

УДК 57:612.821.2

## МЕДИТАЦИЯ И НЕЙРОПЛАСТИЧНОСТЬ. РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ДЗАДЗЕН МЕДИТАЦИИ С ПОМОЩЬЮ РЕКУРРЕНТНОЙ ЭНТРОПИИ ЭЭГ

Кануников И.Е., Куперин Ю.А., Черных Г.А.

ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет», Санкт-Петербург,  
e-mail: g.chernykh@spbu.ru

Цель исследования состоит в выявлении возможных нейропластических изменений в головном мозге человека в результате практики медитации дзадзен. На четырех испытуемых, не практиковавших ранее медитацию, было выполнено лонгитюдное электроэнцефалографическое исследование. Испытуемые обучались медитации в течение полутора месяцев под руководством профессионала, практикующего дзадзен медитацию. Анализировался показатель рекуррентной энтропии ЭЭГ, которая, будучи построенной по частотным распределениям диагональных линий рекуррентных диаграмм, отражает сложность детерминистической составляющей динамической системы. Показатели вычислялись для ЭЭГ, снимаемых в состоянии медитации, а также в фоновых условиях до и после медитации. В результате экспериментов было получено, что в процессе обучения медитации энтропия ЭЭГ непрерывно увеличивалась (с учетом отрицательного знака) только у одного испытуемого из четырех. У этого испытуемого также наблюдалось снижение энтропии после медитации. Полученные данные могут рассматриваться как свидетельство наличия нейропластических изменений в процессе овладения практикой медитации дзадзен. Кроме того, выявленная динамика рекуррентной энтропии ЭЭГ у остальных испытуемых мотивирует на поиск других динамических характеристик, которые могут быть более эффективны с точки зрения выявления нейропластических изменений.

**Ключевые слова:** ЭЭГ, рекуррентный анализ, рекуррентная энтропия ЭЭГ, дзадзен медитация, нейропластичность, пластичность мозга

## MEDITATION AND NEUROPLASTICITY. RESULTS OF A STUDY OF ZAZEN MEDITATION USING RECURRENT ENTROPY EEG

Kanunikov I.E., Kuperin Yu.A., Chernykh G.A.

Saint-Petersburg State University, e-mail: g.chernykh@spbu.ru

The aim of the study is to identify possible neuroplastic changes in the human brain as a result of practicing zazen meditation. A longitudinal electroencephalographic study was performed on four subjects who had not previously practiced meditation. The subjects were trained in meditation for a month and a half under the guidance of a professional practicing zazen meditation. We analyzed the EEG recurrent entropy index, which, based on the frequency distributions of the diagonal lines of recurrent diagrams, reflects the complexity of the deterministic component of the dynamic system. Indicators were calculated for EEGs taken in meditation states, as well as in background conditions before and after meditation. As a result of experiments, it was found that during the training of meditation, the EEG entropy continuously increased (taking into account the negative sign) in only one of the four subjects. This subject also experienced a decrease in entropy after meditation. The obtained data can be considered as evidence of the presence of neuroplastic changes in the process of mastering the practice of zazen meditation. In addition, the revealed dynamics of recurrent EEG entropy in other subjects motivates the search for other dynamic characteristics that may be more effective in detecting neuroplastic changes.

**Keywords:** EEG, recurrent analysis, EEG recurrent entropy, zazen meditation, neuroplasticity, brain plasticity

Настоящая работа представляет результаты лонгитюдного исследования, выполненного с целью получения ответа на вопрос о том, вызывает ли практика освоения дзадзен медитации нейропластические изменения мозга. Речь идет о макроуровне, связанном с изменением сетевой структуры мозга, обеспечивающей взаимосвязь между различными мозговыми областями. Дэвидсоном [1] было проведено исследование добровольцев, практиковавших медитацию (mindfulness meditation) каждый день по 1 часу, на протяжении 8 недель. Показано, что медитация может изменять мозговую деятельность и иммунную функцию в позитивном направлении. Многочисленные исследования Дэвидсона и его коллег

показали, что мысли, упражнения и различные виды медитаций могут приводить к нейропластическим перестройкам в мозгу здорового человека [2–4]. Это в большой степени соотносится с философией тибетского буддизма. «Из всех направлений современной нейрофизиологии нейропластичность имеет самый большой потенциал для осмысленного взаимодействия с буддизмом», – говорит нейрофизиолог Ричард Дэвидсон.

