

Новые объекты психологических исследований и перспективы развития науки¹

Греченко Татьяна Николаевна

Институт психологии Российской академии наук, Москва, Россия

e-mail: grecht@mail.ru

Харитонов Александр Николаевич

Институт психологии Российской академии наук, Москва, Россия

e-mail: ankhome47@list.ru

Орлеанский Владимир Константинович

Институт микробиологии им. С.Н. Виноградского Российской академии наук, Москва, Россия

e-mail: orleanor@mail.ru

Жегалло Александр Владимирович

Институт психологии Российской академии наук, Москва, Россия

e-mail: zhegs@mail.ru

Аннотация. В статье приведены факты, показывающие, что введение новых объектов в корпус психологических исследований имеет большое значение для расширения знаний об эволюционном генезе многих психических явлений. Такими новыми объектами исследований являются микроорганизмы, начиная с прокариот.

Ключевые слова: психика, поведение, эволюция, прокариоты, осцилляторы

New objects of psychological research: prospects for progress of psychological science

Grechenko Tatiana Nikolaevna

Institute of Psychology, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

e-mail: grecht@mail.ru

¹ Исследование поддержано грантом Российского научного фонда [проект №14-28-00229], Институт психологии РАН.

Kharitonov Aleksander Nikolaevich

Institute of Psychology, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

e-mail: ankhome47@list.ru

Orleansky Vladimir Konstantinovich

Institute of Microbiology named after S.N. Vinogradsky, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

e-mail: orleanor@mail.ru

Zhegallo Aleksander Vladimirovich

Institute of Psychology, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

e-mail: zhegs@mail.ru

Abstract. Introduction of new objects into the corps of psychological research expands our knowledge about the evolutionary genesis of many phenomena of mind. We discuss some empirical facts of microbial life beginning with prokaryotes that may cast new light on the problem.

Keywords: mind, behaviour, evolution, prokaryotes, oscillators

До недавнего времени психологическая наука основное внимание уделяла изучению психики высокоразвитых биологических организмов – человека или эволюционно продвинутых животных. Большинство исследователей принималось, что организмы, не имеющие развитой нервной системы, не имеют и психики. Однако ряд авторов указывает на возможность иного понимания происхождения этого свойства живых организмов и, соответственно, предлагаются новые объекты для психологических исследований [9; 17; 19]. В результате возникло научное направление, которое развивает представление о психике как свойстве любого живого организма, в том числе и прокариот [2; 10; 18; 20]. Эксперименты, выполненные на различных представителях микромира живого, и результаты анализа электрофизиологических явлений во время выполнения различных задач, позволили выявить качества, которые дают основания считать их полноправными объектами психологических исследований.

Добиологический этап эволюции органических образований – «комочков преджизни» [10] – насчитывал сотни миллионов лет. Погибали менее устойчивые к условиям существования – например, в среде вулканических

горячих озер – сохранялись, выживали более приспособленные, пока процесс не привел к возникновению первых живых организмов – бактерий. Существующие на сегодняшний день палеонтологические данные также свидетельствуют о том, что бактерии были первой формой ранней жизни на Земле [7]. Время их появления – не менее 3,7 млрд. лет назад. Нас интересуют возможные механизмы выживания (в том числе и приспособительного поведения), характеризовавшие жизнь с момента ее появления до развития многоклеточных эукариот.

Приспособительное поведение бактерий. Объект психологии — это реализация различных функций, свойств и качеств психики. Поведение рассматривается как одно из проявлений функций психики. Оно является результатом процессов получения, передачи, обработки информации, ее анализа, интеграции, принятия решений, выбора из альтернатив и реализации определенных действий. В ходе эволюции выживают организмы, которые могут быстро адаптироваться к окружающей действительности. Их эволюция тесно связана с развитием системы регуляций и ее механизмов. Функциональной основой механизмов является химическая сигнализация. Уже у одноклеточных имеется набор химических сигналов, обеспечивающих их жизнедеятельность и ориентацию в пространстве и времени. (В дальнейшем эволюция химической сигнализации шла по пути развития внутриклеточных систем ее регуляции).

