

ТИМУР ХАМДАМОВ*

ПРАКТИЧЕСКАЯ СТОРОНА НЕЙРОЭТИКИ И ОСНОВАНИЯ НЕЙРОФИЛОСОФИИ В КРУПНЫХ ПРОЕКТАХ ИЗУЧЕНИЯ МОЗГА ЧЕЛОВЕКА**

Аннотация: Статья посвящена роли и месту нейроэтики в национальных и международных проектах изучения человеческого мозга. В работе рассматриваются исключительно те проекты, которые главным методом исследовательских изысканий выбрали использование сложных системных многофакторных моделей мозга и нервной системы, слаженная работа которых обеспечивается большими вычислительными ресурсами программно-аппаратных комплексов и реализуется в серии компьютерных симуляций нейрофизиологических, нейробиологических и нейропсихологических процессов живого организма, в том числе человека. Такие проекты декларируют самый широкий спектр решения проблем, связанных с изучением мозга: от исследований характеристик передачи электрических сигналов между синапсами нейронов до изысканий в области возникновения, функционирования и развития таких высших функций деятельности мозга, как интеллект и сознание. Заключительная часть статьи посвящена вопросу корректности нейрофилософской концепции происхождения и функционирования сознания и интеллекта на принципах нейроморфной природы, а именно возможности трактовки феномена возникновения сознания как формы высшей нервной деятельности и дальнейшего его развития, исходя из естественнонаучных законов, заложенных в биологическую структуру мозга и нервной системы. Что означает, в случае понимания и дальнейшего создания технологий воспроизведения таких законов, реальную возможность получения искусственного интеллекта и сознания без привязки к живым организмам, в частности к человеку. Автор ставит под сомнение такой взгляд на природу сознания в ходе поставленного мысленного эксперимента, в основе которого используются аргументы из предметной области компьютерных симуляций, а также принимается допущение о мозге как о сложной вычислительной системе, наподобие существующих суперкомпьютеров, но с точки зрения архитектуры и программного обеспечения устроенной и функционирующей по более сложным алгоритмам.

Ключевые слова: нейроэтика, нейрофилософия, Human Brain Project, компьютерная симуляция мозга, нейроморфность, сознание, интеллект, когнитивистика.

DOI: 10.17323/2587-8719-2020-1-42-84.

ВВЕДЕНИЕ

В статье анализируются проекты изучения мозга с акцентом на практику применения в них методологических подходов нейроэтики и ней-

*Хамдамов Тимур Владимирович, аспирант, Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики» (Москва), tkhamdamov@hse.ru.

**© Хамдамов, Т. В. © Философия. Журнал Высшей школы экономики.

роэтических исследований. Автор намеренно сформировал выборку проектов таким образом, чтобы каждый проект соответствовал следующим критериям:

- (1) крупный национальный или международный масштаб проекта;
- (2) текущий активный статус проекта (в настоящее время проект на стадии развертывания или роста);
- (3) главным сущностным методом изучения мозга и нервной системы в проекте является декларируемый в них метод сложного многоуровневого моделирования нейронов, нейронных сетей, функциональных зон мозга, церебральной, лимбической системы мозга, а также центральной и периферической нервной системы с дальнейшим вычислением полученных моделей через специально разработанные эффективно функционирующие компьютерные симуляции, максимально близко соответствующих по уровню сложности биологическим системам, относящимся к высшим животным — млекопитающим или человеку.

