



Саратовский Национальный  
Исследовательский Государственный  
Университет имени Н.Г. Чернышевского.



# Синхронизация химерных состояний в двух связанных ансамблях нелинейных хаотических осцилляторов

Бух А.В., Стрелкова Г.И., Анищенко В.С.

# Цель работы

- **Выбрать удобный и обоснованный метод определения присутствия или отсутствия синхронизации структур;**
- **Исследовать явление синхронизации структур в связанных кольцах для однонаправленной связи между кольцами и для двунаправленной.**

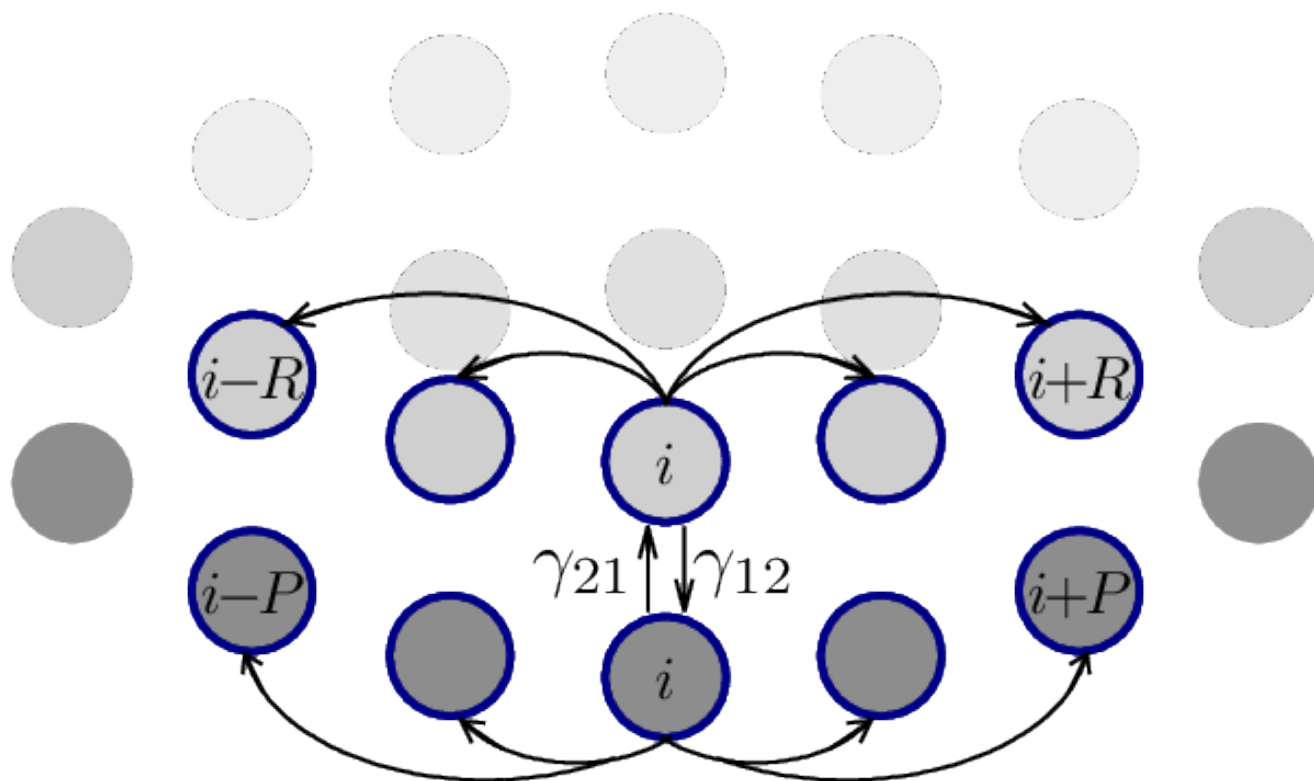
# Исследуемая модель

$$x_i^{t+1} = f_i^t + \frac{\sigma_1}{2P} \sum_{j=i-P}^{i+P} [f_j^t - f_i^t] + \gamma_{21} F_i^t,$$

$$y_i^{t+1} = g_i^t + \frac{\sigma_2}{2R} \sum_{j=i-R}^{i+R} [g_j^t - g_i^t] + \gamma_{12} G_i^t,$$

