

УДК 612.8:612.08

https://doi.org/10.33619/2414-2948/62/06

## ПРИРОДА И МОЗГ ЧЕЛОВЕКА: ПАРАДИГМЫ ОБМЕНА ИНФОРМАЦИЕЙ

©**Волобуев А. Н.**, ORCID: 0000-0001-8624-6981, д-р техн. наук, Самарский государственный медицинский университет, г. Самара, Россия, volobuev47@yandex.ru

©**Романов Д. В.**, SPIN-код: 2764-9214, канд. мед. наук, Самарский государственный медицинский университет, г. Самара, Россия, romanovdit@mail.ru

©**Романчук П. И.**, ORCID: 0000-0002-0603-1014, канд. мед. наук, акад. РАМТН, Самарский государственный медицинский университет, г. Самара, Россия, Romanchukpi@yandex.ru

## NATURE AND HUMAN BRAIN: INFORMATION-SHARING PARADIGMS

©**Volobuev A.**, ORCID: 0000-0001-8624-6981, Dr. habil., Samara State Medical University, Samara, Russia, volobuev47@yandex.ru

©**Romanov D.**, SPIN-code: 2764-9214, M.D., Samara State Medical University, Samara, Russia, romanovdit@mail.ru

©**Romanchuk P.**, ORCID: 0000-0002-0603-1014, M.D., Academician RAMTN, Samara State Medical University, Samara, Russia, Romanchukpi@yandex.ru

*Аннотация.* Новый современный мир вступил в сложный социум. Природа — новый материальный мир Вселенной и естественная среда обитания, становятся более изменчивыми, за более короткие периоды времени. Система природа–общество–человек: целостная, динамическая, волновая, открытая, устойчиво неравновесная система, с выделением не только внутренних связей, но и внешних — с космической средой. Современная наука рассматривает человека, человечество и биосферу как единую систему, с растущими демографическими, продовольственными и медицинскими проблемами. Мозг человека — это биологические, биофизические, нейрофизиологические и медико-социальные парадигмы обмена информацией. Современные коммуникации — это многоуровневые, мультипарадигмальные и междисциплинарные модели обмена информацией. Новые компетенции психонейроиммуноэндокринология и психонейроиммунология играют стратегическую роль в междисциплинарной науке и межведомственном планировании и принятии решений. Внедрения многовекторных нейротехнологий искусственного интеллекта и принципов цифрового здравоохранения, будут способствовать развитию современного нейробыта и нейромаркетинга. Внедрение биокомпьютерных наноплатформ и модулей, состоящие из небольших молекул, полимеров, нуклеиновых кислот или белков/пептидов, наноплатформы запрограммированы на обнаружение и обработку внешних стимулов, таких как магнитные поля или свет, или внутренних стимулов, таких как нуклеиновые кислоты, ферменты или pH, с помощью трех различных механизмов: сборка системы, разборка системы или преобразование системы. Современные биокомпьютерные наноплатформы неопределимы для множества применений, включая медицинскую диагностику, биомедицинскую визуализацию, мониторинг окружающей среды и доставку терапевтических препаратов к целевым клеточным популяциям. Интеграция различных источников информации позволит исследователям получить новую целостную картину патофизиологического процесса заболевания, которая будет охватывать от молекулярных изменений до когнитивных проявлений. Когнитивная

память — непрерывный акт творения, одно из самых больших и емких понятий, которое представляет основную функцию памяти вообще. Знания, которые человек получает при обучении, сначала воспринимаются как нечто внешнее, но затем постепенно они превращаются в опыт и убеждения. Когнитивная память сохраняет в себе все полученные знания, представляя собой своего рода «библиотеку», причем процесс усваивания и сохранения усложняется по мере усложнения получаемой информации.

*Abstract.* The new modern world has entered a complex society. Nature its new material world of the Universe and its natural habitat, become more variable, over shorter periods of time. The system of nature–society–human is a holistic, dynamic, wave, open, steadily non-equilibrium system, with the isolation not only of internal ties, but also of external ones - with the space environment. Modern science views man, humanity and the biosphere as a single system, with growing demographic, food and medical problems. Human brains are biological, biophysical, neurophysiological and medico-social paradigms of information exchange. Modern communications are multilevel, multi-paradigm and interdisciplinary models of information exchange. The new competencies of psychoneuroimmunoendocrinology and psychoneuroimmunology play a strategic role in interdisciplinary science and interdisciplinary planning and decision-making. The introduction of multi-vector neurotechnologies of artificial intelligence and the principles of digital health care will contribute to the development of modern neuroscience and neuromarketing. The introduction of biocomputer nanoplatforms and modules consisting of small molecules, polymers, nucleic acids or proteins/peptides, nanoplatforms are programmed to detect and process external stimuli, such as magnetic fields or light, or internal stimuli, such as nucleic acids, enzymes or pH, using three different mechanisms: system assembly, system disassembly or system transformation. Current biocomputer nanoplatforms are invaluable for many applications, including medical diagnostics, biomedical imaging, environmental monitoring, and delivery of therapeutic drugs to target cell populations. Integration of different sources of information will allow researchers to obtain a new holistic picture of the pathophysiological process of the disease, which will cover from molecular changes to cognitive manifestations. Cognitive memory is a continuous act of creation, one of the largest and most capacious concepts that represents the main function of memory in general. The knowledge that a person receives during training is first perceived as something external, but then gradually they turn into experience and beliefs. Cognitive memory retains all the knowledge gained, representing a kind of “library”, and the process of assimilation and preservation becomes more complicated as the information received becomes more complex.

*Ключевые слова:* мозг *Homo sapiens*, биология, биофизика, биоинформатика, нейрофизиология, нейросети, искусственный интеллект, наномедицина, когнитивная память, когнитивное долголетие.

*Keywords:* *Homo sapiens* brain, biology, biophysics, bioinformatics, neurophysiology, neural networks, artificial intelligence, nanomedicine, cognitive memory, cognitive longevity.

### *Введение*

Исследование «Ранняя диагностика когнитивных нарушений» посвящено актуальной задаче современной медицины — раннему распознаванию когнитивных нарушений. Рассматриваются подходы к диагностике, обсуждаются вопросы патогенеза и систематики

когнитивных нарушений, психометрические и патопсихологические методики оценки когнитивных расстройств, подходы к комплексному психофармакологическому лечению и профилактике когнитивных расстройств. Результаты ориентируют врача на использование мультидисциплинарного подхода к пониманию проблемы нейродегенераций и формированию научно-обоснованных алгоритмов ведения таких пациентов [1].

Наличие инновационных технологий, таких как секвенирование следующего поколения и коррелированные инструменты биоинформатики, позволяют глубже исследовать перекрестные нейросетевые взаимосвязи между микробиотой и иммунными реакциями человека. Иммунный гомеостаз — это баланс между иммунологической толерантностью и воспалительными иммунными реакциями является ключевой особенностью в исходе здоровья или болезни. Здоровая микробиота — это качественное и количественное соотношение разнообразных микробов отдельных органов и систем, поддерживающее биохимическое, метаболическое и иммунное равновесие макроорганизма, необходимое для сохранения здоровья человека [2].

Новые взаимодействия, наряду с другими генетическими и экологическими факторами, приводят к определенному составу и богатству микробиоты, которые могут разнообразить индивидуальный ответ на прививки. Вариации в микробных сообществах могут объяснить географическую эффективность вакцинации [2].

Хронический стресс и циркадианное рассогласование запускают каскад сбоев в функционировании нейрофизиологических, нейроэндокринных и психонейроиммунных механизмов. Циркадная система синхронизации представляет собой эволюционный программный продукт — мозг *Homo sapiens*, который необходим, для выживания и подготовки организма к ожидаемым циклическим вызовам, различной эпигенетической направленности. Циркадианный стресс оказывает патологическое влияние на человека, во все его возрастные периоды жизнедеятельности [2].