Цианобактерии. Цианобактерии – одноклеточные и многоклеточные (нитчатые) микроорганизмы, образующие сообщества разной формы: колонии, пленки, маты. Они являются древнейшими живыми существами Земли. Очевидно, что эволюционная стратегия цианобактерий обеспечивала исключительно высокую адаптивность, так как способность к накоплению опыта появляется в эволюции на самых ранних ступенях развития [16]. Эти организмы умеют преобразовывать физическую пространственную форму своего сообщества в зависимости от конкретных условий: перемещают сплетения нитей, формируют или устраняют связи и образуют органоподобные структуры, которые существуют во время выполнения функции [15; 18]. Их древнейшие сообщества (как и современные) образовывали сложные системы, управлявшие собственным морфогенезом, что позволяло им синхронизированно осуществлять целенаправленное индивидуальное (отдельные нити) и коллективное поведение. Фактически, именно цианобактерии создали первые функциональные объединения, которые стали прообразами социальных отношений у более развитых живых существ. При пространственных перемещениях поведение отдельных нитей определяется

целями сообщества, а наблюдаемые явления связаны с формированием социальных приоритетов, часто входящих в противоречие с необходимостью индивидуального выживания [3; 14].

В морфогенезе цианобактериальных сообществ интересен аспект динамики и изменения свойств в процессе преобразования (например, увеличения численности микроорганизмов, типов морфогенетических структур и др.). Характеризуя сообщества цианобактерий, исследователи используют термин “супермозг”, имея в виду сложность поведения таких образований [2; 18; 20]. Морфогенез сообщества идет постепенно, проходя до некоторой финальной стадии несколько этапов [12], которые формально соответствуют промежуточным состояниям, свойственным развитию нервной системы многоклеточных животных [5].

Социальное поведение и коммуникации. Социальная жизнь общества – это деятельность субъектов, направленная на сохранение и развитие условий существования. Исследования показывают, что общественный образ жизни характерен для микроорганизмов [3; 9], например, нитчатые цианобактерии ведут преимущественно совместный образ жизни [15]. Одним из проявлений коллективного взаимодействия в микробных сообществах является формирование надклеточных структур – образований, важных для жизни как сообщества как целого. Координированное поведение микроорганизмов проявляется в многообразных формах – они действуют совместно для выполнения разных задач, например, для коллективной агрессии, чтобы обеспечить доступ сообщества к пищевым ресурсам. В зависимости от конкретных условий прокариоты, например, цианобактерии изменяют вид своего сообщества, имеющего обычно форму пленки, создавая различные морфологически оформленные структуры. Построение таких структур требует согласования деятельности многих членов сообщества. Опыты показали, что индивидуальные цианобактериальные нити кооперируются и общаются, их социальное поведение сравнимо с социальностью многоклеточных существ [2]. Разнообразие их поведения, требующего координированных усилий многих членов сообщества, предполагает информативные коммуникационные связи. Будучи самой ранней формой жизни на Земле, в естественных условиях они общаются при помощи химической и физической коммуникации [2; 6; 20]. Живя в социальной среде, цианобактерии способны различать направленность факторов среды и оценивать изменение условий, антиципировать их возможные негативные последствия для сообщества в целом [16; 17]. Это указывает на способность цианобактерий «принимать решения» и распределять функции в процессе их выполнения. Изучение механизмов, организующих

постановку задачи, и роли электрических явлений как одного из формообразующих факторов в социальном процессе при решении задачи, общей для коллектива, выполнено в наших экспериментах на прокариотах – нитчатых цианобактериях.

Специализация. Ключевой особенностью социальных существ является «разделение труда». Показано, что разделение труда и специализация связаны с экспрессиями определенных генов. В последние годы молекулярные и генетические исследования механизмов сложного социального поведения выполняются не только на насекомых (преимущественно на пчелах), но и на микроорганизмах. Применение методов, определяющих экспрессию генов, позволило соединить функции конкретных генов с некоторыми видами социального поведения. У дрожжей из 6000 генов для выживания абсолютно необходимы только 1000, а все остальные нужны для борьбы с трудностями.

Бактериальные клетки в биосоциальных системах специализированы по функциям, а часто и морфологически дифференцированы [9]. Наблюдения за изменениями цианобактериальной биопленки показывают, что члены сообщества выполняют разные функции – нити различных цианобактерий включают гетероцисты (клетки которых усваивают азот из воздуха), споры (средство размножения) и клетки, которые взяли на себя функцию ветвления нити. Таким образом, уже на бактериальном уровне эволюции природа заложила специализацию клеток бактериального мира. Анализируя видеофильмы об агрессивном поведении двух сообществ цианобактерий в борьбе за жизненное пространство, исследователи различают «лидеров», и ведомых, функции которых в этих столкновениях различны [9; 15]. Наблюдения за жизнью микроорганизмов показали, что такие стратегии поведения как альтруизм и эгоизм проявляются уже на ранних этапах эволюции живых существ. Ярким примером является создание плодовых тел (например, скоплением социальных амеб), конечным результатом которого является сохранение вида [8].