$$f_i^t = \alpha_1 x_i^t (1 - x_i^t), \quad g_i^t = \alpha_2 y_i^t (1 - y_i^t)$$

# Исследуемая модель



$$P=R=320$$

$$\alpha_1=3,7$$

$$\alpha_2=3,85$$

# Метод исследования

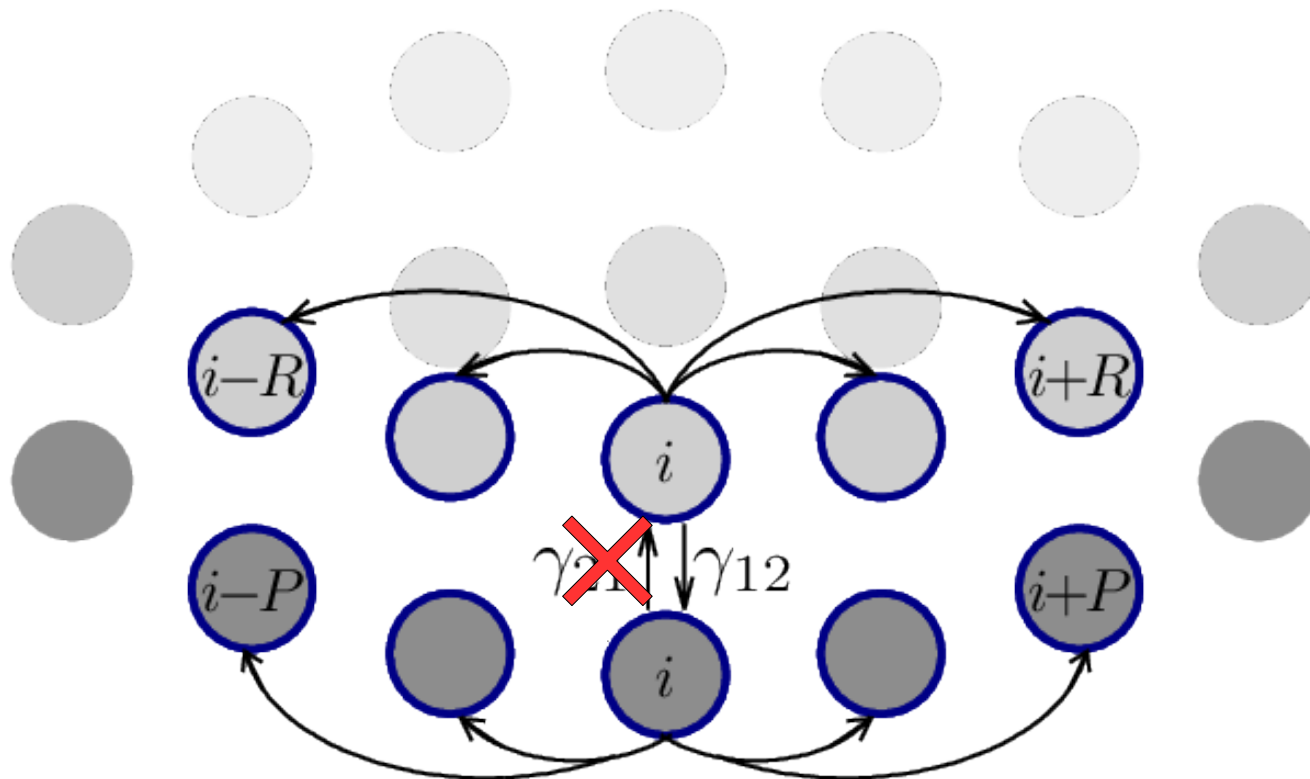
**1) Коэффициенты корреляции между соответственными элементами в разных кольцах**

$$R_i = \frac{\langle \tilde{x}_i(t) \tilde{y}_i(t) \rangle}{\sqrt{\langle \tilde{x}_i^2(t) \rangle \langle \tilde{y}_i^2(t) \rangle}},$$

$$\tilde{x}_i(t) = x_i(t) - \langle x_i(t) \rangle, \quad \tilde{y}_i(t) = y_i(t) - \langle y_i(t) \rangle$$

**2) Сохранение значений взаимной корреляции  $R_i$  близкими к единице в конечной области одного или двух параметров связи.**