Хронотерапевтические и психохронобиологические группы и категории населения, позволяют заблокировать переход когнитивных нарушений в когнитивные расстройства. Современные технологии искусственного интеллекта способны на многое, в том числе прогнозировать когнитивные нарушения и когнитивные расстройства, с помощью комбинированной и гибридной нейровизуализации, секвенирования нового поколения и др., с целью начала своевременной и эффективной реабилитации мозга *H. sapiens* [2].

Нейродегенеративные и возраст-ассоциированные хронические заболевания, при которых имеют место такие патофизиологические проявления как нестабильность генома и эпигенома, окислительный стресс, хроническое воспаление, укорочение теломер, утрата протеостаза, митохондриальные дисфункции, клеточное старение, истощение стволовых клеток и нарушение межклеточной коммуникации преимущественно инициируются несбалансированным питанием и дисбалансом симбиотической кишечной микробиоты [3].

Суммарный геном нормальной микробиоты содержит в 100 раз больше генов, чем геном человека. В микробных сообществах, относящихся к нормальной микрофлоре человека, эволюционно сформировались межклеточные сети, представляющие систему трофических и энергетических взаимосвязей внутри кишечного микробиоценоза. Учитывая, что 90% энергии для клеток пищеварительного тракта производится кишечными бактериями и именно микроорганизмы являются ключевым звеном, стартерами возникновения, а затем эволюции и эпигенетики биологической жизни, включая человека, на нашей планете — необходимо соответствующее управление биоэнергией [3].

Молекулярными, клеточными и средовыми основами здоровья и долголетия являются

метагеном и эпигеном человека, а полноценность их реализации в конкретных условиях жизнедеятельности *H. sapiens* — являются многомасштабные методы моделирования и прогнозирования [3].

Депрессия — это разрушительный синдром, с аллостатической перегрузкой и транзиторной дисрегуляцией функций неврологического, метаболического и иммунологического статуса, а также перепрограммированием в гипоталамо-гипофизарно-надпочечниковой оси. Депрессия вызывает патологические изменения в секреции и моторике пищеварительной системы, а сбой в работе двунаправленных кишечно-мозговых связей модифицируют микробиоту кишечника. Хроническая депрессия дестабилизирует работу «когнитивного и висцерального мозга» [4].

Сохранение когнитивных способностей мозга возможно только при его непрерывной тренировке творческо-мыслительной работой. Активное и когнитивное долголетие человека может быть достигнуто путем исследования биофизики генома, нутригеномики, нутригенетики, ревитализации, циркадианного функционирования нейрооси «мозг–кишечник» с одновременным питанием «мозга» и «микробиоты» с помощью ежедневного полифункционального диетического комплекса функциональных продуктов питания. Современная нутригенетика и нутригеномика персонифицировали генетический контроль в нутрицитологии. Разработаны комбинированные и/или дополнительные методы, которые активируют процессы нейрогенеза в головном мозге и его нейропластичность [4].

Всего в головном мозге примерно  $10^{11}$  (сто миллиардов) нейронов. В коре больших полушарий  $0,14 \times 10^{11}$  нейронов. ЦНЦ состоит из 2–3 нейронов. Поэтому в головном мозге может быть до  $5 \times 10^9$  ЦНЦ. Образованный человек может оперировать (помнить) примерно  $10^5$  понятий (слов). Для каждого понятия, по-видимому, необходимо до 10 ЦНЦ: само понятие, его запись, принципы связи с другими понятиями и т. д. Поэтому, для работы с понятиями нужно примерно  $10^6$  ЦНЦ. Если человек знает два языка, то необходимо еще  $10^6$ – $10^7$  ЦНЦ. Нужно не только помнить слова другого языка, но и отождествить слова в двух языках [5].

Оставшиеся ЦНЦ, фактически те же  $5 \times 10^9$  служат для запоминания других фактов, необходимых для жизнедеятельности: партнеров, окружающей среды, стандартных наборов поведения, рабочих навыков и т. д. Мозг имеет практически неограниченные ресурсы памяти. Эти ресурсы памяти используются далеко не полностью. Синаптическая нейропластичность и современная эпигенетическая защита, гарантируют долговременное запоминание и включение в новообразованную сеть участков с совершенно не использованными, новообразованными контактами между клетками. Чем больше новых синаптических контактов участвует в сети первичной (кратковременной) памяти, тем больше у этой сети шансов сохраниться надолго языках [5].

Биоэлектромагнетизм света и нейронные сети мозга, циркадные нарушения сна, бодрствования и хроническое циркадианное рассогласование, часто наблюдаемые при психиатрических и нейродегенеративных заболеваниях, могут быть эффективными в нейрореабилитации когнитивных нарушений и профилактике депрессии [6].

Благотворное влияние на циркадианную синхронизацию, качества сна, настроение и когнитивные показатели зависит от времени, интенсивности и спектрального состава светового воздействия. Мультидисциплинарное и мультимодальное взаимодействие в триаде «мозг–глаза–сосуды» позволяет выявить ранние биомаркеры как общего ускоренного и патологического старения, так и своевременно диагностировать нейродегенерацию, и провести эффективную нейрореабилитацию когнитивных нарушений. Контроль и лечение

сосудистых факторов риска и эндокринных нарушений позволяет снизить распространенность длительной нетрудоспособности населения [6].

Циркадианный стресс вызывает дисрегуляцию «программного обеспечения» мозга *H. sapiens*, с последующим нарушением работы «когнитивного» и «висцерального» мозга. Циркадные ритмы организма запрограммированы системой циркадных генов. Циркадианные часы и циркадная система — являются биофизическим и биохимическим регулятор иммунной защиты. Циркадная система синхронизации представляет собой эволюционный программный продукт «биокомпьютера» для выживания и подготовки организма к ожидаемым циклическим вызовам, различной эпигенетической направленности [6].

#### *Энергетический ландшафт нейрофизиологии мозга*

Современная проблема нейробиологии заключается в определении того, как анатомическая структура влияет на сложную функциональную динамику мозга. Как крупномасштабные схемы мозга ограничивают состояния нейронной активности и переходы между этими состояниями? Энтропийная модель динамики мозга, основанная на трактографии белого вещества, показывает, что наиболее вероятные состояния мозга, характеризующиеся минимальной энергией, демонстрируют общие профили активации в разных областях мозга: локальные пространственно-непрерывные наборы областей мозга, напоминающие когнитивные системы, часто активируются совместно. Прогнозируемая скорость активации этих систем сильно коррелирует с наблюдаемой скоростью активации, измеренной в отдельном наборе данных фМРТ в состоянии покоя, что подтверждает полезность модели максимальной энтропии для описания нейрофизиологической динамики. Внутрисистемные и межсистемные энергии четко разделяют когнитивные системы на отдельные категории, что подтверждает существование энергетических и структурных ограничений динамики мозга, предлагая понимание роли, которую когнитивные системы играют в управлении паттернами активации всего мозга [7].

С философской точки зрения предполагаемая делимость и аддитивность состояний мозга предполагает наличие сильных ограничений на паттерны активаций, которые могут быть вызваны окружающей средой человека. Двумя наиболее распространенными типами ограничений, изученными в литературе, являются энергетические ограничения и структурные ограничения. Энергетические ограничения относятся к фундаментальным ограничениям на эволюцию или использование нейронных систем, которые определяют затраты на установление и поддержание функциональных связей между анатомически распределенными нейронами. В то время как энергетические ограничения существуют на уровне АТФ, необходимого для запуска потенциала действия, они также существуют в большем масштабе и более медленной частоте, где они, как полагают, настраивают крупномасштабные состояния мозга через ландшафт динамических аттракторов.

Исследовано [7] как энергия и анатомия формируют критические ограничения на динамику мозга, они в значительной степени изучались изолированно, затрудняя понимание их коллективного влияния. Предложена новая структура, которая сочетает энергетические и структурные ограничения на динамику состояния мозга в модели свободной энергии, явно основанной на эмпирически измеренной структурной связности. Таким образом, мы используем модель свободной энергии для отображения теоретически предсказанного энергетического ландшафта состояний мозга, выявления локальных минимумов в энергетическом ландшафте и изучения профиля паттернов активации, присутствующих в этих минимумах.