Такое ограничение проектов автором сделано целенаправленно ввиду стремления выявить ряд несвойственных ранее для нейроэтики, явлений, проблемных вопросов и способов их решения. Все рассматриваемые проекты, с точки зрения потенциального обновления и даже возможной перезагрузки предметной области нейроэтики, объединяют следующие общие характеристики:

- (1) возникновение новизны для нейроэтических исследований, в которых границы проблемного исследовательского поля расширяются от сугубо медицинского нейробиологического понимания предмета через математическое моделирование и компьютерные симуляции к многофакторному межсистемному анализу устройства мозга, позволяющего взглянуть с новых ракурсов на особенности природы сознания, интеллекта и их производных: культуры и морали;
- (2) повышение уровня междисциплинарности нейроэтических исследований за счет применения научных методов и практик, которые могут иметь отличия, возможно даже радикальные, от стандартных нейробиологических и медицинских подходов изучения мозга;
- (3) научное обогащение нейроэтики посредством усложнения исследовательской сети в результате вовлечения в проектную деятельность новых специалистов по математике, моделированию, программированию, инженерному делу;

- (4) постановка перед нейроэтикой вопросов на новых принципах, связанных не просто с мозгом человека, а с сознанием или интеллектом как феноменами, независимых от биологического субстрата; например, если предположить, что будет создана компьютерная симуляция полностью идентичная мозгу человека, то возникнут ли в ней сознание и интеллект? Если возникнут, то будет ли морально истинным утверждение, что над такой симуляцией недопустимо проводить какие-либо эксперименты, причиняющие страдание или боль сознанию, полученному таким образом? Нужно ли будет нормативно формализовать отношения с людьми, а возможно и приравнять к человеку новые виды самосознающих себя существ, появившихся в результате компьютерных симуляций мозга и нервной системы человека? Или морально допустимо наделить подобную сущность статусом, приравненным к животному, над которым допустимо проведение экспериментов во благо человечества?

Для структурной подачи информации автор придерживается следующей логики последовательного изложения материала статьи: в первой части статьи с аналитической точки зрения рассматриваются самые актуальные крупные и амбициозные проекты национального или международного масштаба по изучению мозга и применяемые в них исследовательские методы, во второй части — определяется место формально отводимое нейроэтике в исследуемых проектах и совершается попытка на основе критического анализа наиболее значимых работ оценить перспективы расширения её предметного поля; в третьей части автор проводит мысленный эксперимент, который призван выявить принципиальную корректность интерпретации происхождения феномена сознания как результата деятельности биологического субстрата мозга и нервной системы (специфика эксперимента в том, что его базовые предпосылки полностью опираются на концепции исследуемых в статье проектов компьютерных симуляций мозга).

ЧАСТЬ 1. ТЯЖЕЛЫЕ ПРОЕКТЫ ПРО ЛЕГКИЙ МОЗГ

1. КРАТКИЙ ОБЗОР ПРОЕКТОВ О МОЗГЕ

В данном разделе представлен перечень наиболее крупных в настоящее время проектов в области изучения человеческого мозга. В основе данных — информация исследовательского отчёта (Garden, Bowman

& Haesler, 2016) Организации Экономической Кооперации и Развития (ОЭСР) и статьи делегатов Мирового Саммита по Нейроэтике (Rommelfanger & Jeong, 2018), прошедшего в 2018 г. Проекты по исследованию мозга с 2013 г. стали национально значимыми направлениями бюджетного финансирования развитых стран (США, ЕС, Япония, Швейцария, Китай, Республика Корея, Австралия и Канада). Наиболее продолжительным проектом является Blue Brain Project, совместно финансируемый Швейцарским Правительством и корпорацией IBM. Общая сумма проектов, представленных в данном разделе, превышает 9 млрд. долл. США, среди которых 6 млрд. приходится на проект США и 1,2 млрд. на проект Европейского Союза — Human Brain Project (НБР).