# Внешняя синхронизация



$$P=R=320$$

$$\alpha_1=3,7$$

$$\alpha_2=3,85$$

$$\sigma_1=0,23$$

$$\sigma_2=0,15$$

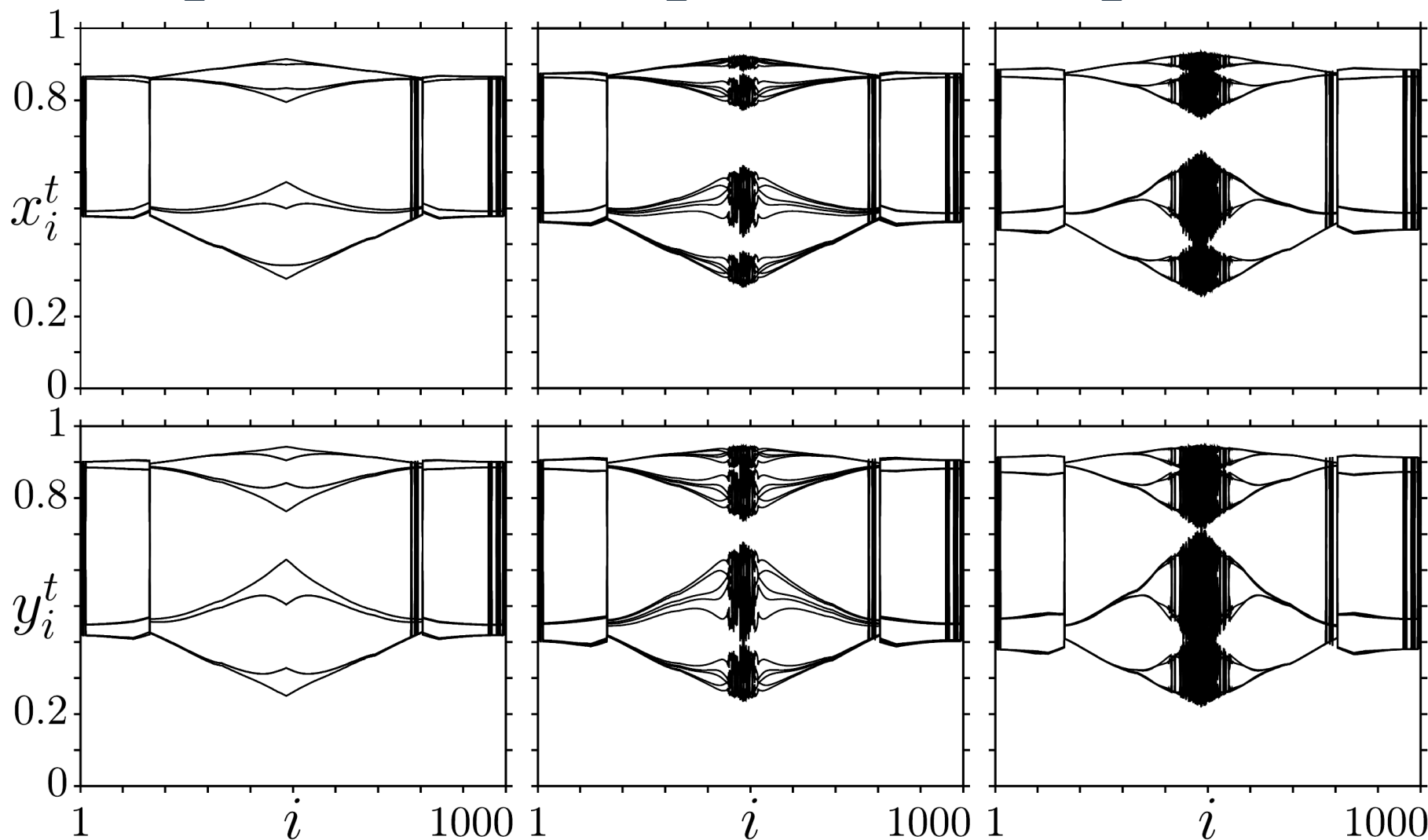
$$\gamma_{12}=\gamma=0,4$$

