

■ **ДИСКУССИЯ** ■

Жизнь как негэнтропийный информационный процесс

КРАТКИЕ КОММЕНТАРИИ К СТАТЬЕ АЛЕКСЕЯ КРУШИНСКОГО «ПЛАТА ЗА РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ: БИОФИЗИЧЕСКИЕ ПРЕДПОСЫЛКИ И ВОЗМОЖНЫЕ ЭВОЛЮЦИОННЫЕ ПОСЛЕДСТВИЯ»

Александр Ратушняк

Лаборатория биомедицинской информатики, Конструкторско-технологический институт вычислительной техники СО РАН

Аннотация. Представленный в статье «Плата за решение задачи: биофизические предпосылки и возможные эволюционные последствия» анализ многоуровневых информационных систем только на верхнем уровне их организации представляется важным, но недостаточным. Для понимания принципов и механизмов работы таких систем необходимо интегрировать представления об эволюционных истоках молекулярных информационных процессов, лежащих в основе базовых функций понижения внутренней энтропии за счет предсказания.

Контактная информация: Александр Савельевич Ратушняк, ratush@kti.nsc.ru; ул. Акад. Ржанова 6, 630090 Новосибирск, Россия.

Ключевые слова: эволюция когнитивных функций, молекулярные информационные процессы, предсказание, опережающее отражение, информация, энтропия

© 2015 Александр Савельевич Ратушняк. Данная статья доступна по лицензии [Creative Commons “Attribution”](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/) («Атрибуция») 4.0. всемирная, согласно которой возможно неограниченное распространение и воспроизведение этой статьи на любых носителях при условии указания автора и ссылки на исходную публикацию статьи в данном журнале в соответствии с канонами научного цитирования.

Статья поступила в редакцию 25 марта 2015 г. Принята в печать 26 марта 2015 г.

Статья посвящена анализу физических основ процессов в живой природе. Компактное изложение таких основ представляется весьма полезным. При этом в статье рассматривается в основном мозг как самый верхний уровень пирамиды функциональных систем, на основе которых функционирует любой живой организм. При анализе работы мозга рассматриваются, как правило, высшие когнитивные функции. Эти функции анализируются с биофизической точки зрения с возможностью описания работы мозга при помощи таких физических величин, как энергия и энтропия. По сути, эта задача является частью более общей проблемы понимания физических основ жизни и не решается отдельно от нее. В данной работе проведен достаточно интересный обзор существующих представлений и оригинальные интерпретации ряда из них.

Анализ работы многоуровневых информационных систем только на верхнем уровне их организации представляется недостаточным. Для понимания принципов и механизмов работы таких систем необходимо представление об эволюционных истоках возникновения их базовых функций. Возникновение живых систем стало возможным в силу наличия зоны устойчиво-

сти термодинамически открытых систем, внутренняя энтропия которых понижается на основе информационного процесса, базирующегося на предсказательных свойствах. Именно функция предсказательности является главным отличительным свойством любого живого организма. Эта функция неявно присутствует даже в простой модельной системе — «демоны Максвелла». Энтропия в одном из отсеков этой модели понижается в результате детекции (рецепции) перемещающейся частицы, анализа ее энергии и предсказания ее будущего положения в пространстве для открытия канала между отсеками в нужное время и в нужном месте. Вероятно, на основе примерно такого принципа возникли первичные молекулярные системы, послужившие основой эволюционного процесса. Такие молекулярные микробиоты, возникшие, по существующим представлениям, почти 4 млрд лет назад, вероятно, совершенствовались и усложнялись 3.5 млрд лет до кембрийского периода и только примерно 500 млн лет назад оказались способными к объединению в сообщества, к созданию многоклеточных организмов. Это привело к специализации, к появлению клеток, ориентированных на обработку информации, и, наконец, к образо-