Основные национальные и международные проекты в области изучения мозга:

- ◇ AUSTRALIAN BRAIN INITIATIVE, <https://brainalliance.org.au/>.
Цель. Консолидация национальных исследований о мозге в отрасли, которая будет способствовать увеличению знаний о мозге и, в свою очередь, обеспечит устойчивые социальные, медицинские и экономические преимущества для всех австралийцев.
Результат. Создание передовых отраслей в области нейротехнологий; разработка методов лечения мозговых расстройств; создание высокоэффективных трансдисциплинарных проектов, которые повысят и улучшат качество знаний о мозге.
Роль и место нейроэтики. Комитет по Нейроэтике в составе проекта ABI.
Бюджет и сроки. 500\$ млн., 2016–2021 гг.
- ◇ CANADIAN BRAIN RESEARCH STRATEGY, <https://canadianbrain.ca>.
Цель. Ускорение темпов исследований о мозге, поддержка нового поколения исследователей и их прорывных высокорисковых идей.
Результат. Сохранение за Канадой статуса одного из ведущих участников международных инициатив в области изучения мозга. Разработка и поддержка крупной канадской сети Открытых Научных исследований и Обмена Данными.
Роль и место нейроэтики. Комитет по Нейроэтике в составе проекта CBRS.
- ◇ CHINA BRAIN PROJECT.
Цель. Выяснить механизмы познания на базе нейронных сетей мозга, разработать новые диагностические подходы при расстройствах головного мозга, а также разработать вычислительные методы и устройства, основанные на принципах работы мозга.

Результат. Увеличение знаний о механизмах работы нервной системы, лежащих в основе высших когнитивных функций; молекулярные, визуальные и функциональные маркеры для ранней диагностики заболеваний головного мозга; физиологические и физические подходы для раннего вмешательства; новое поколение искусственных нейронных сетей, вычислительных устройств и интеллектуальных робототехнических систем.

Роль и место нейроэтики. Информация отсутствует.¹

Бюджет и сроки. 1000\$ млн., 15 лет с 2016 г., включая 5 лет на стартап период (Normile, 2018: 840–841).

- ◇ EU HUMAN BRAIN PROJECT, <https://www.humanbrainproject.eu/en/about/overview/>.

Цель. «...создание исследовательской инфраструктуры для развития нейроиформатики, моделирования мозга, высокопроизводительной аналитики и вычислительной техники, медицинской информатики, нейроморфных вычислений и нейробототехники» (Amunts, Ebell & Muller, 2016: 574–581).

Результат. Нейроморфные и нейробототехнические технологии; суперкомпьютерные технологии для моделирования мозга, управления роботами и автономными системами и других приложений с интенсивным использованием данных; персонализированная медицина для неврологии и психиатрии.

Роль и место нейроэтики. С 2013 г. действует Управление по Этике в составе Дирекции, реализуются Проект по Этике и Обществу (SP12), Программа по Этике; действует Внешний Консультативный Совет по Этике, а также Омбудсмен по Этике.

Роль и место нейроэтики. 1200\$ млн., из них 4% на поддержку развития Нейроэтики, 2013–2023 гг.

- ◇ JAPAN BRAIN/MINDS, <https://brainminds.jp/en/central/mission>.

Цель. «...проект направлен на создание масштабной карты мозга приматов, разработку новых технологий для исследователей, создание трансгенных линий для моделирования заболеваний головного мозга и интеграцию трансляционных результатов из ландшафта клинических биомаркеров» (Okano, Sasaki & Yamamori, 2016: 582–590).

¹В открытом доступе крайне мало информации о нейроэтических принципах China Brain Project. По этой теме была найдена лишь одна статья группы авторов из Китая: Wang, Yin & al., 2019.

Результат. Выработка методов визуализации высокого разрешения изображений для структурно-функциональных отделов мозга; получение методов контроля нейронной активности; определение причинно-следственных связей между структурным / функциональным повреждением нейронных цепей и фенотипами заболевания и в конечном итоге разработка инновационных терапевтических способов вмешательства.

Роль и место нейроэтики. Работает группа по Нейроэтике в Программе стратегических исследований для наук о мозге (SRPBS), которая отвечает за вопросы Нейроэтики в Brain/MINDS.

Бюджет и сроки. 300\$ млн., 2014–2023 гг.

◇ KOREA BRAIN INITIATIVE.