# Внешняя синхронизация

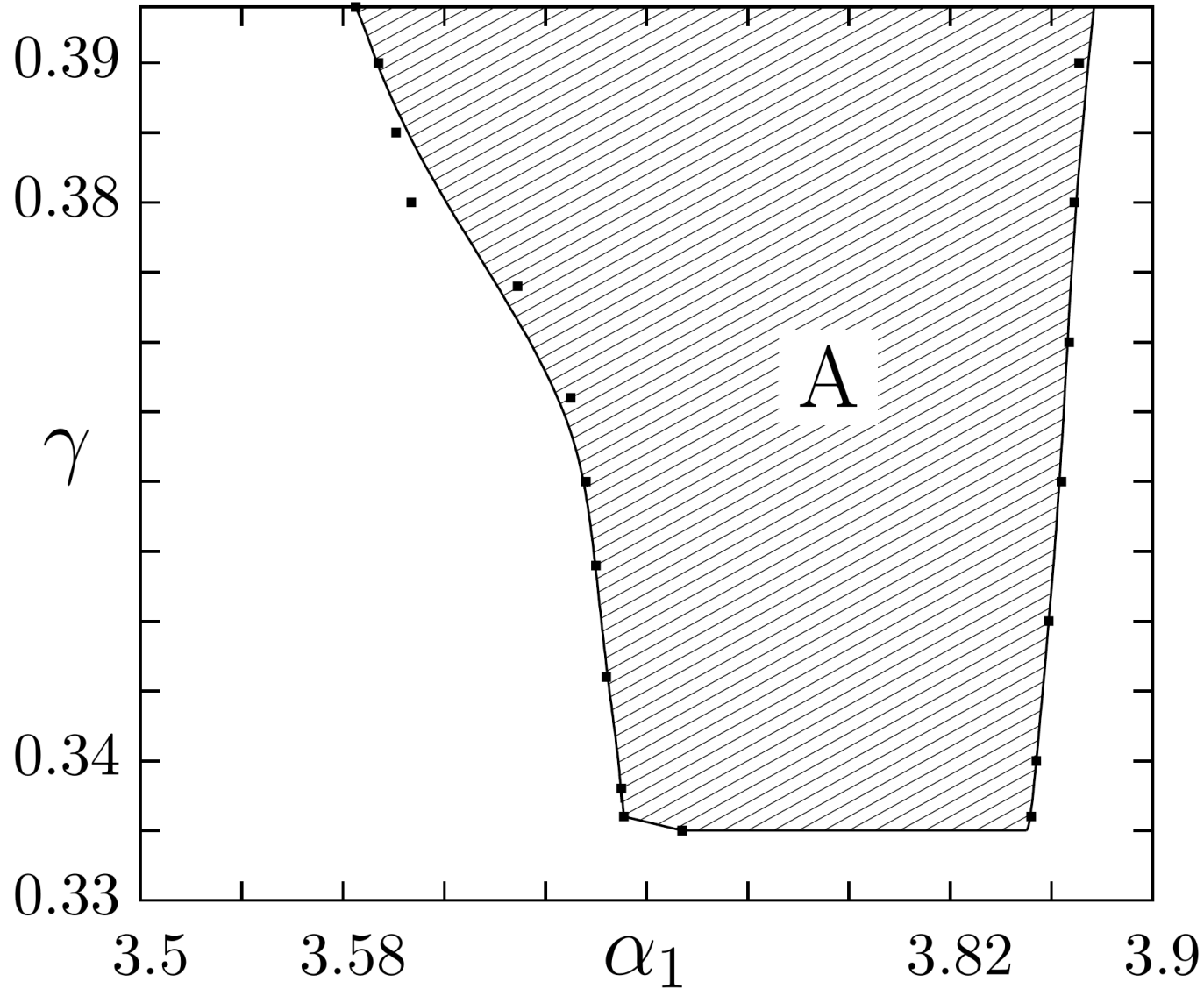
$\alpha_1 = 3,66$

$\alpha_1 = 3,7$

$\alpha_1 = 3,75$

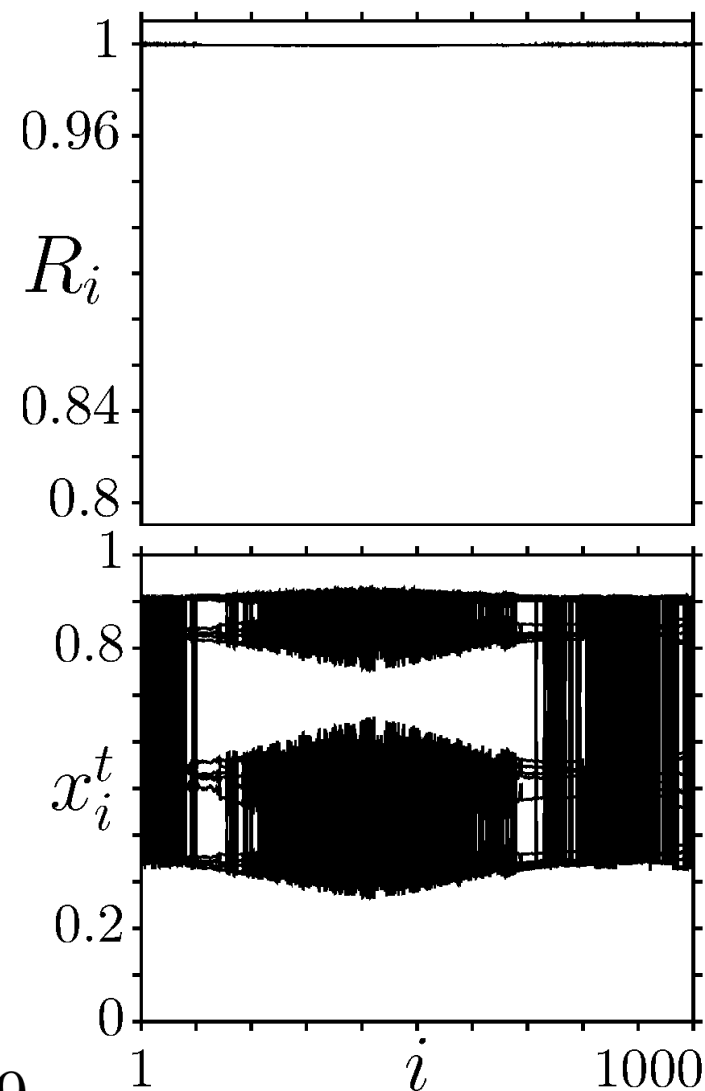
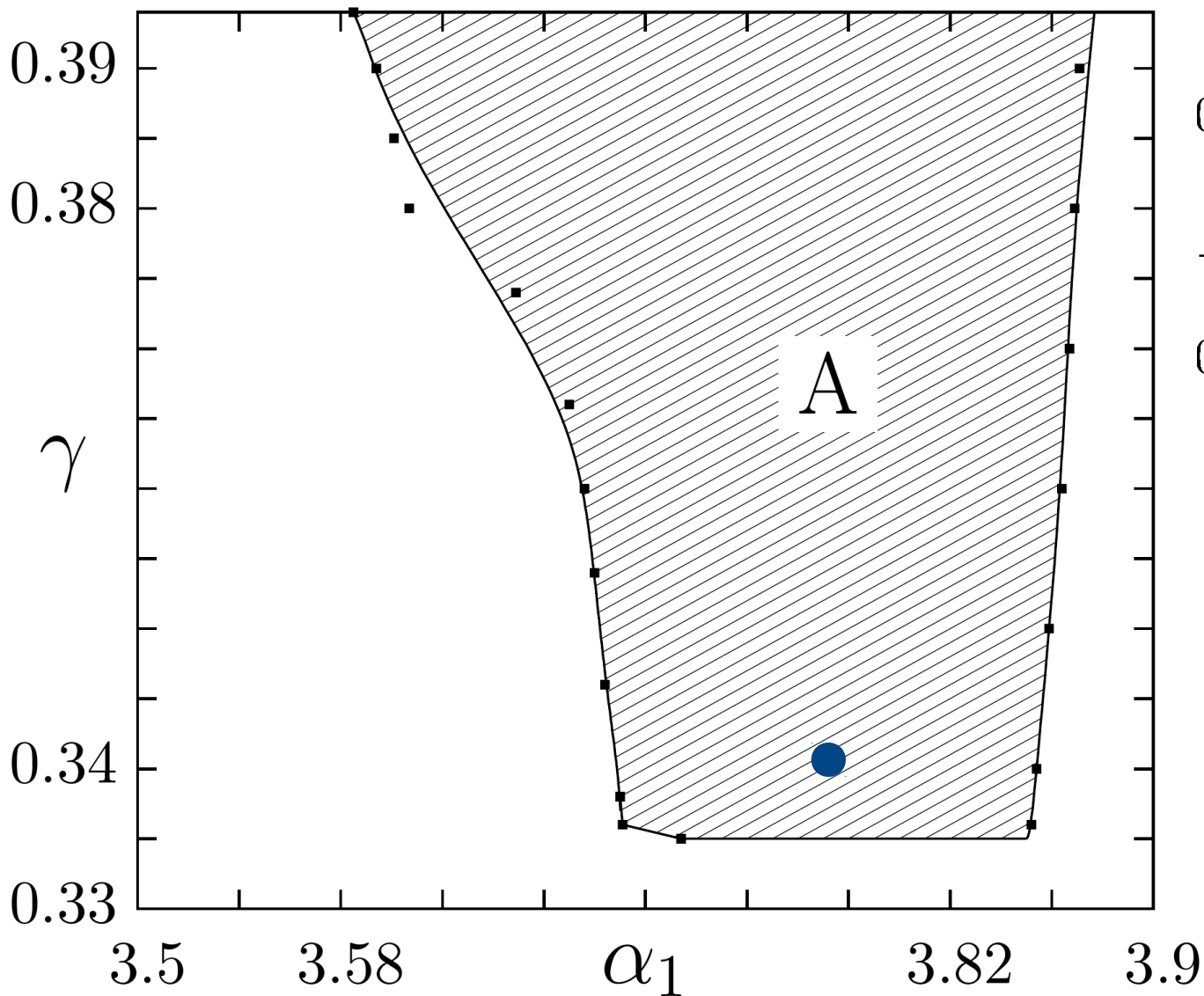