Мы предположили, что наличие нейропластических изменений отразится на нелинейном показателе энтропии фоновой ЭЭГ. Как известно, энтропия ЭЭГ снижается при наркозе [5, 6] и положительно связана с адаптивностью мозга [7]. В [8] показано,

что продолжительная практика медитации приводит к эндогенному увеличению энтропии колебательной активности мозга. Наиболее заметные эффекты наблюдались в структурах мозга, критически вовлеченных в процессы осознания и внимания. У краткосрочно и долгосрочно медитирующих в дзен практике были найдены постоянные структурные изменения в медитирующем мозге [9].

Для вычисления показателей энтропии ЭЭГ использовался метод рекуррентного количественного анализа, основанного на количественной оценке рекуррентных диаграмм. Этот метод, разработанный Сбилутом и Вебером [10], стал весьма популярным в последние годы. Его важное преимущество, в частности, состоит в возможности использования для анализа коротких временных рядов с шумом. К тому же этот метод позволяет анализировать активность системы независимо от числа и динамической природы индивидуальных источников [11].

#### Материалы и методы исследования

В опытах исследовались 4 человека (три женщины и один мужчина), которые добровольно изъявили желание принять участие в лонгитюдных экспериментах, посвященных обучению дзадзен медитации. Каждый испытуемый был проинструктирован о технической процедуре эксперимента. Никто из испытуемых не имел предварительного опыта практики медитации дзадзен. Исследование осуществлялось в течение полутора месяцев. Испытуемые посещали лабораторию три раза в неделю (в дневное и вечернее время) для записи ЭЭГ в процессе медитации дзадзен. До первого посещения лаборатории каждый испытуемый прошел обучение практике дзадзен в специализированном дзен-центре традиции Сото в Санкт-Петербурге под руководством монахини со стажем практики 11 лет. Во время первого посещения с каждым испытуемым проводилось краткое собеседование, он подписывал информированное согласие и прослушивал устный инструктаж по технике медитации дзадзен, во время которого объяснялась задача на время практики и давалась инструкция относительно необходимой позиции тела. Во время практики дзадзен испытуемым предлагалось сидеть на специальной подушке для медитации так, чтобы колени упирались в пол, позвоночник был прямым. Испытуемых просили сидеть с открытыми глазами, расслабленным взглядом смотреть на стену перед собой под углом 45 градусов, что соответствует технике медитации дзадзен, практикуемой в дзен-буддизме. Перед ними

ставилась задача наблюдать свое дыхание, возвращать внимание к процессу вдоха и выдоха в случае, если испытуемый отвлекся на мысль или какой-либо другой фактор. Для того чтобы понять истинную сущность дзен-медитации, процитируем выдержку из работы Тайсэн Дэсимуру Роси: «Истинный Дзадзен заключается в тихом сидении в правильной позиции. Это не какое-то особое состояние, это нормальное состояние человеческого существа: молчаливое и спокойное, без возбуждения. Дзадзен означает успокоить ум и сконцентрировать ум и тело. В дзадзен нет цели, нет стремления что-либо получить, нет специального усилия или воображения. Это не знание, которое нужно постичь умом. Это только практика, практика, являющаяся истинными вратами в счастье, покой и свободу» [9]. Важно подчеркнуть следующий момент. Практикуя, не надо стремиться чего-либо достичь. Не надо ставить цель, необходимо только концентрироваться на позиции дзадзен, на дыхании и состоянии ума. Учитывая это, следует подчеркнуть, что экспериментатору трудно дать объективную оценку успеха при осуществлении медитации. Это факт подчеркивается в классических трактатах о дзадзен медитации.

Запись ЭЭГ осуществлялась с помощью электроэнцефалографа фирмы Нейровизор в программе Неокортес, фильтр высокой частоты устанавливался на 0,53 Гц, а фильтр низкой частоты – на 30 Гц. Частота квантования равнялась 1000 Гц.

Расположение электродов осуществлялось по международной 10–20 системе. ЭЭГ регистрировалась монополярно в следующих 22 отведениях: Fp1, Fp2, F3, F4, F7, F8, Fz, C3, C4, Cz, T3, T4, T5, T6, P3, P4, Po3, Po4, Pz, O1, O2, Oz. Кроме того были поставлены два электрода, расположенные между P3 и O1 (Po3) и P4 и O2 (Po4). Референтным электродом служил электрод, объединяющий мочки ушей. С целью контроля движений глаз велась запись ЭОГ с двух электродов, расположенных по диагонали вокруг правого глаза.