Исследования [7] направлены на рассмотрение трех конкретных гипотез: во-первых, крупномасштабная картина трактов белого вещества в человеческом мозге предсказывает конечное число минимальных энергетических состояний, в которых области мозга, выполняющие общие функции, будут иметь тенденцию к совместной активации. Эта гипотеза основана на интуиции, что области, выполняющие сходные функции, вероятно, будут структурно связаны друг с другом и, следовательно, будут аналогично активированы в структурно предсказанных низкоэнергетических состояниях; во-вторых, в системе режима по умолчанию, учитывая их роль в базовой или внутренней динамике, активируется чаще в состояниях с минимальной энергией, чем в областях первичных сенсомоторных систем; в-третьих, энергия расходуется по-разному при внутрисистемных взаимодействиях по сравнению с межсистемными взаимодействиями, основываясь на наблюдении, что когнитивные усилия, по-видимому, предпочтительно влияют на межсистемные взаимодействия (Рисунок 1).

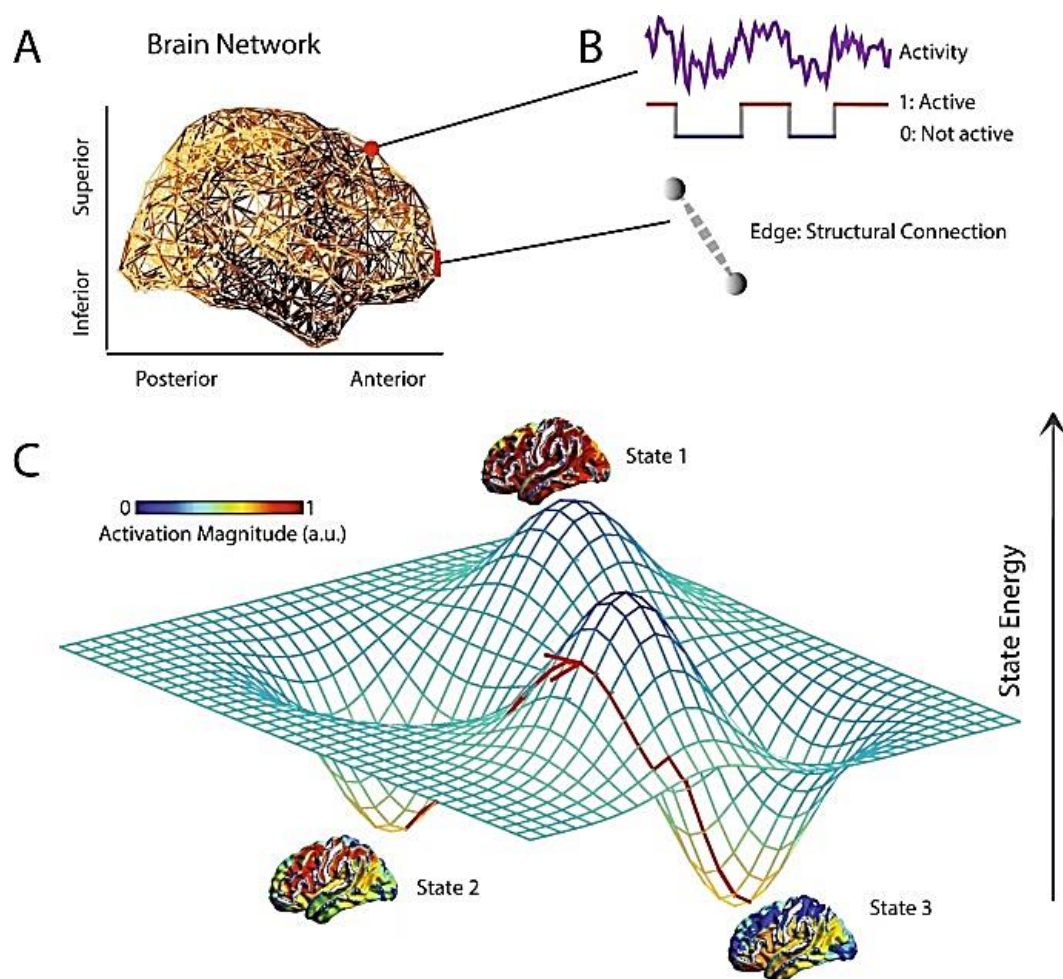


Рисунок 1. Энергетический ландшафт нейрофизиологии мозга: А) взвешенная структурная сеть мозга представляет собой число линий белого вещества, соединяющих области мозга; В) нейрофизиологическая динамика создает богатые временные ряды непрерывно оцениваемых величин активности, упрощенная модель, в которой каждая область мозга является бинарным объектом, будучи либо активной, либо неактивной; С) схема, чтобы обеспечить интуицию относительно природы энергетического ландшафта для более общего случая непрерывно оцениваемых состояний мозга [7].

В исследовании [7], используется модель максимальной энтропии, чтобы вывести

ландшафт предсказанных (бинарных) паттернов активности — векторов, указывающих области, которые активны, и области, которые не активны, а также энергию каждого паттерна (или состояния). Применяется математическая структура для выявления и изучения локальных минимумов в энергетическом ландшафте: состояний, прогнозируемых для формирования базового репертуара функций мозга. Важно, что этот новый подход отличается от предыдущих применений к данным нейровизуализации предсказанием временных рядов активности по структурным взаимодействиям, а не выводом взаимодействий из временных рядов активности. В более общем плане наш подход предлагает фундаментальное понимание особой роли, которую играют области мозга и более крупные когнитивные системы в распределении энергии для обеспечения когнитивной функции. Результаты демонстрируют важную основу для изучения энергетических ландшафтов при психических заболеваниях и неврологических расстройствах, где переходы состояний мозга, как известно, критически изменяются, но механизмы, приводящие к этим изменениям, остаются далеки от понимания.

### *Многопользовательский интерфейс *H. sapiens* «мозг–мозг»*

Прямые интерфейсы головного мозга человека — это интерфейсы, которые объединяют методы нейровизуализации и нейростимуляции для извлечения и передачи информации между мозгами, позволяя осуществлять прямую связь между системой «мозг–мозг». Прямые интерфейсы «мозг–мозг» извлекает специфический контент из нейронных сигналов мозга «отправителя», оцифровывает его и передает в мозг «получателя». Из соображений этики и безопасности существующие прямые интерфейсы «мозг–мозг» человека полагаются на неинвазивные технологии, обычно электроэнцефалографию (ЭЭГ), для регистрации нейронной активности и транскраниальной магнитной стимуляции (ТМС) для доставки информации в мозг.

Многопользовательский интерфейс «мозг–мозг» для прямого взаимодействия между головным мозгом человека (Рисунок 2) [8] спроектирован так, чтобы прямые интерфейсы «мозг-мозг» функционировали для более чем двух человеческих субъектов; его текущая реализация позволяет двум отправителям и одному получателю общаться, но его можно легко масштабировать, чтобы включить большее количество отправителей. Отправители имеют такую же роль в наблюдении за текущим состоянием задачи и передаче своих решений получателю. Получатель имеет роль интеграции этих независимых решений и принятия решения о курсе действий. Конструкция BrainNet включает в себя второй раунд взаимодействия между отправителями и получателем, так что действие получателя в первом раунде может быть воспринято отправителями, давая им второй шанс передать (потенциально корректирующие) решения получателю. Приемник оснащен как ТМС (для приема решений отправителей), так и ЭЭГ (для выполнения действия в задании), что полностью исключает необходимость использования каких-либо физических движений для передачи информации [8].