# Внешняя синхронизация

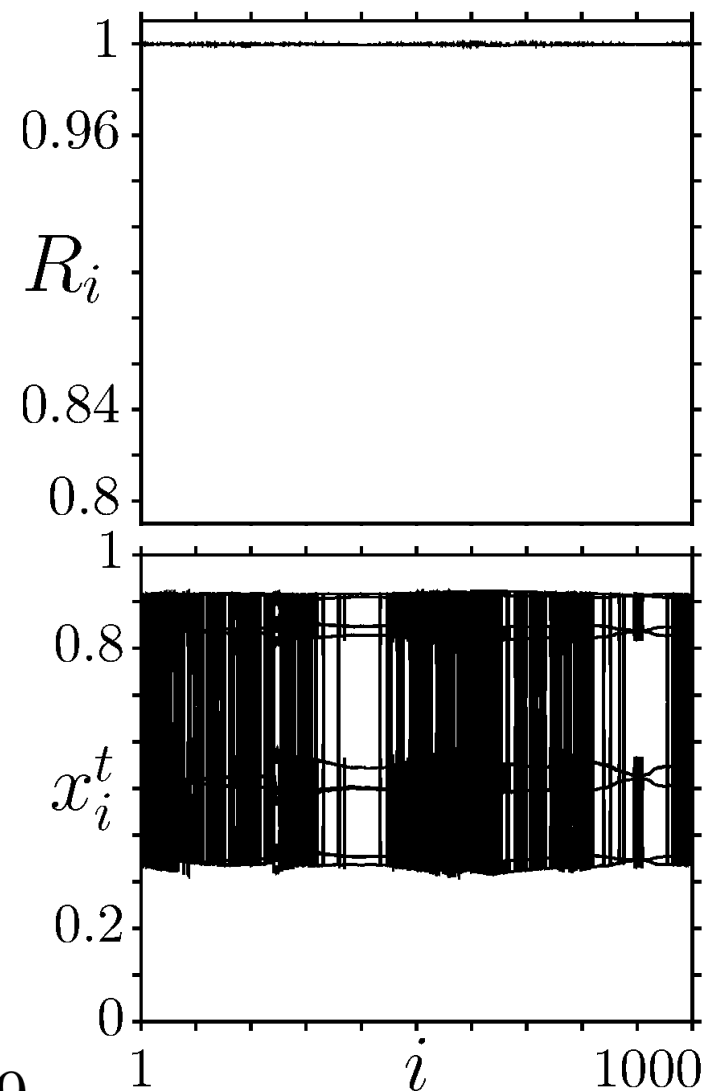
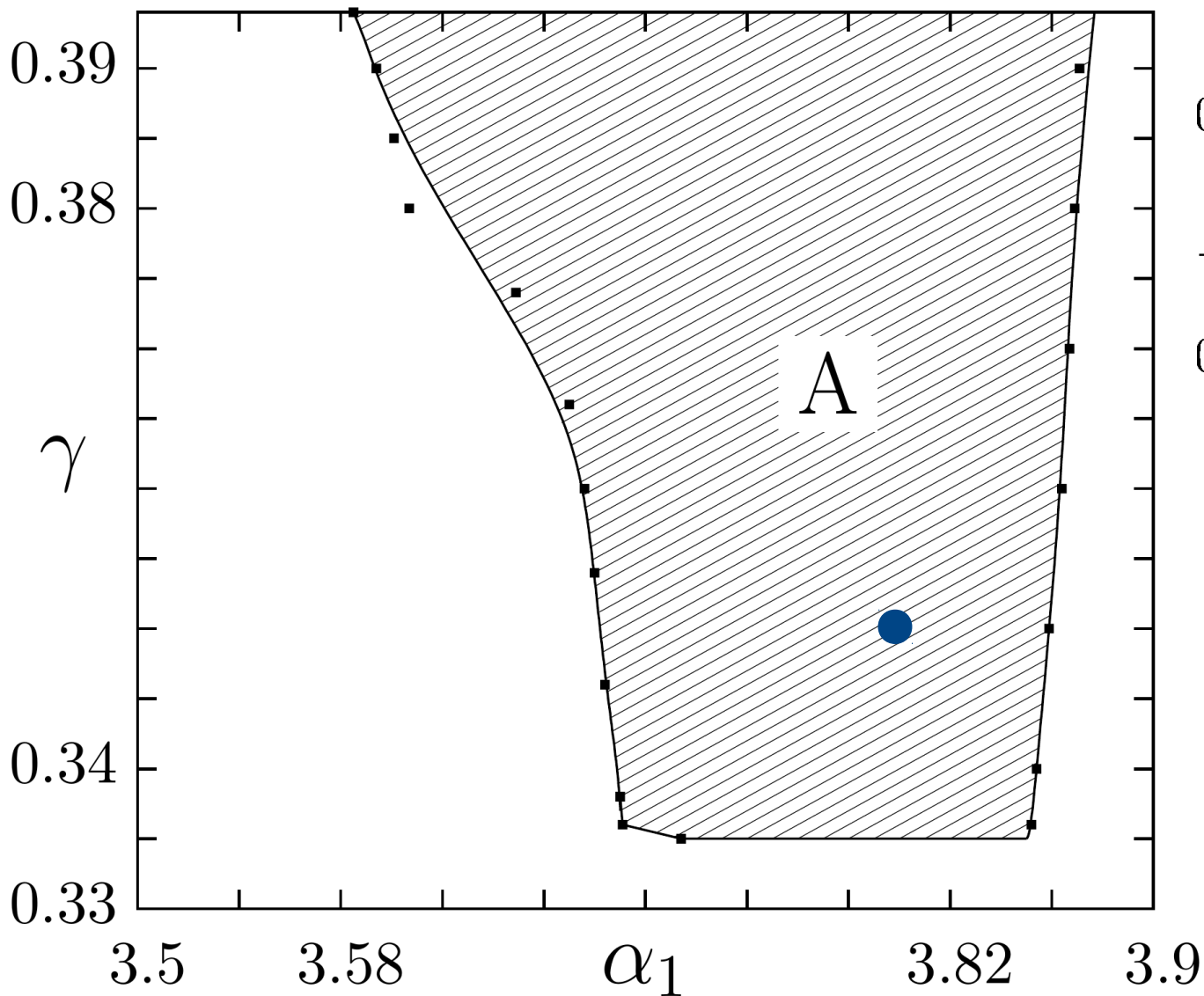




