, որոնք օքսիդացնում են ծծմբաջրածինը, տիոսուլֆատը, սուլֆիտը և այլն: Կան կանաչ և ծիրանագույն բակտերիաներ, որոնք ընդունակ են իրականացնել CO₂-ի ֆոտոավտոտրոֆ վերականգնման գործընթացը մոլեկուլային ջրածնի օգնությամբ. $\text{CO}_2 + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow [\text{CH}_2\text{O}] + \text{H}_2\text{O}$

Այս տիպի ֆոտոավտոտրոֆ սննդառության եղանակը կոչվում է ֆոտոռեդուկցիա: Նշենք, որ ֆոտոռեդուկցիան տեղի է ունենում անաէրոբ պայմաններում՝ առանց թթվածնի անջատման: Ֆոտոտրոֆիզմի էվոլյուցիայի հաջորդ փուլը բուն ֆոտոսինթեզի ձևավորումն է: Արտաքնապես ֆոտոսինթեզը ֆոտոռեդուկցիայից տարբերվում է նրանով որ՝ որպես H₂-ի դոնոր՝ CO₂-ի վերականգնման համար օգտագործվում է H₂O-ը ջրի ֆոտոլիզի հետևանքով արտադրվում է O₂ որն արնջատվում է արտաքին միջավայրից:

Ֆոտոսինթեզի ունակ են կապտականաչ ջրիմուռները, իսկական /կորիզավոր/ ջրիմուռները և բարձրակարգ բույսերը: Հետաքրքիր է, որ սրանցից որոշները՝ կապտականաչ, կանաչ, կարմիր և գորշ ջրիմուռները, ընդունակ են անաէրոբ պայմաններում անցնելու ֆոտոսինթեզից ֆոտոռեդուկցիայի, այսինքն ֆոտոտրոֆիզմի բակտերիալ ձևին, սակայն այդ ընթացքում աճել չեն կարող: Թթվածնի առկայությամբ նրանց ֆոտոսինթեզի ունակությունը վերականգնվում է: Սա թույլ է տալիս ենթադրել, որ այս օրգանիզմները դեռ պահպանում են ու մասամբ դրսևորում ֆիլոգենեզի ընթացքում ունեցած իրենց հասկությունը:

Նշենք նաև պրոտիստներից էվզլենային, որը կարողանում է զուգակցել ֆոտոսինթեզը հետերոտրոֆ սննդառության հետ՝ պայմաններից կախված:

Վերջապես դիտարկենք բարձրակարգ բույսերի կողմից իրականացվող ֆոտոտրոֆիզմը: Բարձրակարգ բույսերը ջրիմուռների նման այլևս ընդունակ չեն ֆոտոռեդուկցիայի, ինչը չի նշանակում, որ նրանք բոլորովին կորցրել են գունանյութերով կլանված էներգիայի օգտագործման բոլոր հին ձևերը:

Ըստ երևույթի, ածխածնային սննդառության էվոլուցիան իրականացել է հետևյալ կերպով.

Հետերոտրոֆ → ֆոտոհետերոտրոֆներ → ֆոտոավտոտրոֆներ/ֆոտոռեդուկտորներ/ → ֆոտոսինթետիկներ²:

Ֆոտոտրոֆիայի էվոլուցիան կապում են գունանյութային համակարգի, էլեկտրատրանսպորտային շղթայի և դրա բաղադրամասերի, ածխածնային սննդառության, լույսի էներգիան կլանող և փոխակերպող համակարգերի կատարելագործման հետ: Դիտարկենք թվարկածներից յուրաքանչյուրին կառուցվածքային և էվոլուցիոն տեսակետից:

Նախ բոլոր ֆոտոսինթեզային պիզմենտները բջջում գտնվում են որոշակի մեմբրանների հետ կապված, միասնական համակարգի ձևով: Օրինակ ամենապարզ կառուցվածքը հանդիպում է Halobacterium halobium-ի մոտ, որը քլորոֆիլ չունի և լույսը կլանում է իր բջջաթաղանթում տեղակայված բակտերիատոդոպսին պիզմենտի միջոցով, որը թաղանթի մակերևույթի մոտ 50%-ի վրա է տեղակայված:

Ավելի բարդ են ըստ կառուցվածքի բակտերիաքլորոֆիլ պարունակող բակտերիաների և կապտականաչ ջրիմուռների ֆոտոսինթեզող մեմբրանները, որոնք իրենցից ներկայացնում են բջջային թաղանթից

² Թանգամյան Տ.Վ., Աղաջանյան Մ.Ա. Բույսերի ֆիզիոլոգիա, Եր., 2006:

դեպի ներս ներփքվող ու անջատվող բշտիկներ կամ չգույզված թիլակոիդներ: Էուկարիոտիկ ֆոտոսինթետիկների մոտ թիլակոիդները գտնվում են երկշերտ մեմբրանով պատված կառույցների՝ քլորոպլաստների մեջ: Դրանցում թիլակոիդները կարող են դասավորվել գրանների տեսքով /բարձրակարգ բույսեր/, ինչը ավելի արդյունավետ է դարձնում ֆոտոսինթեզի գործընթացը:

Քլորոպլաստների ծագումը նույնպես շատ կարևոր հարց է ֆոտոտրոֆիայի էվոլյուցիայի համար: Գիտնականների մեծամասնությունը հանգում է դրանց սիմբիոզենետիկ ծագման վարկածին: Հայտնի են մեծ թվով սնկերի, արմատոտանինների, մտրակավորների, աղեխորշավորների սիմբիոզի օրինակներ կապտականաչ ջրիմուռների հետ, որն ապահովում է այդ հետերոտրոֆ օրգանիզմների ածխածնային սննդառությունը ֆոտոսինթեզի հաշվին: Կարելի է ենթադրել, որ նման սիմբիոզի էվոլյուցիայի ընթացքում կապտականաչ ջրիմուռի բջիջները աստիճանաբար ավելի ու ավելի են կորցրել իրենց ինքնավարությունը, մասնագիտանալով միայն ֆոտոսինթեզ իրականացնելու ֆունկցիայի մեջ, և վերջնականապես կորցրել իրենց ինքնուրույունությունը՝ վերածվելով քլորոպլաստների:

Իսկ ինչպե՞ս կարող են առաջանալ քլորոպլաստները: Հետազոտությունները ցույց են տալիս, որ քլորոպլաստները լույսի նկատմամբ իրենց պահում են ճիշտ այնպես ինչպես պահում են կապտականաչ ջրիմուռները և կատարում են կամայական շարժումներ: Ավելին, միտոքոնդրիումների նման նրանք ունեն իրենց յուրահատուկ ԴՆԹ-ն, որը տարբերվում է կորիզի ԴՆԹ-ից և նման է կապտականաչների և բակտերիաների ԴՆԹ-ին: Քլորոպլաստների ԴՆԹ-ն կորիզային քրոմոսոմների տիպի կառույցներ չի առաջացնում և ցրված է մերկ ձևով: Քլորոպլաստները ունեն իրենց սեփական ռիբոսոմները, որոնք շատ նման են կապտականաչ ջրիմուռների ռիբոսոմներին, և իրենց ՌՆԹ-ն, որը նույնպես նման է կապտականաչ ջրիմուռների ռիբոսոմների ՌՆԹ-ին:

Գոյություն ունեն նաև տարբերություններ քլորոպլաստների և ցիտոպլազմայի ռիբոսոմներում արտադրված նյութերի միջև: Հետաքրքիրն այն է, որ կենսասինթեզ կարող է տեղի ունենալ նաև մեկուսացված քլորոպլաստներում: Այդ պայմաններում նրանք կարող են բազմանալ, սակայն կուլտուրայում երկար ժամանակ գոյություն ունենալ չեն կարող: Միտոքոնդրիումների նման քլորոպլաստները շրջապատված են կրկնակի մեմբրանով:

Քլորոպլաստների առաջացման սիմբիոտիկ հիպոթեզը ընդունում է նաև Ջոն Բեռնալը, որի կարծիքով էուկարիոտ բուսական բջիջները իրենց