BrainNet — является первым многоцелевым неинвазивным прямым интерфейсом мозг-мозг для совместного решения проблем. Интерфейс сочетает в себе ЭЭГ для записи сигналов мозга и ТМС для доставки информации неинвазивно в мозг. Интерфейс позволяет трем человеческим субъектам сотрудничать и решать задачу, используя прямую связь между мозгом и мозгом. Два из трех испытуемых обозначены как «отправители», чьи мозговые сигналы декодируются с помощью анализа данных ЭЭГ в реальном времени. Процесс декодирования извлекает решение каждого отправителя о том, следует ли вращать блок в игре, похожей на Тетрис, прежде чем он будет отброшен, чтобы заполнить линию. Решения

отправителей передаются через интернет в мозг третьего субъекта, «получателя», который не может видеть игровой экран. Решения отправителей передаются в мозг получателя посредством магнитной стимуляции затылочной коры. Приемник интегрирует информацию, полученную от двух отправителей, и использует интерфейс ЭЭГ для принятия решения о повороте блока или сохранении его в той же ориентации. Второй раунд игры предоставляет дополнительную возможность отправителям оценить решение получателя и отправить обратную связь в мозг получателя, а получателю исправить возможное неправильное решение, принятое в первом раунде.

Эффективность работы мозговой сети с точки зрения (1) производительности на уровне группы во время игры, (2) истинных/ложноположительных показателей решений субъектов и (3) взаимной информации между субъектами. Изменяя информационную надежность отправителей путем искусственного введения помех в сигнал одного отправителя, исследовали [8], как приемник учится интегрировать шумовые сигналы, чтобы принять правильное решение. Установлено, что как и обычные социальные сети, BrainNet позволяет получателям научиться доверять отправителю, который является более надежным, в данном случае, основываясь исключительно на информации, передаваемой непосредственно в их мозг. Результаты указывают путь к будущим интерфейсам «мозг-мозг», которые позволяют людям совместно решать проблемы, используя «социальную сеть» подключенных brains *Homo sapiens*.

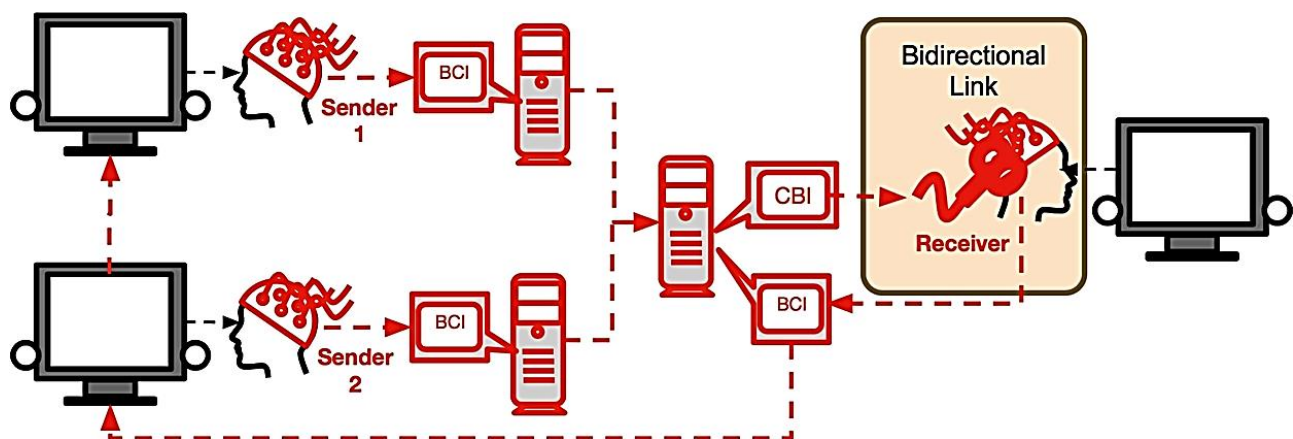


Рисунок 2. BrainNet: многопользовательский интерфейс «мозг–мозг» для прямого взаимодействия между головным мозгом человека [8].

Архитектура мозговой сети (Рисунок 2) [8]. Два участника («отправитель 1» и «отправитель 2») используют интерфейс мозг–компьютер, основанный на ЭЭГ, чтобы передать информацию о совместной задаче непосредственно в мозг третьего участника («приемник»). Информация от каждого отправителя передается через интернет в мозг получателя через компьютерно-мозговой интерфейс, основанный на ТМС. После обработки двух входных сигналов от отправителей, получатель использует прямые интерфейсы «мозг–мозг» на основе ЭЭГ для выполнения действия в задаче. Отправители видят результат этого действия на своих экранах (одно и то же обновленное состояние игры отображается на обоих экранах, как указано красной стрелкой от экрана одного отправителя к экрану другого). Затем отправители получают еще одну возможность передать в мозг получателя новую информацию, чтобы потенциально исправить неправильный выбор в первом раунде. Пять групп, в каждой из которых было по три человека, успешно использовали мозговую сеть для



выполнения совместной задачи со средней точностью 81,25% [8].

Интерфейс «мозг–мозг» включает в себя прямое индуцирование двух различных мозгов *H. sapiens* общаться друг с другом [9]. Система интерфейс «мозг–мозг» первоначально реализованы на *H. sapiens* (Рисунок 3) [10] с использованием неинвазивных записей и стимуляции мозга. Информация была перенесена из сенсомоторной коры одного участника (записано через ЭЭГ) в визуальный [10] или моторный [11] кора второго участника (с помощью ТМС). Знания человека оцифровываются с ускорением экспоненциального темпа хранения и обработки информации в облаке. Когнитивные способности *H. sapiens* и невозможность человеческого разума к более быстрой генерации человеческих знаний, требуют безопасной, надежной, стабильной и непрерывной работы системы интерфейса реального времени между человеческим мозгом и системой хранения и обработки данных которые находятся в облаке. Невралнанороботики могут обеспечить технологии в соответствующем масштабе, с подходящим уровнем сложности для надежного взаимодействия человеческого мозга с большой объем данных, которые хранятся и обрабатываются в облаке [12].

Интернет представляет собой децентрализованную глобальную систему, которая служит человечеству для создания, обработки и хранения данных, большая часть которых обрабатывается быстро с расширением облака. Стабильная, безопасная система реального времени может обеспечить взаимодействие облака с человеческим мозгом. Перспективная стратегия создания такой системы, обозначенная как «интерфейс человеческого мозга/облака» («В/С/И»), будет основана на технологиях «невралнанороботики» [12].