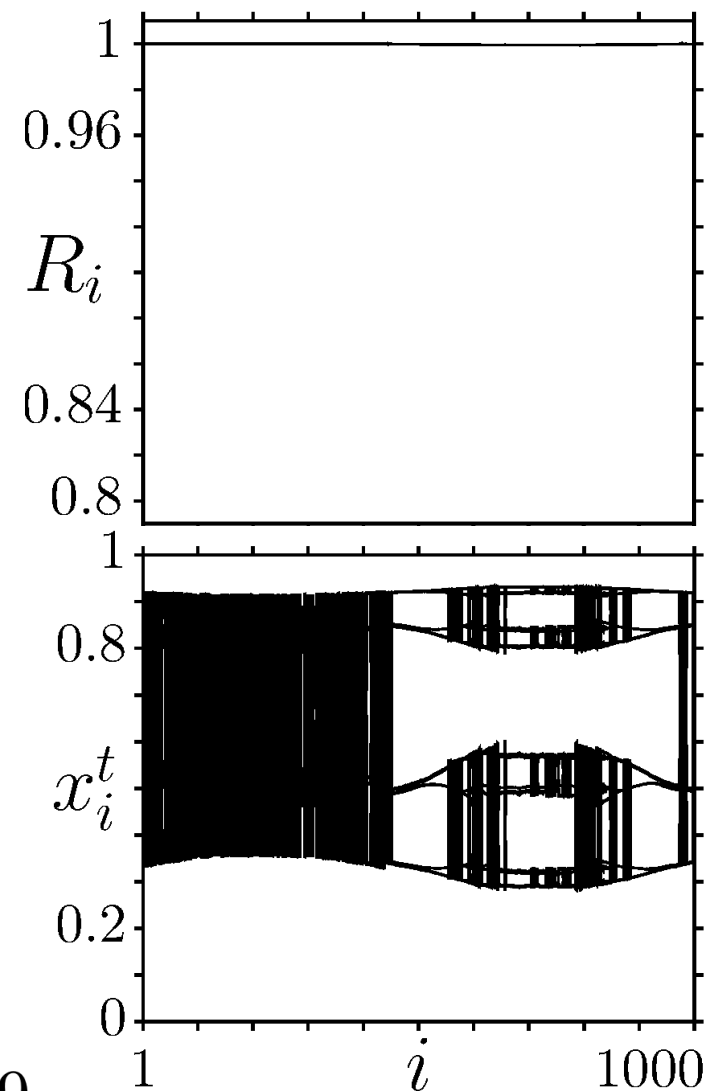
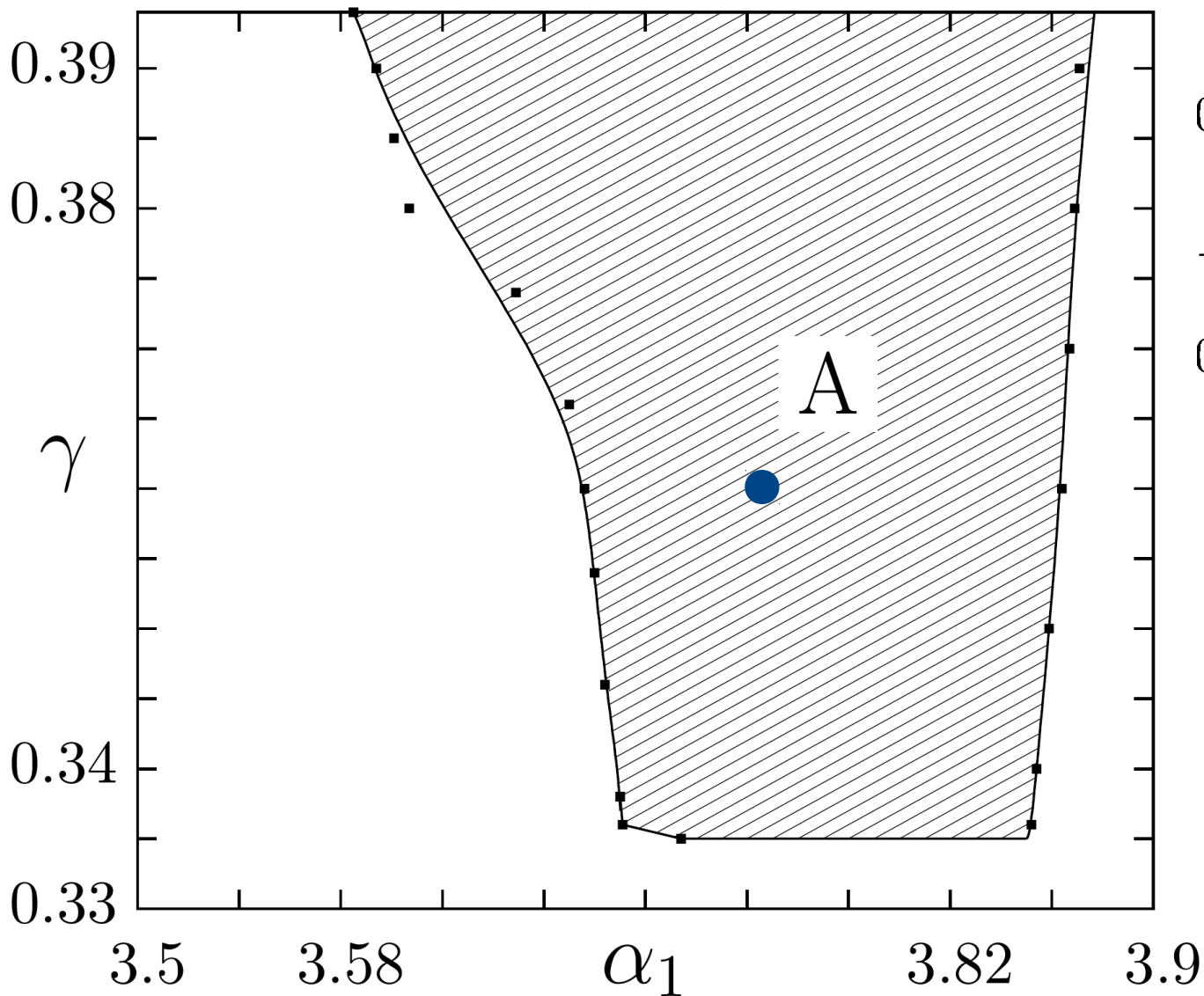
# Внешняя синхронизация при $\gamma=0,34$ и $\alpha_1=3,728$