Цель. «...отображение функционального коннектома с возможностью поиска, многомерными и интегрированными в информацию функциями. Проект также включает разработку новых технологий и нейроинструментов для комплексного картирования мозга. Помимо научных целей, это грандиозное начинание в конечном итоге будет иметь социально-экономические последствия, которые не только будут способствовать глобальному сотрудничеству в сообществе нейробиологов, но и будут развивать различные промышленные и медицинские инновации, связанные с наукой о мозге» (Jeong, Lee & Huh, 2016: 607–611).

Результат. Создание платформ картирования мозга и высокопроизводительных технологий для раскрытия структурных и механистических основ высших функций мозга, таких как принятие решений, внимание и память в целях разработки систем искусственного интеллекта на основе принципов работы мозга.

Роль и место нейроэтики. Комитет по Нейроэтике в составе проекта KBI.

Бюджет и сроки. 350\$ млн., 2016–2026 гг.

◇ BLUE BRAIN PROJECT (SWITZERLAND).

Цель. Создание цифрового двойника мозга мыши и, в конечном счете, человеческого мозга на основе суперкомпьютерных технологий.

Результат. Нейроморфные вычислительные приложения для лучшего понимания принципов работы мозга, диагностики и лечения заболеваний головного мозга и нервной системы.

Бюджет и сроки. Более 100\$ млн.², проект начался в 2005 г.

◇ US BRAIN INITIATIVE, <http://www.braininitiative.org/alliance/>.

Цель. Ускорить разработку и применение новых технологий, позволяющих исследователям создавать динамические модели мозга, которые демонстрируют как отдельные клетки мозга и сложные нейронные сети взаимодействуют в процессе формирования и передачи мысли.

Результат. Полная цифровизация клеток мыши и, позже, человеческого мозга; получение технологий для точной модуляции активности определенных нейронных сетей; создание устройств для внутриклеточной записи высокой плотности *in vivo*; технологии для неинвазивного контроля деятельности человеческого мозга; определение связей деятельности мозга с поведением человека; создание инструментов анализа данных, для выявления биологических основ психических процессов.

Роль и место нейроэтики. Президентская Комиссия по изучению биоэтических проблем (2013–2015); в 2016 г. создана Рабочая Группа по Нейроэтике; гранты по нейроэтике (2017–2018); Подгруппа по Нейроэтике Консультативного Комитета при Директоре Нац. института здравоохранения США (2018–2019).

Роль и место нейроэтики. 6000\$ млн., годовые гранты на исследования по Нейроэтике составили 2 млн. долл. США (2017–2018), 2013–2025 гг.

Швейцарский проект, ставший основой для старта НВР, задал общий тон и повестку для большинства проектов, декларирующих своей главной целью фундаментальные исследования принципов работы мозга с дальнейшим прикладным применением полученных результатов в создании технологий, в частности нейроморфных процессоров и алгоритмов, которые могли бы быть реализованы на базе супервычислительных программно-аппаратных комплексов. Дорожная карта швейцарского проекта, привязанная к прогнозируемым темпам увеличения вычислительных компьютерных мощностей и принятая к началу запуска (рис. 1), не была реализована в срок. Экспертами это объясняется, с одной стороны, снижением темпа прироста вычислительных мощностей процессоров, который не учитывался при планировании

²Проект финансируется главным образом правительством Швейцарии, а также грантами и пожертвованиями частных лиц. Корпорация IBM предоставляет оборудование и техподдержку на некоммерческих условиях.

проекта в начале запуска, с другой стороны, увеличением уровня изоциренности технической реализации компьютерных симуляций клеток мозга по причине неожиданной изначально степени сложности природы нейронов, когда уместным оказывается моделирование, при котором каждый отдельный нейрон представляет собой сложную нейросеть³.