В начале каждого опыта записывалась фоновая ЭЭГ при закрытых и открытых глазах (по 1 мин), затем производилась запись ЭЭГ во время осуществления практики дзадзен в течение 20 мин, после чего снова записывалась фоновая ЭЭГ при закрытых и открытых глазах (по 1 мин). Рекуррентный анализ был реализован с помощью программы «IM Recurrence Analyst».

Для каждой фоновой серии в условиях с открытыми глазами для каждого из 22 отведений ЭЭГ вычислялись значения показателя энтропии (ENTR) до медитации

и после медитации. Наряду с этим вычислялись показатели энтропии для последовательных серий медитации в процессе обучения. Длительность эпохи анализа составляла 50000 точек, что соответствовало 50 с. Статистический анализ данных осуществлялся с помощью пакета программ SPSS (ANOVA), при этом у каждого испытуемого все последовательные фоновые серии до медитации сопоставлялись с фоновыми сериями после медитации. Полагалось, что, если процесс обучения дзэден медитации сопровождается нейропластичными изменениями, то фоновые показатели ЭЭГ до и после медитации будут значительно различаться.

Мера энтропии соотносится с энтропией Шеннона частотного распределения длин диагональных линий на рекуррентных диаграммах. Вычисление энтропии осуществлялось с помощью формулы

$$ENTR = - \sum_{l=l_{min}}^N p(l) \ln p(l) \quad p(l) = \frac{P^e(l)}{\sum_{P^e(l)} P^e(l)},$$

где  $P^e(l)$  – частотные распределения длин  $l$  диагональных линий.

### Результаты исследования и их обсуждение

Для каждого из четырех испытуемых были вычислены показатели энтропии фоновых ЭЭГ и ЭЭГ во время медитации. При этом рассматривались последовательные серии, начиная с первой и кончая последней. В случае медитации анализировались, как правило, четыре последовательные серии (первая, две в середине и заключительная серия). Рассмотрим последовательно результаты всех испытуемых.

У испытуемого 1 выявлена значимая динамика ( $P < 0,001$ ) значений энтропии в ходе выполнения последовательных медитаций (таблица).

Усредненные по всем отведениям значения энтропии ЭЭГ в последовательных сериях медитации для испытуемых 1, 3 и 4

Серии медитации	1	2	3	4
Энтропия ЭЭГ Испытуемый 1	-3,58	-3,97	-3,56	-3,35
Энтропия ЭЭГ Испытуемый 3	-3,57	-3,90	-4,38	-4,00
Энтропия ЭЭГ Испытуемый 4	-3,14	-3,44	-4,69	

Сопоставление энтропии ЭЭГ в фоне после медитации с фоном до медитации (рис. 1) также выявило значимое увеличение энтропии после медитации. Различия высоко достоверны ( $P < 0,0001$ ). У испытуемого 2 значения энтропии ЭЭГ при последовательных сериях медитации не выявили значимых различий (рис. 2 (слева)).

Для испытуемого 3 (таблица и рис. 3 (справа)) в процессе медитации значения энтропии возрастают, однако к последней серии происходит уменьшение энтропии, эта динамика высоко достоверна ( $P < 0,001$ ). Однако никаких значимых изменений в фоновой ЭЭГ не наблюдается.

У испытуемого 4 (таблица и рис. 3) наблюдалось высоко достоверное увеличение энтропии на всем протяжении процесса обучения медитации от первой серии к последней ( $P < 0,0001$ ). Следует подчеркнуть, что этот процесс сопровождался значимым уменьшением энтропии фоновой ЭЭГ после медитации (значимость различий ( $P < 0,001$ )).