# Внешняя синхронизация при $\gamma=0,35$ и $\alpha_1=3,783$

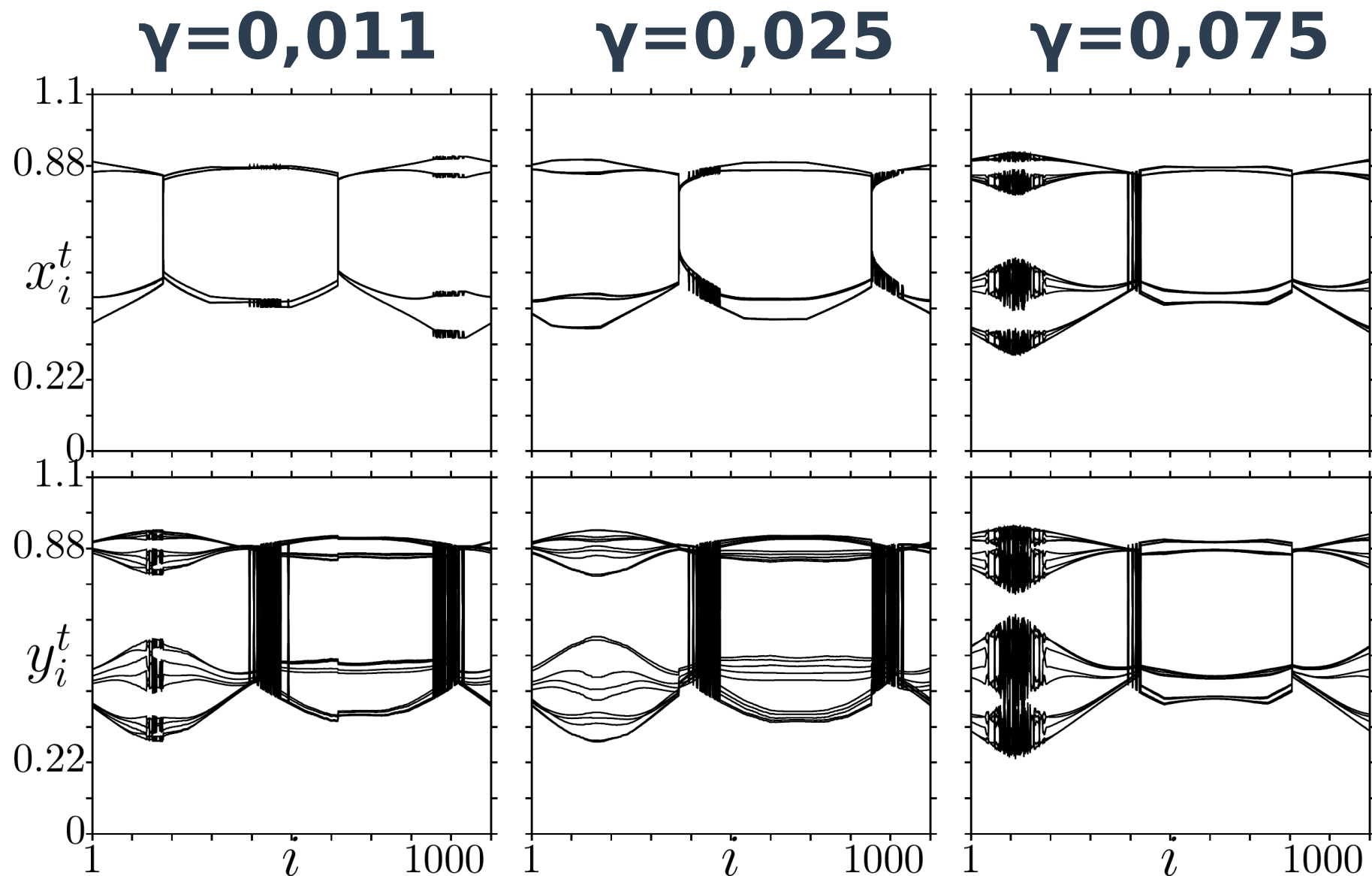


# Внешняя синхронизация при $\gamma=0,36$ и $\alpha_1=3,683$

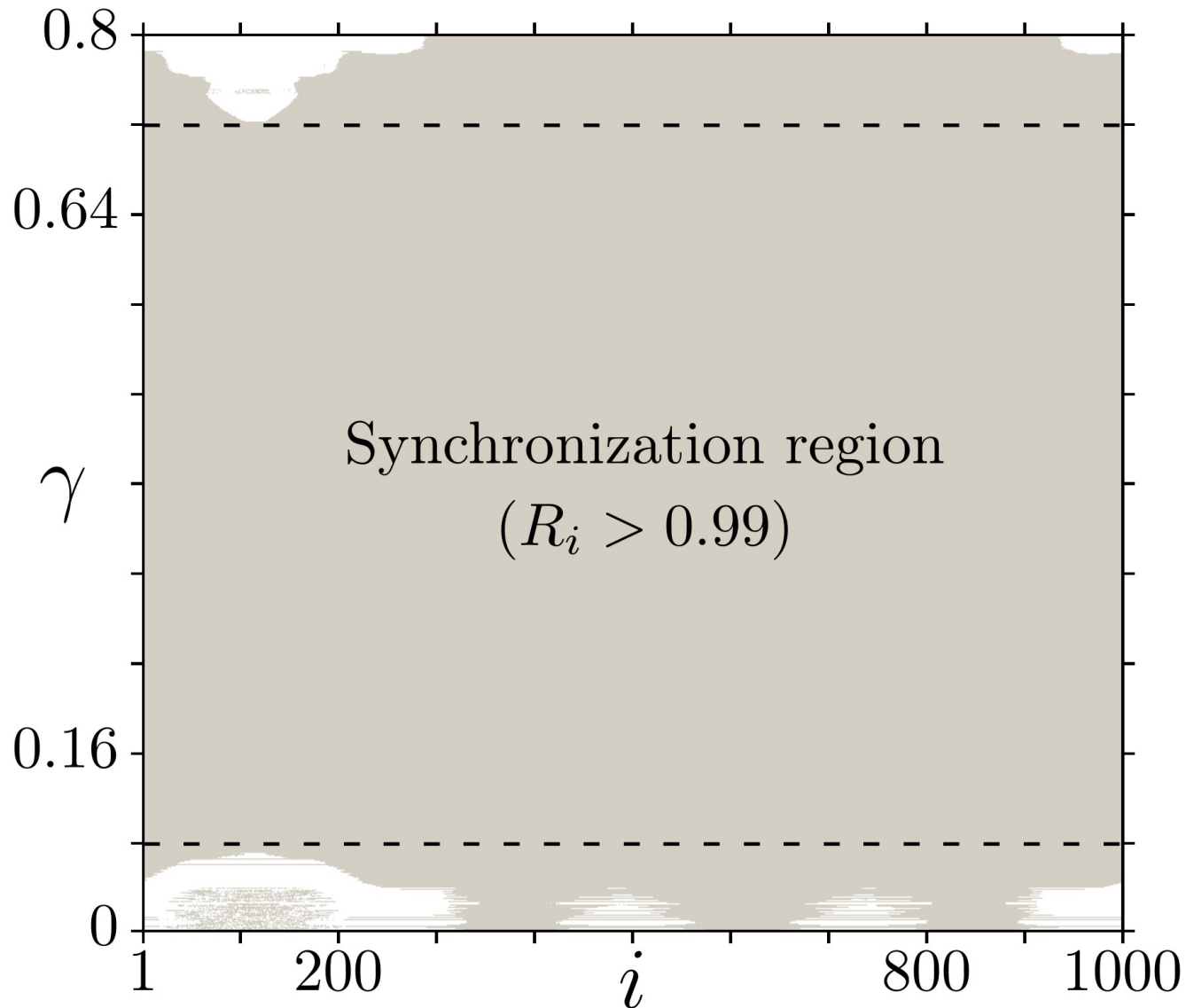




# Взаимная синхронизация



# Взаимная синхронизация



# Выводы

- Синхронизация структур имеет место в рассматриваемом ансамбле. Это, с одной стороны, подтверждается значениями коэффициентов корреляции близкими к единице и, с другой стороны, конечностью области синхронизации при варьировании параметров связи.
- В случае однонаправленной связи наблюдается внешняя синхронизация, а в случае двунаправленной — взаимная синхронизация структур.

# Список литературы

- [1] Afraimovich V. S., Nekorkin V. I., Osipov G. V., Shalfeev V. D. *Stability, Structures and Chaos in Nonlinear Synchronization Networks* // Singapore: World Scientific, 1995. — Т. 6.
- [2] Pikovsky A., Rosenblum M. G., Kurths J. *Synchronization: A Universal Concept in Nonlinear Sciences* // Cambridge: Cambridge University Press, 2001. — Т. 12.
- [3] Osipov G. *Synchronization in Oscillatory Networks* // Berlin: Springer, 2007.
- [4] Kuramoto Y., Battogtokh D. Coexistence of Coherence and Incoherence in Nonlocally Coupled Phase Oscillators // *Nonlin. Phen. in Complex Sys.* — 2002. — Т. 5, No 4. — С. 380-385.
- [5] Abrams D. M., Strogatz S. H. Chimera States for Coupled Oscillators // *Phys. Rev. Lett.* — 2004. — Т. 93. — С. 174102.
- [6] Omelchenko I., Maistrenko Y., Hövel P., Schöll E. Loss of coherence in dynamical networks: spatial chaos and chimera states // *Phys. Rev. Lett.* — 2011. — Т. 106. — С. 234102.
- [7] Zakharova A., Kapeller M., Schöll E. Chimera Death: Symmetry Breaking in Dynamical Networks // *Phys. Rev. Lett.* — 2014. — Т. 112. — С. 154101.
- [8] Semenova N., Zakharova A., Schöll E., Anishchenko V. Does hyperbolicity impede emergence of chimera states in networks of nonlocally coupled chaotic oscillators // *Europhys. Lett.* — 2015. — Т. 112. — С. 40002.
- [9] Semenova N. I., Zakharova A., Anishchenko V., Schöll E. Coherence-resonance chimeras in a network of excitable elements // *Phys. Rev. Lett.* — 2016. — Т. 117. — С. 01410.