Рис. 1. Дорожная карта Blue Brain Project из статьи Markram, 2012: 53 одного из инициаторов проекта Генри Марккрама

В 2012 г. Марккрам, с воодушевлением рассказывая о том, как группе исследователей проекта удалось уже в 2005 г. получить модель нейрона, а в 2008 г. модель клеточной неокортикальной колонки из 10000 нейронных клеток, планировал к 2014 г. полностью решить задачу по компьютерной симуляции мозга мыши. К 2023 г. дорожная карта проекта по планам должна была привести к компьютерной симуляции мозга человека. Эти предположения строились на базе довольно смелого утверждения о зависимости детализации компьютерных симуляций нейронных сетей мозга от технических характеристик вычислительных машин (рост объема оперативной памяти и рост производительности ядер, измеряемый количеством совершенных арифметических операций с плавающей точкой в секунду). Такая оценка сейчас кажется наивной, но в 2005–2012 гг. на фоне триумфа закона Мура (Denning, Lewis, 2017), был велик соблазн предположить, что такой план реализуем и учитывать сложность природы нейронов, которая тогда для исследователей была не вполне очевидна, необязательно.

³См., например, видео доклада Идана Сегевы (Отделение нейробиологии Центра Эдмонда и Лили Сафры по наукам о мозге Еврейского университета в Иерусалиме) на Премии Чезаре Казелла 2019: <https://www.youtube.com/watch?v=sEiDxti0opE>.

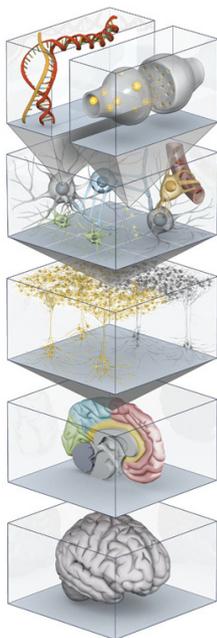


Рис. 2. Схема многоуровневого моделирования мозга Markram, 2012: 53 — пять базовых уровней сверху-вниз: молекулярный, клеточный, нейросетевой, функционально-зональный и общий уровень мозга как органа

Рассмотрим далее общие методологические черты проектов по созданию компьютерных симуляций нейронов в рамках рассматриваемых инициатив по изучению мозга.

2. ОСОБЕННОСТЬ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ МЕТОДОВ

Главная методологическая суть всех проектов может быть сведена к многослойному моделированию мозга (рис. 2). Ожидания большинства исследователей и участников проектов сформированы многоуровневым подходом к изучению мозга. Такой метод представляет собой попытку извлечь новые знания и закономерности, которые невозможно выявить в обычных лабораторных экспериментах ввиду накладываемых ограничений на их проведение: начиная от технических аппаратных, которые не могут фиксировать одновременно процессы, происходящие на разных уровнях мозга, и заканчивая существующими эпистемическими ограничениями в виде методов проведения лабораторных экспериментов в рамках конкретного теоретического направления и ограниченного числа гипотез.

Несмотря на достигнутые успехи в понимании механизмов работы отдельных клеток нейронов, уровень нейронных сетей пока для исследователей остается малоизученным по причине сложнейшей структуры самой сети групп нейронов, состоящей минимум из сотен нейронов, при том, что в объеме кубического миллиметра мозга располагаются десятки тысяч нейронных клеток, объединенных в сети.

В опубликованной в мае 2019 г. статье группы исследователей НВР (Einevoll, Destexhe & Diesmann, 2019) дается профессиональная оценка преодоления этой сложности для создания компьютерных симуляций нейросетевых структур. Упомянутые в той статье с должным уважением дескриптивные математические модели, используемые для вычислений статистических корреляций между зарегистрированной нейронной активностью (как правило, это потенциалы действия отдельных нейронов) и сенсорной стимуляцией или поведением живого организма,