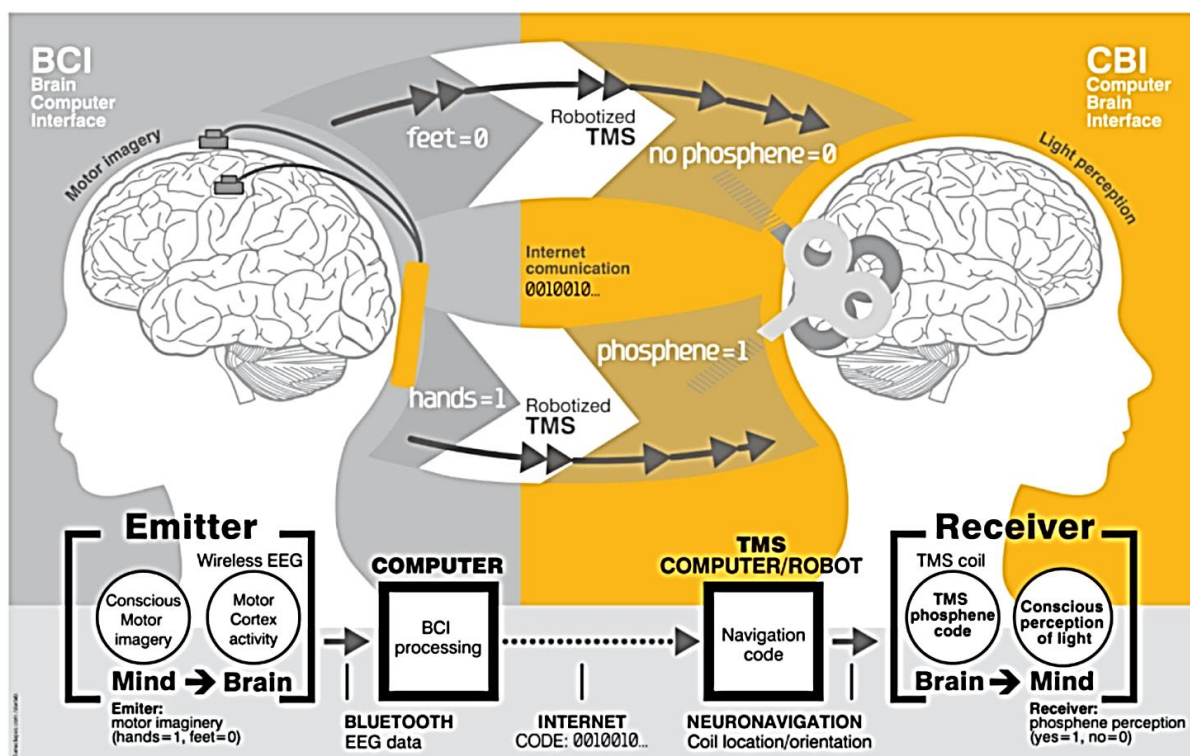


Рисунок 3. Интерфейс «мозг–мозг» для передачи информации между *H. sapiens* [10, 12].

Субъект-излучатель показан слева, где сенсомоторная кора активность регистрировали с использованием ЭЭГ электродов. Излучатель выполнял двоичную двигательную задачу на основе изображений: изображение ног (битовое значение 0) по сравнению с изображением

рук (битовое значение 1). Тема получателя показана справа. Катушка ТМС располагалась по-разному над зрительной корой для 1 и 0 битовых значений и вызывались или не вызывались вспышки света соответственно. Для связи мозга с мозгом использовалась интернет-связь [12].

Будущие технологии невралнанороботики [12] направлены на повышение точности и достоверности диагнозов и возможного лечения ~400 состояний которые влияют на мозг человека. Невралнанороботики могут также давать возможность В/СІ с контролируемой связью между нейронной активностью и внешним хранением и обработкой данных, через прямой мониторинг нейронов мозга ~ $86 \times 10^9$  и синапсов ~ $2 \times 10^{14}$ . После навигации по сосудистой сети человека три вида невралнанороботов (эндоневроботы, глиаботы и синаптоботы) проходят гематоэнцефалический барьер, входят в паренхиму мозга, попадают в отдельные клетки мозга человека и самоопозиция на начальных сегментах аксонов нейронов (эндоневроботов), в пределах глиальных клеток (глиаботы), и в близости к синапсам (синаптоботам). Беспроводная передача до ~ $6 \times 10^{16}$  бит в секунду синаптически обработанную и кодированную электрическую информацию человека–мозга через вспомогательную нанороботическую волоконную оптику ( $30 \text{ см}^3$ ) с возможностью обработки до 1018 бит/с и обеспечения быстрой передачи данных на облачный суперкомпьютер для мониторинга состояния мозга и заключения (выводов) в реальном времени [12].

#### *Функциональная мозговая сеть с использованием МРТ*

Человеческий мозг состоит из ~86 миллиардов нейронов подключен через ~150 триллионов синапсов, которые позволяют через нейроны передавать электрические или химические сигналы другим нейронам [13].

Построение функциональной мозговой сети с использованием МРТ, основные этапы (А, В, С, D, H, G, F, E) (Рисунок 4) [13], используемые для работы комплексной сети с МРТ в теоретическом анализе графа. Этапы предварительной обработки, включая синхронизацию среза, коррекцию, перестройку, совместную регистрацию изображения, нормализацию на основе сегментации и пространственного сглаживания на полученных данных МРТ. Масштабная сеть мозга и соответствующая схема распределения блоков, от диагностики и обработки информации до анатомического атласа с автоматической маркировкой анатомических единиц [13].

Схематическое представление построения сети мозга и теоретического анализа графиков с использованием данных МРТ. После обработки (В) необработанные данные МРТ (А) и деление мозга на различные участки (С), из каждой области (D) извлекают несколько временных курсов, чтобы они могли создать корреляционную матрицу (Е). Чтобы уменьшить сложность и улучшение визуального понимания, сконструирована двоичная корреляционная матрица (F) и соответствующая функциональная мозговая сеть (G) соответственно. В конечном итоге, количественно оценивая набор топологических показателей, выполняется анализ графов в сети связи мозга (H).

Проанализированы [13] вычислительные методы, которые были предложены для функциональной и эффективной связи в мозговой сети человека с помощью МРТ.

Графические теоретические метрики, такие как степень узла, коэффициент кластеризации, средняя длина пути, концентраторы, центральность, модульность, надежность и ассортативность могут использоваться для обнаружения топологических паттернов мозговых сетей.

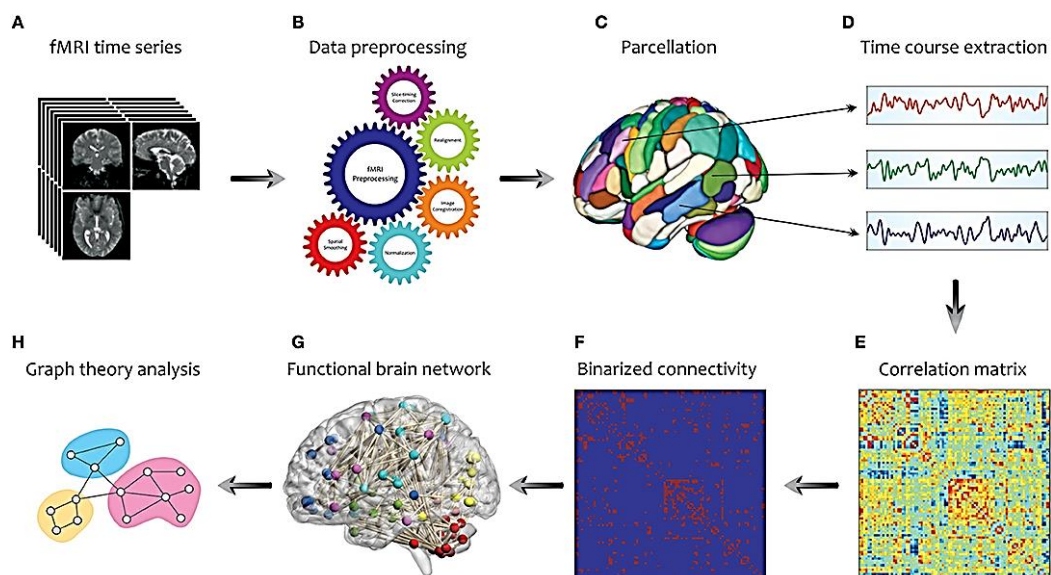


Рисунок 4. Схематическое построения сети мозга и анализ графиков с использованием данных МРТ [13].

### Когнитивная память

Существует три основные формы памяти: сенсорная память, кратковременная память и долговременная память (Рисунок 5) [14].