ծագման պրոցեսում «որսում» էին նախկինում ազատ գոյություն ունեցող պրոկարիոտ օրգանիզմներին՝ ֆոտոսինթետիկ պլաստիդներին: Բեռնալի կարծիքով այդ օրգանիզմները սկզբում գոյություն են ունեցել որպես անկախ միավորներ և միայն ավելի ուշ միացել են մեկ կոմպլեքսի՝ բջջի մեջ:

Այժմ դիտարկենք գունանյութերի էվոլյուցիան: Գունանյութերի էվոլյուցիան դիտարկելիս կարելի է ընդունել, որ նախ, գունանյութերի առավել հին ձևերը, որոնք հնում կատարել են գլխավոր դեր, , կարող էին շարունակել մնալ և հետագայում կատարել երկրորդական ֆունկցիաներ, օրինակ կարոտինոիդները կամ բաց շղթայով օլիգոպիրոլները: Երկրորդը, եթե ընդունենք, որ կենսաքիմիայի պարագայում ընդունելի է էվոլյուցիայի այն կանոնը, ըստ որի օնտոգենեզում կրկնվում են ֆիլոգենեզի հիմնական փուլերը, ապա կարող ենք ենթադրել որ ժամանակակից էվոլյուցիոն տեսակետից ավելի «երիտասարդ» գունանյութերի կենսասինթեզի ժամանակ միջանկյալ միացությունները կարող են լինել ավելի հին տարբերակները: Արևի էներգիայի կլանումն ապահովող ամենապարզ պիգմենտներից է բակտերիոռոդոպսինը, որը հանդիպում է քլորոֆիլից զուրկ *Halobacterium halobium*-ի մեմբրաններում: Այն իրենից ներկայացնում է 20 ածխածնային ածխաջրի արտադրյալ՝ զուգորդված կրկնակի կապերով: Ինչպես հայտնի է, այդ տիպի, բայց ավելի բարդ մոլեկուլները 40 ածխածնային ոչ ցիկլիկ և մոնոցիկլիկ կարոտինոիդները՝ ֆոտոսինթեզող բակտերիաների մոտ և բիցիկլիկները՝ ջրիմուռների և բարձրակարգ նույսերի մոտ կատարում են լրացուցիչ գունանյութերի դեր:

Ըստ երևույթին ինչ որ ժամանակաշրջանում կենսոլորտի էներգիափոխանակության մեջ ունեցել են ներդրում այն պրիմիտիվ ֆոտոտրոֆները, որոնց մոտ բացակայում էին պորֆիրինները և լուսազգայուն մոլեկուլներն իրենցից ներկայացրել են բաց շղթայով եռ- և տետրապիրոլները:

Հնարավոր է, որ բաց շղթայով տետրապիրոլը ինչ-որ ժամանակ ծառայել է լուսային էներգիան պաշարելու համար, իսկ այնուհետև՝ պորֆիրինների առաջանալուց հետո, սկսեց կատարել լուսակարգավորիչի դեր: Նմանատիպ միացությունները՝ ֆիկոբիլինները կարմիր ու կապտականաչ ջրիմուռների մոտ լրացուցիչ գունանյութերի դեր են կատարում:

Փակ շղթայով տետրապիրոլները՝ քլորոֆիլները, էվոլյուցիայի ընթացքում նույնպես ենթարկվել են փոփոխությունների: Առաջացել են ավելի օքսիդացած ձևեր, / a և b քլորոֆիլների D օղակում հիդրված է միայն մեկ կրկնակի կապը, մինչդեռ բակտերիոքլորոֆիլում՝ ինչպես B, այնպես

Էլ D օդակներում երկարել է ածխաջրածնային պոչը /բակտերիաքլորոֆիլներ c և d-ի մոտ ֆարենեզոլի մնացորդը պարունակում է 15 ածխածնի ատոմներ, իսկ քլորոֆիլների մոտ ֆիտոլի մնացորդը՝ 20 ատոմ/: Քլորոֆիլների կողմից կարմիր լույսի կլանման մաքսիմումը համեմատած բակտերիոքլորոֆիլին տեղաշարժվել է դեպի կարճալիքային տիրույթ, որը հանգեցրել է ավելի մեծ էներգիա պարունակող լուսային կվանտների կլանելուն:

Շատացել են քլորոֆիլի ձևերը՝ ֆոտոսինթեզող բակտերիաների 3-4 ձևից մինչև 6-7 ձև ստորակարգ ու բարձրակարգ բույսերի մոտ : Այն նպաստել է ,որ ավելի է լայնացել լույսի կլանման սպեկտրը:

Որպես կենսաքիմիական արոմորֆոզ կարելի է դիտարկել ֆոտոսիստեմ-II-ի առաջացումը: Նրա գրգռման էներգիայի շնորհիվ հնարավոր դարձավ այնպիսի բարձր օքսիդա-վերականգնողական պոտենցիալի առաջացումը, որով հնարավոր եղավ ջրի մոլեկուլի քայքայումը: Ի տարբերություն մյուս ջրածնի աղբյուրների, ինչպիսիք էին օրգանական միացությունները կամ անօրգանական ծծմբաջրածինը, սուլֆատներն ու սուլֆիտները, ջուրը տարածված է ամենուր և հենց դրա շնորհիվ չի սահմանափակում ֆոտոսինթեզը:

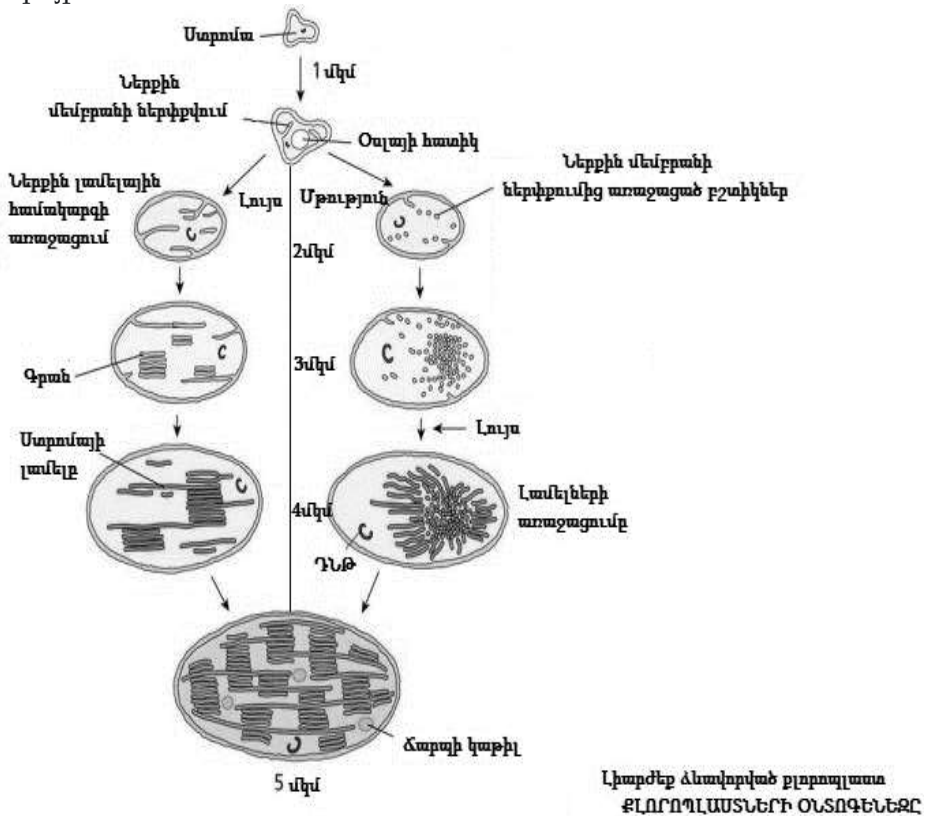
Էվոլուցիայի ընթացքում նշանակալից փոփոխությունների են ենթարկվել նաև էլեկտրոնների ֆոտոինդուկցված տրանսպորտի մասնակիցները. բակտերիաների մոտ գործում են ցիտոքրոմ C-ն, ուբիքինոնը և ՆԱԴ-ը, իսկ ջրիմուռների և բարձրակարգ նույսերի մոտ՝ ցիտոքրոմ f-ը, պլաստոքինոնները և ՆԱԴՖ-ը:

Ֆոտոռեդուկցիայից դեպի ֆոտոսինթեզն անցման գործընթացում մեծ դեր են խաղացել Mn^{2+} պարունակող միացությունները, որոնք ունեն բարձր օքսիդացնող հատկություն, և երկու ֆոտոսիստեմների՝ I և II, համագործակցումը :

Երբ դիտարկում ենք ֆոտոտրոֆների կողմից CO_2 -ի յուրացման քիմիզմը, ուշագրավ է այն, որ ֆոտոսինթեզող բակտերիաների համար բնորոշ է CO_2 -ը կապելու՝ կարբօքսիլացման ռեակցիաների շատ ավելի մեծ բազմազանությունը, քան ջրիմուռների ու բարձրակարգ բույսերի համար, որոնց մոտ որպես CO_2 -ի հիմնական ակցեպտոր հանդիսանում է ռիբուլոզադիֆոսֆատը, իսկ երկրորդականի դեպքում՝ ֆոսֆոենոլպիրոխաղողաթթուն /ՖԵՊ/ և ավելի քիչ աստիճանով՝ պիրոխաղողաթթուն /ՊԽԿ/: Նշանակալիորեն փոփոխվել է կարբօքսիլացման հիմնական ֆերմենտը՝ ռիբուլոզադիֆոսֆատկարբօքսիլազը: Բարձրակարգ բույսերի մոտ նրա մոլեկուլային զանգվածը համարյա թե 10 անգամ ավելի մեծ է, քան որոշ ծիրանագույն բակտերիաների մոտ: Ածխածնային

աննդառության հետագա կատարելագործումը բարձրակարգ բույսերի մոտ իրականանում է քլորոպլաստներում CO₂-ը կոնցենտրացնելու հնարավորությունների կատարելագործման ուղղությամբ, որի քանակությունը մթնոլորտային օդում համեմատաբար քիչ է՝ ֆոտոսինթեզի ժամանակ դրա հնարավոր հագեցվածության համար: Նման մեխանիզմները ուսումնասիրված են գառնադմակազգիների ընտանիքի և մյուս C4 բույսերի համար:

Եզրակացություն: Էվոլուցիոն կենսաքիմիայի և ֆիզիոլոգիայի ամենամեծ խնդիրներից մեկն է հանդիսանում ֆոտոսինթեզի գործառության /ֆունկցիայի/ կարգավորման մեխանիզմների կատարելագործման ուղիների բացահայտումը: Այս խնդրի լուծումը պատկանում է ապագային:



³ Alexina H.D., Balnoikin Y.V. Физиология растений М.: ACADEMA, 2005.

ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅՈՒՆ

1. *Թանգալյան Տ.Վ.*, Դավթյան Ն.Ն., ՈԻգունյան Ք.Ն. Կենսաբանական համակարգեր. Եր., 2011, էջ11:
2. *Маргелис Л.* «Роль симбиоза в эволюции клетки» Москва «Мир» 1983, стр 352
3. Բոլյսեթրիֆիզիոլոգիա, Երևան 2006 Տ.Վ Թանգալյան, Ս.Ա Աղաջանյան, էջ288
4. Физиология растений 2005 АСАДЕМА Москва Н.Д .Алехина Ю . В. Балнокин,стр 640
5. *Тарчевский И.А.* Основы фотосинтеза 1977,стр 248
- 6 *Рубин Б.А.* Курс физиологии и растений, М., «Высшая школа» 1971,стр 672
7. Наука жизнь «Кислородная катастрофа на замедляющейся Земле»
8. *Брей С.* Азотный обмен в растениях, М1986, стр.200
- 9.*Тахтаджан А. Л.* «Четыре царства органического мира» Природа, 2, 1973г.,304