ванию специализированного органа — мозга. Но, как и у первичных биот, основная функция этой системы осталась прежней. Уменьшение внутренней энтропии на основе предсказания. При этом время, на которое такое предсказание распространяется, естественно, увеличилось за счет количественного прироста рецепторных и обрабатывающих информацию структур. В процессе эволюции многоклеточных организмов усложнялись и совершенствовались опять же и прежде всего именно внутриклеточные молекулярные системы (например, Babosa-Morais et al., 2012). Именно поэтому представляется, что реальный анализ физических свойств живых информационных систем необходимо вести, ориентируясь на простые молекулярные конструкции, осуществляющие информационные процессы, связанные с понижением энтропии на основе предсказания. В качестве таких конструкций можно рассматривать появившиеся данные и предположения о функциях, заложенных в рибосомальном аппарате (Root-Bernstein M., Root-Bernstein R., 2015). Однако в таком направлении можно рассматривать и многие другие клеточные конструкции, например специализированные рецептор-эффекторные комплексы синапсов (Nowak et al., 1984; Проскура и др., 2014; Ratushnyak et al., 2014).

При таком подходе не кажется нерешаемой задача о некотором «запасе», избытке упорядоченности, который должен быть в стартовой точке развития таких систем. Предельная простота таких молекулярных конструкций подразумевает и возможность их флуктуационного возникновения уже с некоторым «запасом». При этом такие системы должны обладать возможностью активно накапливать упорядоченность на основе, например, ассоциативного запоминания, создания ассоциированных молекулярных систем трансформируемых под постоянным «контролем» обратными связями с внешней средой. Оказавшись благодаря этому в зоне устойчивости, они могли и дальше накапливать упорядоченность, всегда балансируя между ее затратами на приобретение информации и расходом.

Взаимодействия в клетке множества молекулярных систем (с размерностью, вероятно, значительно превосходящей сейчас предполагаемую), каждая из которых работает по принципам, заложенным миллиарды лет назад, приводит к возникновению новых интегративных качеств, не свойственных отдельным компонентам, так называемых эмерджентных — системных качеств и функций. Объединение клеток в организме, возникновение их специализации и формирование мозга приводит к появлению функций, ориентированных на решение задач, связанных с долгосрочным предсказанием, памятью, вниманием, психомоторной координацией, речью, гнозисом, праксисом, счетом, мышлением, ориентацией, планированием и контролем высшей психической деятельности и др. (Роуз, 1995; Рамачандран, 2014).

На основе понимания физики этих молекулярных процессов представляется возможным создать «единую теорию жизни» и теорию работы мозга как многоуровневого комплекса базовых молекулярных элементов, работающих на основе принципа понижения внутренней энтропии за счет предсказания. Несомнен-

ный вклад в решение этих задач вносит статья Алексея Крушинского «Плата за решение задачи: биофизические предпосылки и возможные эволюционные последствия».

Литература

- Проскура А. Л., Вечканова С. О., Запара Т. А., Ратушняк А. С. Реконструкция молекулярного интерактома в системе глутаматных синапсов // Вавиловский журнал генетики и селекции. 2014. Vol. 18. No. 4/2. P. 1205–1218.
- Рамачандран В. Мозг рассказывает. Что делает нас людьми. М.: Карьера Пресс, 2014.
- Роуз С. Устройство памяти. От молекул к сознанию. М.: Мир, 1995.
- Barbosa-Morais N. L., Irimia M., Pan Q., Xiong H. Y., Gueroussov S., Lee L. J., Slobodeniuc V., Kutter C., Watt S., Çolak R., Kim T., Misquitta-Ali C. M., Wilson M. D., Kim P. M., Odom D. T., Frey B. J., Blencowe B. J. The evolutionary landscape of alternative splicing in vertebrate species // Science. 2012. Vol. 338. No. 6114. P. 1587–1593. doi:10.1126/science.1230612
- Nowack L., Bregestovski P., Ascher P., Herbert A., Prochiantz A. Magnesium gates glutamate-activated channels in mouse central neurons // Nature. 1984. Vol. 307. P. 462–465. doi:10.1038/307462a0
- Proskura A., Vechkapova S., Zapara T., Ratushnyak A. Reconstruction of the molecular interactome in the system of glutamatergic synapses // Vavilovskii Zhurnal Genetiki i Selekcii. 2014. Vol. 18. No. 4/2. P. 1205–1218.
- Root-Bernstein M., Root-Bernstein R. The ribosome as a missing link in the evolution of life // Journal of theoretical biology. 2015. Vol. 367. P. 130–158. doi:10.1016/j.jtbi.2014.11.025
- Sucher N. J., Awobuluyi M., Choi Y.-B., Lipton S. A. NMDA receptors: from genes to channels // Trends in pharmacological sciences. 1996. Vol. 17. No. 10. P. 348–355. doi:10.1016/S0165-6147(96)80008-3