Социальные отношения между клетками разных видов. Когда 2-3 различных вида оказываются вместе, в мире бактерий отмечены следующие особенности взаимоотношений: нейтралитет, обоюдная польза, коллективизм, конкуренция, антагонизм, паразитизм [11]. Проявление нейтралитета микробиологи наблюдают, когда чистые рабочие культуры преднамеренно загрязняются, и пришельцы и культура растут вместе. При определенном сочетании культур, цианобактерии показали увеличение фотосинтеза, а полученная смесь - усиление антагонистических свойств.

Ориентировочно-исследовательское поведение. Многочисленные эксперименты, направленные на изучение особенностей активности людей и животных, показали, что ориентировочно-исследовательское поведение является преддверием любого поведенческого акта, начальной фазой любого действия. К исследовательскому поведению относят активность, направленную на изучение окружающей среды и на поиск свойств, узнавание которых является врожденным. Именно поэтому ориентировочные реакции должны быть присущи живым организмам раннего уровня эволюции. Благодаря этой форме взаимоотношения со средой приобретаются знания, необходимые для адаптации к изменениям окружающего мира. Удивительное разнообразие спонтанного и выученного поведения обнаружено у одноклеточных эукариот – инфузорий *Paramecia caudatum*. Эти одноклеточные эукариоты, имеющие ядро и митохондрии, появились, вероятно, около 2,5 млрд. лет назад. *Paramecium* – род микроскопических (размер около 100 мкм) одноклеточных организмов, ведущих активный образ жизни. Показано, что парамеции имеют набор движений, позволяющий им осуществлять не менее 10 видов поведенческих реакций. Среди них реакция избегания, реакция ускорения плавательных движений, реакция «замирания» (отсутствие движения), специфические движения в контакте с ограничивающей поверхностью. Комбинации этих видов активности позволяют парамециям решать самые разные двигательные задачи, связанные с поисками питания, избегания опасностей, противодействия хищникам, преодолением препятствий и т.д. Изучение поведения инфузорий в различных ситуациях показывает, что чувствительность этих одноклеточных существ к различным свойствам окружающего мира высока – они могут различать не только ярко освещенные участки от слабоосвещенных, но и различать цвета, концентрацию определенных веществ в жидкостной среде и пр. Это означает, что они имеют довольно полную информацию о мире, в котором обитают. Доказательством этого является развитие ориентировочно-исследовательского поведения при изменении этой среды. Ориентировочные реакции возникают в результате несовпадения воспринимаемых новых сигналов с формирующимися «нервными моделями стимула», что предполагает наличие памяти [13]. Результаты экспериментов позволяют сделать вывод о том, что способность к накоплению индивидуального опыта появляется в эволюции на самых ранних ступенях развития – у организмов, не обладающих нервной системой, в частности, у парамеций [16]. Опыты на *Paramecium caudatum* показали, что появление новых свойств в окружающем их жизненном пространстве вызывает ориентировочно-исследовательское поведение. Оно выражено изменениями двигательной активности, которая у этих

микроорганизмов весьма разнообразна по форме проявления [4]. Физиологический механизм, обеспечивающий ориентировочно-исследовательское поведение, у парамеций может быть только эндоклеточным по причине одноклеточности этих организмов. Внутриклеточная регистрация электрической активности парамеций доказывает это предположение [4]. У одноклеточных существ механизм организации поведения базируется на координации эндогенных осцилляторов. Использование дифференционно-интеграционной парадигмы позволяет рассмотреть общие механизмы перехода с одного уровня эволюции на другой.