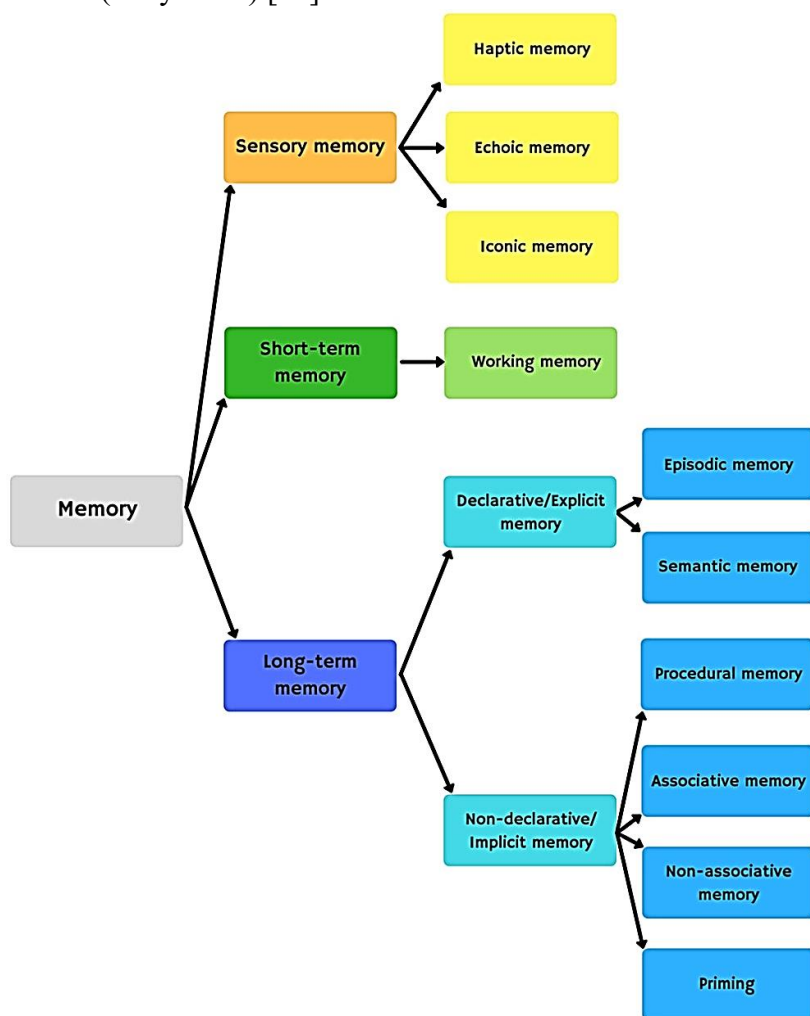


Рисунок 5. Классификация памяти [14].

Сенсорная память относится к сохранению информации, поступающей от органов чувств. Кратковременная память — это информация, обработанная за короткий промежуток времени. Рабочая память выполняет эту обработку. Рабочая память состоит из четырех элементов, которые обрабатывают информацию: Центральный исполнительный орган (управление вниманием), визуальный блокнот (создает и поддерживает визуальное представление), фонологический буфер (хранит и объединяет новые слова) и эпизодический буфер (хранит и интегрирует информацию из различных источников). Долговременная память позволяет нам хранить информацию в течение длительного периода времени. Эта информация может быть извлечена сознательно (явная память) или бессознательно (неявная память). Эксплицитная память состоит из эпизодической памяти (события, связанные со временем) и семантической памяти (понятия и значения). ИмPLICITная память имеет, в свою очередь, процедурную память (моторные и исполнительные навыки), ассоциативную память (классическое и оперантное обусловливание), не ассоциативную память (сенсбилизация и привыкание) и прайминг (первичный стимул, влияющий на вторичный).

Новые нейроанатомические, нейрофизиологические и психологические основы памяти — это современные модели и их истоки, позволяющие нам учиться и осмысливать свою жизнь, проводить профилактику когнитивных нарушений и расстройств.

#### *Многофункциональный сон и обмен информацией*

Сон является главным инструментом и механизмом в формировании когнитивной памяти, ее количественном и качественном объеме, интеграции перехода на качественно новый уровень саморазвития и самосовершенствования, позволяющий создавать новый интеллектуальный «квалификационный разум». *H. sapiens* 21 века будет иметь возможность понимать физиологические и нейрофизиологические паттерны сна, управлять и изменять свои привычки сна. Оцифровка сна — будущее для развития промышленности, здравоохранения, науки и персонализированного здоровья.

Многофункциональный сон — эпигенетический дар человеку с большим интеллектом, новыми квантовыми идеями (каждый материальный объект имеет квантовые состояния и параллельные миры) и будущими изобретениями (открытиями). Циркадианная система *H. sapiens* и структурно-функциональные часы организма человека, синхронизированы генетически и эпигенетически. Жизнедеятельность *H. sapiens* — это волнообразные циклические колебания различной интенсивности процессов циркадианного стресса. Многоосцилляционная система, включает в себя эволюционные структурно-функциональные центральные и периферические водители ритма, первичные и вторичные пейсмекеры. Три самых мощных современных водителей ритма для человека: первый — свет, второй по мощности водитель ритма — питание, третий — эпигенетический, в т. ч. социальные факторы, прежде всего, социальный статус и самоактуализация личности.

Главной медицинской и социальной значимостью висцерального мозга является формирование эмоций. Висцеральный мозг участвует в регуляции функций внутренних органов, обоняния, автоматической регуляции, эмоций, памяти, сна, бодрствования и др. Висцеральный мозг определяет выбор и реализацию адаптационных форм поведения, динамику врожденных форм поведения, поддержание гомеостаза, генеративных процессов. Он обеспечивает гормональную стимуляцию организма, создание эмоционального фона, формирование и реализацию процессов высшей нервной деятельности. Сновидения жизненно важны для того, чтобы помочь нашему мозгу обрабатывать эмоции и кодировать



новые знания.

Таким образом, наше здоровье на 90% зависит от сна. Сон улучшает иммунитет. Известно, что сон регулируется тремя основными факторами: циркадными ритмами, гомеостазом сон–бодрствование и когнитивно-поведенческими влияниями. Во сне вырабатывается 70% суточного мелатонина. Сон — это молодость кожи. Сон — это реабилитация и восстановление гормонального (полового) потенциала.

Во время сна наш ум (разум) не только продолжает работать, но и действует таким образом, что мы неизбежно втягиваемся в различные виртуальные сценарии. Обработка содержания сновидений, которая состоит из вариаций сценариев, встречающихся в повседневной жизни, в которых мы взаимодействуем с физическим и социальным миром, неизбежно влияет на наши когнитивные способности и последующую оценку содержания реального мира, по мере развития новых технологий в области когнитивной нейробиологии.

Психические и физические нарушения, связанные с одной ночью плохого сна, могут перевешивать те, которые вызваны эквивалентным отсутствием физических упражнений или пищи.

Перспективы оцифровки сна будут использоваться в профилактике заболеваний и для рекомендаций по образу жизни. Объективный повсеместный мониторинг циклов сон–бодрствование в сочетании с мультимодальными входными данными, отражающими профиль физической активности человека, питание, частоту сердечных сокращений в течение всего дня и генетическую информацию, позволит получать персонализированную обратную связь для управления здоровьем, благополучием и достаточным когнитивным потенциалом.

Во время сна через нейросети мозга — взаимосвязанную сеть областей мозга — проходят различные воспоминания и идеи. Во время сна наши лобная кора — ответственная за логику и внимание — еще менее активна, т. е. сновидение можно понимать как «усиленную» нейросетевую версию бодрствующего блуждания ума (разума).

Использование электроэнцефалографии, электроокулографии и электромиографии доказало свою полезность в диагностике состояний возбуждения во время сна, измеряя мозговую активность, движения глаз и мышечную активность, соответственно. Когда мы спим, наш мозг проходит через различные стадии в циклическом порядке. Некоторые из этих стадий характеризуются медленной мозговой активностью, а другие стадии протекают так, что электрическая активность мозга имитирует бодрствующий мозг и даже может считаться гиперактивной.

Новые актуальные современные направления в области сна и сновидений:

- моделирование сна и сновидений;
- модели сохранения памяти во время здорового физиологического сна;
- память и искусственный интеллект;
- возрастные механизмы нарушения и потери объемов памяти;
- технологии и инструменты сохранения памяти и когнитивного потенциала;
- роль когнитивного мозга в интеллектуальном, профессиональном и бизнес-успехе;
- нейрофизиологические модели функционирования ячеек памяти — «библиотеки»

памяти в гиппокампе;

– эпигенетическая защита гиппокампа — суперкомпьютера мозга — нейрокоммуникации с искусственным интеллектом.