discussion

Life as a Negentropy Information Process

BRIEF COMMENTS ON ALEXEI KRUSHINSKY'S "THE COST OF PROBLEM SOLVING: BIOPHYSICAL BACKGROUND AND PROBABLE EVOLUTIONARY CONSEQUENCES"

Aleksandr Ratushniak

Laboratory of Biomedical Informatics, Design Technological Institute of Digital Techniques, Siberian Branch of Russian Academy of Sciences

Abstract. In the article "The cost of problem solving: Biophysical background and probable evolutionary consequences" a multilevel analysis of information systems is carried out only at the top level of their organization, which is important but not sufficient. To understand the principles and mechanisms of the functioning of such systems, it is necessary to integrate ideas about the evolutionary origins of molecular information processes underlying the basic functions for reducing the internal entropy due to prediction.

Correspondence: Aleksandr Ratushniak, ratush@kti.nsc.ru, Acad. Rzhanova str., 6630090 Novosibirsk, Russia

Keywords: cognitive evolution, molecular information processes, prediction, anticipatory reflection, information, entropy, negentropy

Copyright © 2015. Aleksandr Ratushniak. This is an open-access article distributed under the terms of the [Creative Commons Attribution License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/) (CC BY), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided that the original author is credited and that the original publication in this journal is cited, in accordance with accepted academic practice.

Received 25 March 2015, accepted 26 March 2015.

References

- Barbosa-Morais, N.L., Irimia, M., Pan, Q., Xiong, H. Y., Gueroussov, S., Lee, L. J., Slobodeniuc, V., Kutter, C., Watt, S., Çolak, R., Kim, T., Misquitta-Ali, C. M., Wilson, M. D., Kim, P. M., Odom, D. T., Frey, B. J., & Blencowe, B. J. (2012). The evolutionary landscape of alternative splicing in vertebrate species. *Science*, 338(6114), 1587–1593. [doi:10.1126/science.1230612](https://doi.org/10.1126/science.1230612)
- Nowack, L., Bregestovski, P., Ascher, P., Herbert, A., & Prochiantz, A. (1984). Magnesium gates glutamate-activated channels in mouse central neurons. *Nature*, 307, 462–465. [doi:10.1038/307462a0](https://doi.org/10.1038/307462a0)
- Proskura, A., Ratushnyak, A., & Zapara, T. (2014). The protein-protein interaction networks of dendritic spines in the early phase of long-term potentiation. *Journal of Computer Science and Systems Biology*, 7, 040–044. [doi:10.4172/jcsb.1000136](https://doi.org/10.4172/jcsb.1000136)
- Proskura, A., Vechkapova, S., Zapara, T., & Ratushnyak, A. (2014). Reconstruction of the molecular interactome in the system of glutamatergic synapses. *Vavilovskii Zhurnal Genetiki i Selekcii*, 18(4/2), 1205–1218.
- Ramachandran, V. S. (2012). *The tell-tale brain: A neuroscientist's quest for what makes us human*. New York, London: WW Norton & Company.
- Root-Bernstein, M., & Root-Bernstein, R. (2015). The ribosome as a missing link in the evolution of life. *Journal of theoretical biology*, 367, 130–158. [doi:10.1016/j.jtbi.2014.11.025](https://doi.org/10.1016/j.jtbi.2014.11.025)
- Rose, S. (1993). *The making of memory: From molecules to mind*. London: Bantam Books.
- Sucher, N. J., Awobuluyi, M., Choi, Y.-B., & Lipton, S. A. (1996). NMDA receptors: from genes to channels. *Trends in pharmacological sciences*, 17(10), 348–355. [doi:10.1016/S0165-6147\(96\)80008-3](https://doi.org/10.1016/S0165-6147(96)80008-3)