Эволюция социальности влияет на характеристики циркадианной системы. Чем сложнее внутренняя организация живого существа, тем в большей степени метаболические процессы отражаются в эндогенной ритмике, т.е. они актуализируются в электрической активности клеток и тем самым организуют (или включают) определенные системы исполнения. В наших экспериментах показано, что цианобактерии имеют чрезвычайно устойчивую эндоклеточную электрическую активность, характеризующуюся постоянством периодичности. В цианобактериальном сообществе синхронизированная электрическая активность является пусковым механизмом совместной деятельности отдельных нитей и их групп. Поскольку бактериальные биосоциальные системы характеризуются единым жизненным циклом, им проще упорядочить активность во времени, чем, например, у дрожжам. У эволюционно более продвинутых дрожжевых клеток внутриклеточная регистрация выявляет наличие сложных паттернов эндогенной активности, среди которых сложно выделить электрические процессы, выражающие циркадианные ритмы.

С нашей точки зрения эти наблюдения позволяют сформулировать гипотезу о том, что эволюционный генезис психики тесно связан с формированием живой системой структур, обеспечивавших регулятивные, когнитивные, коммуникативные и ряд других функций. Прогрессивная морфологическая индивидуализация таких функциональных структур, которая (часто лишь на очень короткое время) реализуется в ходе неэквивифинальных морфогенезов, вероятно, может указывать на один из возможных путей эволюции как психики, так и живого в целом.

Электрическая активность. Важнейшим преимуществом предлагаемых для изучения микрообъектов является возможность регистрации электрических процессов во время всех перечисленных форм реализации поведения. Такую возможность не предоставляет ни один из ранее используемых в психологических опытах объектов. Необходимо отметить, что показатели

электрической активности могут сниматься как от индивидуальных микроорганизмов, так и от их большого количества в виде полевого потенциала [6]. В результате появляется возможность анализа объективных показателей, характеризующих различные процессы жизни этих существ. Эти показатели могут помочь найти ответы на различные вопросы о том, как популяция микроорганизмов реагирует на определенные воздействия или какова динамика взаимоотношений в социуме, что представляют собой электрически выраженные «знаки», которыми обмениваются организмы, есть ли различия в электрических «кодах» команд у разных видов микроорганизмов, возможно ли взаимодействие между разными видами – существует ли единый электрически выраженный «язык»?

Что дает использование новых экспериментальных объектов? Можно выделить несколько аспектов: во-первых, это существенно для получения ответа на вопрос о наличии психики у живых существ, не имеющих нервной системы. Во-вторых, вопрос о биологических корнях многих функций психического – например, проблема интеграционно-дифференциального подхода (уровни интеграции свойств в целое), роль внешней среды, происхождение социальности, проблема происхождения эгоизма и альтруизма, специализация и (со)общество и прочее. Значительно обостряется проблема функциональной значимости определенных ритмов, которые идентифицированы в работе мозга высокоразвитых существ и известны как показатели тех или иных функциональных состояний [6]. Ранее полученные результаты приводят к идее об эволюционной консервативности основных ритмов осцилляторной электрической активности, характеризующей живые организмы разного уровня развития – от микроорганизмов до человека.

Список литературы:

1. Ben-Jacob E. Bacterial self-organization: co-enhancement of complexification and adaptability in a dynamic environment // *Philos. Trans. R. Soc. Lond. A.* 2003, Vol. 361. P. 1283–1312.
2. Ben-Jacob E., Becker I., Shapiro Y., Levine H. Bacterial linguistic communication and social intelligence // *Trends in Microbiology.* 2004. Vol. 12. № 8. P. 366–372.
3. Kuthan M., Devaux F., Janderová B., I.Slaninová Jacq C. and Palková Z. Domestication of wild *Saccharomyces cerevisiae* is accompanied by changes in