Биофизические нанолатформы предназначены для обнаружения и интеграции одиночных или множественных входов в соответствии с определенными алгоритмами,

такими как логические элементы, и генерирования функционально полезных выходов, таких как доставка терапевтических препаратов или высвобождение оптически обнаруживаемых сигналов. Используя чувствительные модули, состоящие из небольших молекул, полимеров, нуклеиновых кислот или белков/пептидов, наноплатформы запрограммированы на обнаружение и обработку внешних стимулов, таких как магнитные поля или свет, или внутренних стимулов, таких как нуклеиновые кислоты, ферменты или рН, с помощью трех различных механизмов: сборка системы, разборка системы или преобразование системы [15].

Современное понимание механизмов функционирования генома, эпигенома, их взаимоотношений с факторами окружающей среды повышает точность диагностики заболеваний, позволяет разрабатывать персонализированные функциональные диеты и выявлять среди известных или вновь созданных лекарственных средств те, которые имеют эпигеномную направленность.

Понимание управления эпигенетической регуляцией является ключевым для объяснения и модификации процесса старения и активного долголетия как организма человека в целом, так и головного мозга в частности [16].

Эпигенетическая нагрузка и аллостатическая перегрузка снижает как общую работоспособность организма, так и его физическую, профессиональную и когнитивную составляющие. Циркадианный стресс оказывает патологическое влияние на человека, во все его возрастные периоды жизнедеятельности.

Современная эпигенетическая защита мозга *H. sapiens* позволит с помощью генетических и эпигенетических программ старения управлять здоровым долголетием, посредством мультимодальных инструментов [16]:

- комбинированного и гибридного информационного кластера в диагностике, лечении, профилактике и реабилитации когнитивных нарушений и когнитивных расстройств;
- регуляции эпигенетических часов под контролем искусственного интеллекта для ранней диагностики, лечения и профилактики здорового старения *H. sapiens*;
- эпигенетического регулирования сердечно-сосудистого старения для замедления развития сосудистой деменции и болезни Альцгеймера;
- профилактики полипрагазии через комбинированное применение питательной эпигенетики и фармэпигенетики;
- нутригенетики и нутригеномики — персонализированного питания «мозга и микробиоты» — медицинской программы пациента;
- биочипирования, нейронных и мозговых чипов, технологий секвенирования следующего (нового) поколения для создания информативных биомаркеров;
- новой эпигенетики *H. sapiens* и мозга *H. sapiens*.

Биологические компьютеры, или биокомпьютеры, представляют собой будущее вычислительной техники и биологии. Биокомпьютеры — это компьютеры, состоящие из белков, генов и клеток и способные выполнять математические операции. Например, бактерии могут быть модифицированы, превращаясь в биокомпьютеры, способные обнаруживать и лечить определенные воспалительные заболевания, включая заболевания кишечника. Поскольку ученые посвящают время и усилия исследованиям в новой области биокомпьютинга, эти новые технологии произведут революцию в медицинской области: в будущем биокомпьютинг может быть использован для идентификации и лечения различных заболеваний [17].

Биоинформатика и нейротехнологии искусственного интеллекта позволяют управлять массивными объемами мультидисциплинарной и межведомственной информации, для

долгосрочной поддержки (сопровождения) и реализации новых возможностей человека во всех сферах деятельности, при условии полного и адекватного анализа происходящих процессов всех участников медико-социального сопровождения *H. sapiens*, с растущими демографическими, продовольственными и медицинскими проблемами.

Распространение новых медиа, таких как социальные сети, привело к более тесному соединению культуры и реальности, а главное — к нарушению циркадианного сна и суточных циклов «день–ночь». Хотя кажется, что человек полностью распоряжается своей страницей и чувствует себя защищено, но это далеко не так. Интериоризации правил медиа-дискурса ведет к полному подчинению функциональным ожиданиям общества. Однако выравнивание классовой структуры в мире интернета заставляет людей, лишенных власти в реальном мире, больше ценить свою индивидуальность. Социум предполагает «переоткрытие» времени. Переоткрытие времени предполагает отказ от простого линейного движения от прошлого к настоящему и будущему, замена его сложными нелинейными взаимодействиями. Виртуальная реальность — важная составляющая сложного социума. Сложность виртуальной реальности проявляется в том, что стираются различия между реальным и воображаемым. Интеграция качественно новых характеристик сложных социальных реалий, позволяет предположить, что мир вступил в сложный социум. Таким образом, когнитивное здоровье и долголетие возможно при готовности социума взаимодействовать и «сотрудничать» с новой «Информационной пандемией».

#### Выводы:

1. Когнитивное здоровье и долголетие *H. sapiens* — это расширение информационного пространства духовного и нравственного развития человека.
2. Мозг человека — это биологические, биофизические, нейрофизиологические и медико-социальные парадигмы обмена информацией.
3. Современные коммуникации — это многоуровневые, мультипарадигмальные и междисциплинарные модели обмена информацией.
4. Взаимодействие новых коммуникационных технологий и категорий «Здоровье» и «Долголетие» достигаются при обмене целевой и стратегической информацией через всю жизнь.
5. Эволюционная генетика и эпигенетика 21 века, с одной стороны, и искусственный интеллект и виртуальная реальность, с другой, позволили использовать многофункциональный сон, для нейрореабилитации висцерального и когнитивного мозга.
6. Внедрение новых компетенций психонейроиммуноэндокринология и психонейроиммунология играют стратегическую роль в междисциплинарной науке и межведомственном планировании и принятии решений. Внедрения многовекторных нейротехнологий искусственного интеллекта и принципов цифрового здравоохранения, будут способствовать развитию современного нейробыта и нейромаркетинга.
7. «Информационная пандемия» — это новый вызов социуму, его готовность «сотрудничать» в ближайшей и отдаленной перспективе.

#### Список литературы:

1. Романов Д. В., Романчук Н. П. Ранняя диагностика когнитивных нарушений. Самара. 2014.

2. Романчук Н. П. Здоровая микробиота и натуральное функциональное питание: гуморальный и клеточный иммунитет // Бюллетень науки и практики. 2020. Т. 6. №9. С. 127-166. <https://doi.org/10.33619/2414-2948/58/14>
3. Булгакова С. В., Романчук Н. П. Иммунный гомеостаз: новая роль микро- и макроэлементов, здоровой микробиоты // Бюллетень науки и практики. 2020. Т. 6. №10. С. 206-233. <https://doi.org/10.33619/2414-2948/59/22>
4. Романчук Н. П., Пятин В. Ф., Волобуев А. Н., Булгакова С. В., Тренева Е. В., Романов Д. В. Мозг, депрессия, эпигенетика: новые данные // Бюллетень науки и практики. 2020. Т. 6. №5. С. 163-183. <https://doi.org/10.33619/2414-2948/54/21>
5. Волобуев А. Н., Романчук П. И., Романчук Н. П., Давыдкин И. Л., Булгакова С. В. Нарушение памяти при болезни Альцгеймера // Врач. 2019. Т. 30. №6. С. 10-13. <https://doi.org/10.29296/25877305-2019-06-02>
6. Пятин В. Ф., Романчук Н. П., Романчук П. И., Волобуев А. Н. Мозг, глаза, свет: биоэлектромагнетизм света и нейрореабилитация когнитивных нарушений // Бюллетень науки и практики. 2019. Т. 5. №12. С. 129-155. <https://doi.org/10.33619/2414-2948/49/14>
7. Gu S., Cieslak M., Baird B., Muldoon S. F., Grafton S. T., Pasqualetti F., Bassett D. S. The energy landscape of neurophysiological activity implicit in brain network structure // Scientific reports. 2018. V. 8. №1. P. 1-15. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-20123-8>
8. Jiang L., Stocco A., Losey D. M., Abernethy J. A., Prat C. S., Rao R. P. BrainNet: a multi-person brain-to-brain interface for direct collaboration between brains // Scientific reports. 2019. V. 9. №1. P. 1-11. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-41895-7>
9. Pais-Vieira M., Chiuffa G., Lebedev M., Yadav A., Nicolelis M. A. Building an organic computing device with multiple interconnected brains // Scientific reports. 2015. V. 5. P. 11869. <https://doi.org/10.1038/srep11869>
10. Grau C., Ginhoux R., Riera A., Nguyen T. L., Chauvat H., Berg M., ..., Ruffini G. Conscious brain-to-brain communication in humans using non-invasive technologies // PloS one. 2014. V. 9. №8. P. e105225. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0105225>
11. Rao R. P., Stocco A., Bryan M., Sarma D., Youngquist T. M., Wu J., Prat C. S. A direct brain-to-brain interface in humans // PloS one. 2014. V. 9. №11. P. e111332. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0111332>
12. Martins N. R., Angelica A., Chakravarthy K., Svidinenko Y., Boehm F. J., Opris I., ..., Freitas Jr R. A. Human brain/cloud interface // Frontiers in neuroscience. 2019. V. 13. P. 112. <https://doi.org/10.3389/fnins.2019.00112>
13. Karwowski W., Vasheghani Farahani F., Lighthall N. Application of graph theory for identifying connectivity patterns in human brain networks: a systematic review // Frontiers in Neuroscience. 2019. V. 13. P. 585. <https://doi.org/10.3389/fnins.2019.00585>
14. Camina E., Güell F. The neuroanatomical, neurophysiological and psychological basis of memory: Current models and their origins // Frontiers in pharmacology. 2017. V. 8. P. 438. <https://doi.org/10.3389/fphar.2017.00438>
15. Волобуев А. Н. Основы медицинской и биологической физики: учебное пособие для студентов лечебных, стоматологических, медико-профилактических и фармацевтических специальностей. Самара, 2011. 671 с.
16. Романчук П. И., Волобуев А. Н., Сиротко И. И., Никитин О. Л. Активное долголетие: биофизика генома, нутригеномика, нутригенетика, ревитализация. Самара, 2013. 416 с.