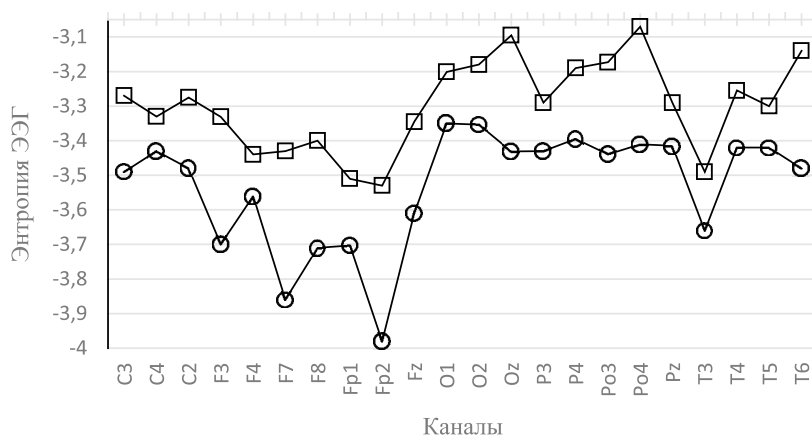


Рис. 1. Энтропия фоновой ЭЭГ до медитации (квадратные маркеры) и после медитации (круглые маркеры) для испытуемого 1

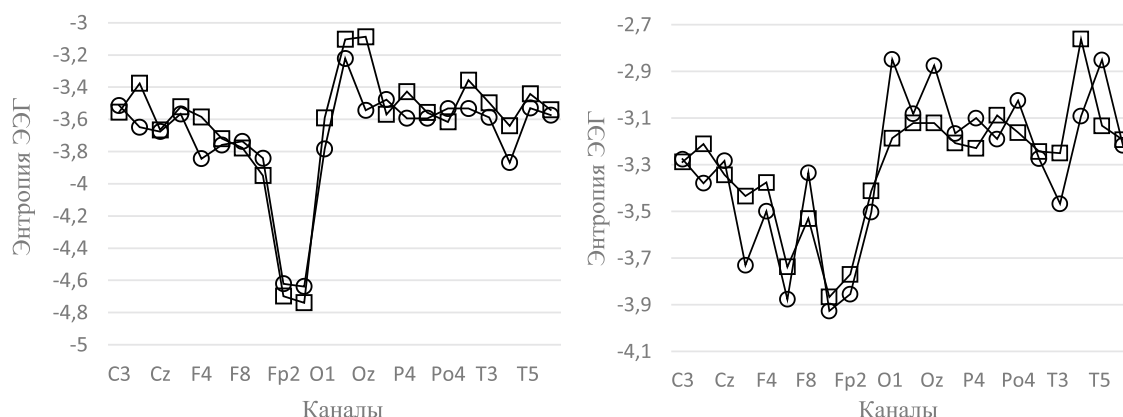


Рис. 2. Показатели энтропии фоновой ЭЭГ до (квадратные маркеры) и после (круглые маркеры) медитации для испытуемого 2 (слева) и испытуемого 3 (справа)

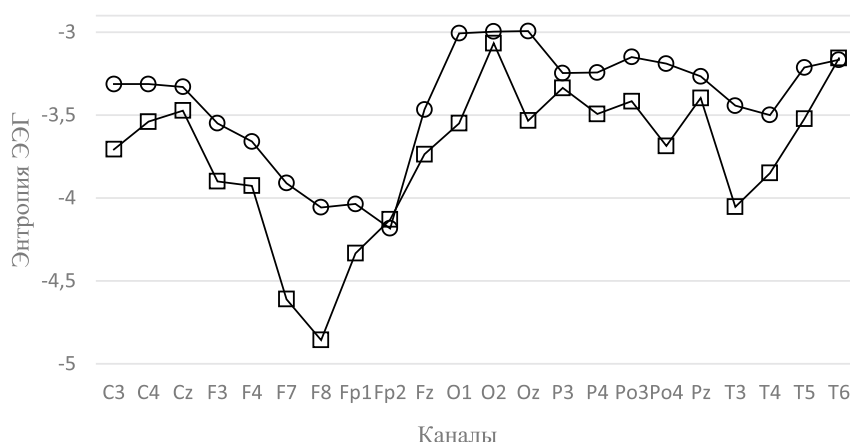


Рис. 3. Показатели энтропии фоновой ЭЭГ до медитации (квадратные маркеры) и после (круглые маркеры) для испытуемого 4

Одна из проблем, возникающих при интерпретации полученных результатов, связана с отсутствием объективных показателей, характеризующих успешность медитации. Приведем цитату из классической современной работы по практике медитации дзен «Сознание дзен, сознание начинающего»: «Строго говоря, любое прилагаемое нами усилие не способствует практике, ибо оно порождает волны в нашем сознании. Однако невозможно добиться спокойствия нашего сознания, не прилагая никаких усилий. Нам необходимо прилагать определенные усилия, но, делая это, мы должны забывать себя. В этой сфере нет ни субъективного, ни объективного. Наше сознание просто пребывает в спокойствии и даже лишено всякого самосознания. В таком отсутствии самосознания исчезает любое усилие, любая идея или мысль. Поэтому так важно ободрять себя и не прекращать усилий до самого последнего мгнове-

ния, когда исчезает всякое усилие. Следует удерживать сознание на дыхании до тех пор, пока вы не перестанете сознавать свое дыхание» [9, с. 41].