- [10] Schöll E. Synchronization patterns and chimera states in complex networks: Interplay of topology and dynamics // *Eur. Phys. J. Spec. Top.* — 2016. — Т. 225. — С. 891-919.
- [11] Bogomolov S. A., Slepnev A. V., Strelkova G. I., Schöll E., Anishchenko V. Mechanisms of appearance of amplitude and phase chimera states in ensembles of nonlocally coupled chaotic systems // *Commun. Nonl. Sci. Numer. Simul.* — 2017. — Т. 43. — С. 25-36.
- [12] Kapitaniak T., Kuzma P., Wojewoda J., Czolczynski K., Maistrenko Y. Imperfect chimera states for coupled pendula // *Sci. Rep.* — 2014. — Т. 4. — С. 6379.
- [13] Hagerstrom A. M., Murphy T. E., Roy R., Hövel P., Omelchenko I., Schöll E. Experimental observation of group synchrony in a system of chaotic optoelectronic oscillators // *Nature Physics* — 2012. — Т. 8. — С. 658-661.
- [14] Rattenborg N. C., Amlaner C. J., Lima S. L. Behavioral, neurophysiological and evolutionary perspectives on unihemispheric sleep // *Neurosci. Biobehav. Rev.* — 2000. — Т. 24. — С. 817-842.
- [15] Boccaletti S., Bianconi G., Criado R., del Genio C. I., Gómez-Gardeñesi G., Romanced M., Sendiña-Nadal I., Wang A., Zanin M. The structure and dynamics of multilayer networks // *Phys. Reports.* — 2014. — Т. 544. — С. 1-122.
- [16] Ghosh S., Kumar A., Zakharova A., Jalan S. Birth and death of chimera: Interplay of delay and multiplexing // *Europhys. Lett.* — 2016. — Т. 115. — С. 60005.
- [17] Wu Y., Li C., Wu X., Kurths J. Generalized synchronization between two different complex networks // *Commun. Nonl. Sci. Numer. Simul.* — 2012. — Т. 17. — С. 349-355.
- [18] Andrzejak R. G., Ruzzene G., Malvestio I. Generalized synchronization between chimera states // *Chaos.* — 2017. — Т. 27. — С. 053114.
- [19] Bukh A., Rybalova E., Semenova N., Strelkova G., Anishchenko V. New type of chimera and mutual synchronization of spatiotemporal structures in two coupled ensembles of nonlocally coupled interacting chaotic maps // *Chaos.* — 2017. — Т. 27. — С. 111102.

## Спасибо за внимание