17. Пятин В. Ф., Колсанов А. В., Романчук Н. П., Романов Д. В., Давыдкин И. Л., Волобуев А. Н., Сиротко И. И., Булгакова С. В. Биоинформатика и искусственный интеллект: геронтологические и гериатрические компоненты медико-социального сопровождения к активному здоровому долголетию // Бюллетень науки и практики. 2020. Т. 6. №12. С. 155-175. <https://doi.org/10.33619/2414-2948/61/16>

*References:*

1. Romanov, D. V., & Romanchuk, N. P. (2014). Rannaya diagnostika kognitivnykh narushenii. Samara. (in Russian).
2. Romanchuk, N. (2020). Healthy Microbiota and Natural Functional Nutrition: Humoral and Cellular Immunity. *Bulletin of Science and Practice*, 6(9), 127-166. (in Russian). <https://doi.org/10.33619/2414-2948/58/14>
3. Bulgakova, S., & Romanchuk, N. (2020). Immune Homeostasis: New Role of Micro- and Macroelements, Healthy Microbiota. *Bulletin of Science and Practice*, 6(10), 206-233. (in Russian). <https://doi.org/10.33619/2414-2948/59/22>
4. Romanchuk, N., Pyatin, V., Volobuev, A., Bulgakova, S., Treneva, E., & Romanov, D. (2020). Brain, Depression, Epigenetics: New Data. *Bulletin of Science and Practice*, 6(5), 163-183. (in Russian). <https://doi.org/10.33619/2414-2948/54/21>
5. Volobuev, A. N., Romanchuk, P. I., Romanchuk, N. P., Davydkin, I. L., & Bulgakova, S. V. (2019). Memory impairment in Alzheimer's disease. *Vrach*, 30(6), 10-13. (in Russian). <https://doi.org/10.29296/25877305-2019-06-02>
6. Pyatin, V., Romanchuk, N., Romanchuk, P., & Volobuev, A. (2019). Brain, Eyes, Light: Biological Electrical Magnetism of Light and Neurorehabilitation of Cognitive Impairment. *Bulletin of Science and Practice*, 5(12), 129-155. (in Russian). <https://doi.org/10.33619/2414-2948/49/14>
7. Gu, S., Cieslak, M., Baird, B., Muldoon, S. F., Grafton, S. T., Pasqualetti, F., & Bassett, D. S. (2018). The energy landscape of neurophysiological activity implicit in brain network structure. *Scientific reports*, 8(1), 1-15. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-20123-8>
8. Jiang, L., Stocco, A., Losey, D. M., Abernethy, J. A., Prat, C. S., & Rao, R. P. (2019). BrainNet: a multi-person brain-to-brain interface for direct collaboration between brains. *Scientific reports*, 9(1), 1-11. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-41895-7>
9. Pais-Vieira, M., Chiuffa, G., Lebedev, M., Yadav, A., & Nicolelis, M. A. (2015). Building an organic computing device with multiple interconnected brains. *Scientific reports*, 5, 11869. <https://doi.org/10.1038/srep11869>
10. Grau, C., Ginhoux, R., Riera, A., Nguyen, T. L., Chauvat, H., Berg, M., ... & Ruffini, G. (2014). Conscious brain-to-brain communication in humans using non-invasive technologies. *PloS one*, 9(8), e105225. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0105225>
11. Rao, R. P., Stocco, A., Bryan, M., Sarma, D., Youngquist, T. M., Wu, J., & Prat, C. S. (2014). A direct brain-to-brain interface in humans. *PloS one*, 9(11), e111332. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0111332>
12. Martins, N. R., Angelica, A., Chakravarthy, K., Svidinenko, Y., Boehm, F. J., Opris, I., ..., & Freitas Jr, R. A. (2019). Human brain/cloud interface. *Frontiers in neuroscience*, 13, 112. <https://doi.org/10.3389/fnins.2019.00112>
13. Karwowski, W., Vasheghani Farahani, F., & Lighthall, N. (2019). Application of graph theory for identifying connectivity patterns in human brain networks: a systematic review. *Frontiers in Neuroscience*, 13, 585. <https://doi.org/10.3389/fnins.2019.00585>

14. Camina, E., & Güell, F. (2017). The neuroanatomical, neurophysiological and psychological basis of memory: Current models and their origins. *Frontiers in pharmacology*, 8, 438. <https://doi.org/10.3389/fphar.2017.00438>

15. Volobuev, A. N. (2011). *Osnovy meditsinskoi i biologicheskoi fiziki: uchebnoe posobie dlya studentov lechebnykh, stomatologicheskikh, mediko-profilakticheskikh i farmatsevticheskikh spetsial'nostei*. Samara. (in Russian).

16. Romanchuk, P. I., Volobuev, A. N., Sirotko, I. I., & Nikitin, O. L. (2013). *Aktivnoe dolgoletie: biofizika genoma, nutrigenomika, nutrigenetika, revitalizatsiya*. Samara. (in Russian).

17. Pyatin, V., Kolsanov, A., Romanchuk, N., Romanov, D., Davydkin, I., Volobuev, A., Sirotko, I., & Bulgakova, S. (2020). Bioinformatics and Artificial Intelligence: Gerontological and Geriatric Components Medical and Social Support for Active Healthy Longevity. *Bulletin of Science and Practice*, 6(12), 155-175. (in Russian). <https://doi.org/10.33619/2414-2948/61/16>

Работа поступила  
в редакцию 07.12.2020 г.

Принята к публикации  
12.12.2020 г.

*Ссылка для цитирования:*

Волобуев А. Н., Романов Д. В., Романчук П. И. Природа и мозг человека: парадигмы обмена информацией // Бюллетень науки и практики. 2021. Т. 7. №1. С. 59-76. <https://doi.org/10.33619/2414-2948/62/06>

*Cite as (APA):*

Volobuev, A., Romanov, D., & Romanchuk, P. (2021). Nature and Human Brain: Information-sharing Paradigms. *Bulletin of Science and Practice*, 7(1), 59-76. (in Russian). <https://doi.org/10.33619/2414-2948/62/06>