- gene expression and colony morphology // *Molecular Microbiology*. 2003. Vol. 47.№3. P. 745–754
4. Греченко Т.Н. Генез и эволюция ориентировочно-исследовательского поведения // *Психологические исследования: электрон. науч. журн.* 2013. Т. 6. № 28. С.2.
 5. Греченко Т.Н. Осцилляторы развивающегося организма // *Современная экспериментальная психология*, в 2х томах. Сер. "Интеграция академической и университетской психологии". Московский городской психолого-педагогический университет; Институт психологии РАН. Москва, 2011. С. 413-427.
 6. Греченко Т.Н., Жегалло А.В., Харитонов А.Н. Частотный анализ электрической активности микроорганизмов // *Эволюционная и сравнительная психология в России: традиции и перспективы*. Ред. А.Н.Харитонов. М.: Институт психологии РАН. 2013. С. 201.
 7. Заварзин Г.А. Современные бактерии и бактериальные сообщества, прокариотная клетка как система // *Бактериальная палеонтология*. М. Палеонтологический институт РАН. 2002. С. 6–35
 8. Новожилов Ю. К., Гудков А. В. Мусcetozoa // *Протисты*. ред. С. А. Карпов. СПб.: Наука, 2000. С. 417—450.
 9. Олескин А. В. Биосоциальность одноклеточных (на материале исследований прокариот) // *Журнал общей биологии*. 2009. Т.70. № 3. С. 225-238.
 10. Орлеанский В.К., Васильева Л.В., Зенова Г.М., Жегалло Е.А., Харитонов А.Н., Греченко Т.Н. Биовулканология и микробиология // *Восьмая международная конференция “Вулканизм, биосфера и экологические проблемы”*. Майкоп-Туапсе, 2016. С.164-166.
 11. Романова, Ю.М., Гинцбург А.Л. Бактериальные биопленки как естественная форма существования бактерий в окружающей среде и организме хозяина // *Журнал микробиологии, эпидемиологии и иммунологии*. 2011. № 3. С. 99-110.
 12. Рыбальченко О.В. Морфо-физиологические аспекты взаимодействий микроорганизмов в микробных сообществах. автореф. докт. биол. наук. СПб. 2003.
 13. Соколов Е.Н. Механизмы памяти. М: МГУ. 1969.
 14. Сумина Е. Л., Греченко Т. Н., Сумин Д. Л., Харитонов А. Н. Поведение цианобактерий в сообществе: современные наблюдения и ископаемые следы // *Материалы VII международной конференции по когнитивной науке*. Светлогорск. 2016. С.563-565

15. Сумина Е.Л. Поведение нитчатых цианобактерий в лабораторной культуре // Микробиология. 2006. Т. 75. № 4. С. 532–537.
16. Тушмалова Н.А. Основные закономерности эволюции поведения беспозвоночных // Физиология поведения. Нейробиологические закономерности. ред. А.С. Батуева. Л.: Наука, 1987. С. 236-265.
17. Филиппова Г.Г. Эволюционная зона ближайшего развития с позиции дифференционно-интеграционного подхода // Дифференционно-интеграционная теория развития. Кн. 2. ред. Н.И. Чуприкова, Е.В. Волкова. М.: Языки славянской культуры, 2014. С. 327–342.
18. Харитонов А.Н., Греченко Т.Н., Сумина Е.Л., Сумин Д.Л., Орлеанский В.К. Социальная жизнь цианобактерий // Дифференционно-интеграционная теория развития. ред. Н.И. Чуприкова и Е.В. Волкова. М.: Языки славянской культуры, 2014. Кн. 2. С. 283–302.
19. Хватов И.А. Концепция происхождения психики А.Н.Леонтьева на современном этапе развития науки // Психологические исследования: электрон. науч. журн. 2011. № 1. С. 15.
20. Шапиро Дж.А. Бактерии как многоклеточные организмы // В мире науки. 1988. № 8. С. 46–55.

References:

1. Ben-Jacob E. Bacterial self-organization: co-enhancement of complexification and adaptability in a dynamic environment // Philos. Trans. R. Soc. Lond. A. 2003, Vol. 361. P. 1283–1312.
2. Ben-Jacob E., Becker I., Shapiro Y., Levine H. Bacterial linguistic communication and social intelligence // Trends in Microbiology. 2004. Vol. 12. № 8. P. 366–372.
3. Kuthan M., Devaux F., Janderová B., I.Slaninová Jacq C. and Palková Z. Domestication of wild *Saccharomyces cerevisiae* is accompanied by changes in gene expression and colony morphology // Molecular Microbiology. 2003. Vol. 47. №3. P. 745–754
4. Grechenko T.N. Genез i jevoljucija orientirovochno-issledovatel'skogo povedenija // Psihologicheskie issledovanija: jelektron. nauch. zhurn. 2013. Т. 6. № 28. S.2.
5. Grechenko T.N. Oscilljatory razvivajushhegosja organizma // Sovremennaja jeksperimental'naja psihologija, v 2h tomah. Ser. "Integracija akademicheskoj i universitetskoj psihologii". Moskovskij gorodskoj psihologo-pedagogicheskij universitet; Institut psihologii RAN. Moskva, 2011. S. 413-427.