Среди четырех испытуемых лишь у одного (испытуемый 4), судя по данным энтропии ЭЭГ при медитации, на протяжении всего периода обучения наблюдалось увеличение отрицательных значений энтропии. У испытуемого 1 энтропия возрастала к третьей серии, а затем начинала уменьшаться вплоть до последнего сеанса медитации. Анализ данных энтропии ЭЭГ при медитации позволяет предположить, что в случае успешной медитации происходит увеличение отрицательных значений энтропии. Справедливость положения, что медитация дзадзен должна приводить к увеличению энтропии, подтверждается представлением адептов дзадзен о том, к какому результату должна приводить медитация. «Недвижимый» или «неподвижный» ум –



это не застывший и фиксированный, или неподвижный, как дерево или скала, ум. Напротив, неподвижный ум есть ум, который не зафиксирован нигде, который не останавливается и не остается ни в одном месте. Этот ум всегда в движении, потому что он не остановился или не ухватился за что-либо. Вот что означает иметь «неподвижный» ум.

о наличии эффекта нейропластичности. Можно сделать предположение, что это происходит из-за того, что при переключении на фоновое состояние мозг возвращается к своему итоговому состоянию сниженной энтропии.

Возможно, этот факт является следствием малой продолжительности занятия медитацией и в случае опытного медитатора

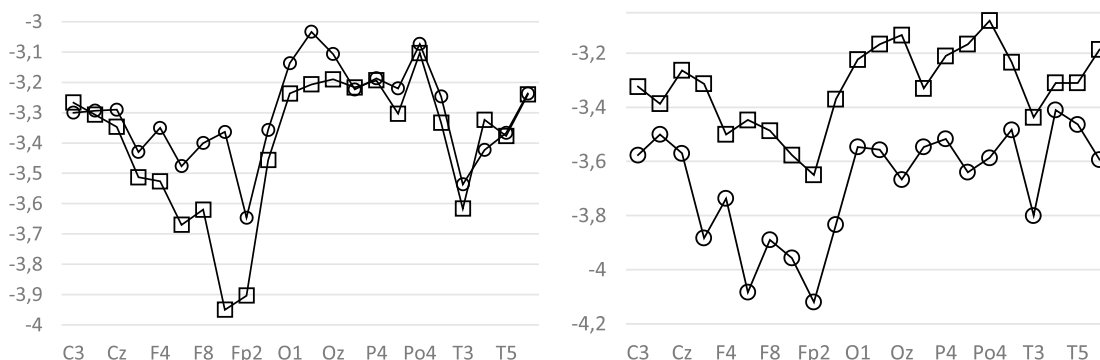


Рис. 4. Разница энтропии фоновой ЭЭГ до (квадратные маркеры) и после (круглые маркеры) медитации, соответствующая увеличению (левые графики) и снижению (правые графики) энтропии ЭЭГ при медитации (таблица). Значимость различий слева  $P < 0,05$ , справа  $P < 0,001$ . Испытуемый 1

При рассмотрении результатов испытуемых 1 и 4 возникает некий вопрос, состоящий в том, что у них после медитации энтропия фоновой ЭЭГ обнаруживает разную направленность: в первом случае она возрастает, а во втором – падает. Однако анализ динамики энтропии при медитации у испытуемого 1 показывает вначале увеличение энтропии, а затем ее падение (таблица). Мы осуществили сопоставление энтропии фоновой ЭЭГ до и после медитации отдельно для случая, соответствующего увеличению энтропии ЭЭГ при медитации и для второй половины, когда наблюдалось падение энтропии. Полученные данные приведены на рис. 4. Действительно, в случае увеличения энтропии ЭЭГ при медитации наблюдается снижение энтропии в фоновых условиях. Итак, получается, что при увеличении энтропии ЭЭГ в ходе медитации энтропия фоновой ЭЭГ после медитации значимо уменьшается по сравнению с энтропией фоновой ЭЭГ до медитации. И наоборот, если энтропия в результате медитации уменьшается, то энтропия фоновой ЭЭГ после медитации возрастает. Как можно объяснить этот результат? В первую очередь мы должны сделать вывод, что показатели фоновой ЭЭГ после медитации значимо снижаются, что свидетельствует