ЭВОЛЮЦИЯ ФОТОСИНТЕЗА

Л. Гаспарян

АННОТАЦИЯ

Данная статья представляет собой краткий обзор эволюции фотосинтеза. Здесь мы представили, как формировалась теория эволюции фотосинтеза в науке – от зарождения идей до наших дней. Существование организмов, населяющих Землю, тесно связано с потреблением энергии, а основным источником энергии на Земле, как известно, является лучистая энергия Солнца. Фотосинтез – явление, осуществляющее энергетическую связь между Солнцем и Землей, а также выражающее совокупность химических и биологических явлений, обусловленных этой связью. Характеризуя роль растений в накоплении кислорода на Земле, В.Я. Вернадский писал, что свободный кислород в виде газа на нашей планете в виде раствора в природных водах целиком создается жизнью. До сих пор мы не знаем ни одного случая, когда бы он выделялся в значительных количествах в результате каких-либо химических процессов, независимых от жизни, но нам известны тысячи земных процессов, при которых свободный кислород поглощается и превращается в новые соединения, и при этом количество его в биосфере существенно не меняется, и достигается это непрерывной работой зеленых растений. Однако этот важнейший процесс складывался на Земле в течение определенного периода времени, в результате определенных явлений, которые в биологии принято называть «эволюцией». Для раскрытия данной темы и описания эволюции фотосинтеза как важнейшего явления природы попробуем ответить на следующие вопросы: что предшествовало фотосинтезу, как он возник и какое влияние это оказало на дальнейшее развитие органического мира.

Ключевые слова: фотосинтез, эволюция, симбиоз, хлорофилл, бактериохлорофилл пластид, рибосом, синезеленая водоросль.

EVOLUTION OF PHOTOSYNTHESIS

L. Gasparyan

ABSTRACT

This article is a brief overview of the evolution of photosynthesis. Here we presented how the theory of the evolution of photosynthesis in science was formed – from the birth of ideas to the present days. The existence of organisms inhabiting the Earth is closely related to energy consumption, and the main source of energy on Earth, as we know, is the radiant energy of the Sun. Photosynthesis is a phenomenon that carries out an energy connection between the Sun and the Earth, and also expresses the totality of chemical and biological phenomena due to this connection. Describing the role of plants in the accumulation of oxygen on Earth, V. Vernadsky wrote that free oxygen in the form of a gas on our planet as well as in the form of a solution in natural waters is entirely created by life. Until now, we do not know of a single case when it would be released in significant quantities as a result of any chemical processes independent of life, but we know of thousands of terrestrial processes in which free oxygen is absorbed and converted into new compounds, and at the same time its quantity in the biosphere does not change significantly, and this is achieved by the continuous work of green plants. However, this most important process was developed on Earth over a certain period of time, as a result of certain phenomena, which in biology are called evolution. To reveal this topic and describe the evolution of photosynthesis as one of the most important natural phenomenon, we'll try to answer on the following questions: what preceded photosynthesis, how did it arise, and what impact did it have on the further development of the organic world?

Keywords: photosynthesis, evolution, symbiosis, chlorophyll, bacteriochlorophyll, plastid, ribosome, blue-green algae.

**ПЯТНАДЦАТАЯ ГОДИЧНАЯ НАУЧНАЯ
КОНФЕРЕНЦИЯ**

*Главный редактор РНИ – М.Э. Авакян
Редактор – А.С. Есаян
Редактор иностранных текстов – М.С. Есаян
Компьютерная верстка – А.С. Бжикян*

Адрес Редакции научных изданий Российско-Армянского университета:
*0051, г. Ереван, ул. Овсена Эмина, 123
тел./факс: (+374 10) 27-70-52, (внутр. 42-02)
e-mail: maria.avakian@rau.am*

Заказ № 35
Подписано к печати 21.01.2022г.
Формат 60x84¹/₁₆. Бумага офсетная № 1.
Объем усл. 11,9 п.л. Тираж 100 экз.