6. Grechenko T.N., Zhegallo A.V., Haritonov A.N. Chastotnyj analiz jelektricheskoj aktivnosti mikroorganizmov // Jevoljucionnaja i sravnitel'naja psihologija v Rossii: tradicii i perspektivy. Red. A.N.Haritonov. M.: Institut psihologii RAN. 2013. S. 201.
7. Zavarzin G.A. Sovremennye bakterii i bakterial'nye soobshhestva, prokariotnaja kletka kak sistema // Bakterial'naja paleontologija. M. Paleontologicheskij institut RAN. 2002. С. 6–35
8. Novozhilov Ju. K., Gudkov A. V. Mycetozoa // Protisty. red. S. A. Karpov. SPb.: Nauka, 2000. S. 417—450.
9. Oleskin A. V. Biosocial'nost' odnokletochnyh (na materiale issledovanij prokariot) // Zhurnal obshej biologii. 2009. T.70. № 3. S. 225-238.
10. Orleanskij V.K., Vasil'eva L.V., Zenova G.M., Zhegallo E.A., Haritonov A.N., Grechenko T.N. Biovulkanologija i mikrobiologija // Vos'maja mezhdunarodnaja konferencija “Vulkanizm, biosfera i jekologicheskie problemy”. Majkop-Tuapse, 2016. S.164-166.
11. Romanova, Ju.M., Gincburg A.L. Bakterial'nye bioplenki kak estestvennaja forma sushhestvovaniya bakterij v okruzhajushhej srede i organizme hozjaina // Zhurnal mikrobiologii, jepidemiologii i immunologii. 2011. № 3. S. 99-110.
12. Rybal'chenko O.V. Morfo-fiziologicheskie aspekty vzaimodejstvij mikroorganizmov v mikrobnyh soobshhestvah. avtoref. dokt. biol. nauk. SPb. 2003.
13. Sokolov E.N. Mehanizmy pamjati. M: MGU. 1969.
14. Sumina E. L., Grechenko T. N., Sumin D. L., Haritonov A. N. Povedenie cianobakterij v soobshhestve: sovremennye nabljudenija i iskopaemye sledy // Materialy VII mezhdunarodnoj konferencii po kognitivnoj nauke . Svetlogorsk. 2016 . S.563-565
15. Sumina E.L. Povedenie nitchatyh cianobakterij v laboratornoj kul'ture // Mikrobiologija. 2006. T. 75. № 4. S. 532–537.
16. Tushmalova N.A. Osnovnye zakonomernosti jevoljucii povedenija bespozvonochnyh // Fiziologija povedenija. Nejrobiologicheskie zakonomernosti. red. A.S. Batueva. L.: Nauka, 1987. S. 236-265.
17. Filippova G.G. Jevoljucionnaja zona blizhajshego razvitija s pozicii differencionno-integracionnogo podhoda // Differencionno-integracionnaja teorija razvitija. Kn. 2. red. N.I. Chuprikova, E.V. Volkova. M.: Jazyki slavjanskoj kul'tury, 2014. S. 327–342.
18. Haritonov A.N., Grechenko T.N., Sumina E.L., Sumin D.L., Orleanskij V.K. Social'naja zhizn' cianobakterij // Differencionno-integracionnaja teorija

razvitija. red. N.I. Chuprikova i E.V. Volkova. M.: Jazyki slavjanskoj kul'tury, 2014. Kn. 2. S. 283–302.

19. Hvatov I.A. Konceptcija proishozhdenija psihiki A.N.Leont'eva na sovremennom jetape razvitija nauki // Psihologicheskie issledovanija: jelektron. nauch. zhurn. 2011. № 1. S. 15.
20. Shapiro Dzh.A. Bakterii kak mnogokletochnye organizmy // V mire nauki. 1988. № 8. S. 46–55.

Сведения об авторах:

Греченко Татьяна Николаевна, доктор психологических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории психофизиологии им. В.Б. Швыркова Института психологии Российской академии наук (Москва, Россия)

Харитонов Александр Николаевич, кандидат психологических наук, научный сотрудник лаборатории познавательных процессов и математической психологии Института психологии Российской академии наук (Москва, Россия)

Орлеанский Владимир Константинович, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории реликтовых микробных сообществ Института микробиологии им. С.Н. Виноградского Российской академии наук (Москва, Россия)

Жегалло Александр Владимирович, кандидат психологических наук, научный сотрудник лаборатории познавательных процессов и математической психологии Института психологии Российской академии наук (Москва, Россия)