энтропия фоновой ЭЭГ будет иметь большие значения. Что же касается обратного эффекта, его достаточно трудно интерпретировать, за тем исключением, что у испытуемого 1 в процессе обучения медитации меняется знак энтропии в сторону уменьшения, и поэтому трудно интерпретировать такой результат как успешное обучение.

### Заключение

Итак, резюмировать полученные результаты можно следующим образом.

У испытуемого 2 отсутствие изменений энтропии ЭЭГ между последовательными медитациями сопровождалось отсутствием значимых различий в показателях энтропии фоновой ЭЭГ. С другой стороны, у испытуемого 3 значимые различия в показателях энтропии ЭЭГ в последовательных сериях медитации не сопровождалось наличием достоверных различий в показателях энтропии фоновых ЭЭГ. Однако результаты, полученные у двух испытуемых (1 и 4), выявили значимое влияние обучения медитации на характеристики энтропии фоновой ЭЭГ, что можно рассматривать как свидетельство нейропластических изменений.

Работа поддержана Российским Фондом Фундаментальных Исследований (РФФИ) № 19-07-00337.

### Список литературы

1. Davidson R.J., Kabat-Zinn J., Schumacher J., Rosenkranz M., Muller D., Santorelli S.F., Urbanowski F., Harrington A., Bonus K., Sheridan J.F. Alterations in Brain and Immune Function Produced by Mindfulness Meditation. *Psychosomatic Medicine*. 2003. Vol. 65. No. 4. P. 564–570.
2. Davidson R.J., Kaszniak A.W. Conceptual and Methodological Issues in Research on Mindfulness and Meditation. *American Psychologist*. 2015. Vol. 70. No. 7. P. 581–592.
3. Davidson R.J., Cortland J.D. Outstanding Challenges in Scientific Research on Mindfulness and Meditation. *Perspectives on Psychological Science*. 2017. Vol. 13. No. 1. P. 62–65.
4. Goleman D., Davidson R.J. *Altered Traits: Science Reveals How Meditation Changes Your Mind, Brain, and Body*. Avery. 2017. 336 p.
5. Liang Z., Wang Y., Sun X., Li D., Voss L.J., Sleight J.W., Hagihira S., Li X. EEG entropy measures in anesthesia. *Front. Comput. Neurosci.* 2015. Vol. 9. No. 16. DOI: 10.3389/fncom.2015.00016 (дата обращения 26.10.2020).
6. Немирно А.П., Манило Л.А., Калиниченко А.Н., Волкова С.С. Сравнительный анализ применения различных оценок энтропии ЭЭГ-сигнала для распознавания стадий наркоза // *Биотехносфера*. 2010. № 3. С. 3–10.
7. Manilo L.A., Volkova S.S. Recognition of the deep anesthesia stage from parameters of the approximated entropy of EEG signal. *Pattern recognition and image analysis*. 2013. Vol. 23. No. 1. P. 92–97.
8. Vivot R.M., Pallavicini C., Zamberlan F., Vigo D., Tagliazucchi E. Meditation Increases the Entropy of Brain Oscillatory Activity. *Neuroscience*. 2020. Vol. 431. P. 40–51.
9. Hauswald A., Übelacker T., Leske L., Weisz N. What it means to be Zen: Marked modulations of local and interareal synchronization during open monitoring meditation. *NeuroImage*. 2015. Vol. 108. P. 265–273.
10. Zbilut, J.P., Webber C.L. Embeddings and delays as derived from quantification of recurrence plots. *Physics Letters A*. 1992. Vol. No. 3–4. P. 199–233.
11. Webber C.L., Marwan Jr.N. (Eds.) *Recurrence Quantification Analysis. Theory and Best Practices*. Springer. 2015. 210 p.
12. Судзуки С. *Сознание дзен, сознание начинающего*. Альпина Паблишер, 2016. 162 с.