справедливо отмечают как нерепрезентативные в части исследования природы образования нейронных сетей и взаимодействия нейронов внутри них. При этом не умаляются достоинства этих моделей: например, в работе по выявлению качественной зависимости скорости запуска нейрона в зрительной системе от зрительного стимула подробнее с которой можно ознакомиться в книге сотрудников Массачусетского Технологического Института (Dayan & Abbott, 2001). Решение проблемы авторы видят в моделировании каждого нейрона по отдельности и дальнейшем связывании их в сети. Ими упоминаются классические труды по моделированию нейронов и нейронных сетей, начиная с работы (Hodgkin & Huxley, 2011), в которой была разработана механистическая модель для генерации и распространения потенциала действия в аксонах гигантских кальмаров, основанной на биофизике моделирования отдельных нейронов и заканчивая уже современными работами по моделированию специфических типов нейронов, например, для клеток в сенсорной коре млекопитающих (Hay, Hill & Schurmann, 2011; Markram, 2015; Pozzorini, Mensi & Hagens, 2015), гиппокампе (Migliore, Cook & Jaffe, 1995) и таламусе (McCormick & Huguenard, 1992; Halnes, Augustinaite & Heggelund, 2011). Авторы подчеркивают, что на нейросетевом уровне большинство механистических исследований было сосредоточено на общих свойствах и рассматривались только стилизованные модели с одной или несколькими нейронными популяциями, состоящими из идентичных нейронов со статистически идентичными свойствами. В то время как, настоящие нейронные сети в мозге имеют гетерогенную по природе популяцию нейронов. Однако, авторы отмечают, что до сих пор, несмотря на значительные продвижения компьютерных симуляций нейронных сетей, в частности, состоящих из десятков тысяч нейронов, имитирующих кортикальные слои мозга млекопитающих (Traub, Contreras & Cunningham, 2005; Potjans & Diesmann, 2014; Markram, 2015; Schmidt, Bakker & Hilgetag, 2019; Arkhipov, Gouwens & Billeh, 2018), это направление исследований находится в зачаточном состоянии.

Волнительное для исследователей трехстороннее соединение уровня физико-химического (молекулярного), уровня клеточного (нейронного) и уровня нейронных сетей, является в рассматриваемых проектах главной методологической опорой, подкрепляемой реализуемой технологией компьютерных симуляций трех уровней материального субстрата в целях выявления закономерностей природы когнитивных способностей, интеллекта и сознания в рамках гипотезы их возможного воспроизводства независимо от конкретного биологического носителя.

Но сам процесс исследований методом компьютерных симуляций представляет многоуровневую конструкцию. Уже в проводимых модельных экспериментах исследователи выделяют минимум два уровня. Первый связан с применяемыми математическими моделями, достоверно описывающих отдельные физико-химические, биохимические, электрохимические процессы в нейронных сетях. Второй уровень — это специально разработанный программно-аппаратный высокопроизводительный вычислительный комплекс, который на практике должен уметь оперировать моделями, подобранными специалистами, и эффективно коррелировать симуляцию, координируя модели, описывающие процессы, которые реализуются на разных уровнях мозговых клеток. Каждый проект разрабатывает собственный симулятор на базе программно-аппаратного комплекса, например, в НБР он называется *The Virtual Brain*.

При этом, сами исследователи ставят нетривиальную для экспериментирования задачу. Так, упомянутые выше авторы (Einevoll, Destexhe & Diesmann, 2019: 737–738) проводят демаркацию между методами экспериментальной нейробиологии и компьютерными симуляциями частей или всего мозга. Главное отличие ими распознается в сути предназначения методов. В первом случае экспериментальные установки, условия и ход эксперимента, настраиваются таким образом, чтобы соответствовать определенной существующей уже гипотезе с целью получения ожидаемого прогнозируемого ответа на исследуемый биологический вопрос. В случае же компьютерных симуляций целью является не проверка конкретной гипотезы о функции мозга, а подтверждение эпистемологической ценности существующих и открытие будущих гипотез о мозге. Авторы, чтобы продемонстрировать это отличие, вполне удачно проводят аналогию с методом, который был применен Ньютоном, когда им было выдвинуто два математически выраженных закона (закон о силе притяжения двух тел и закон о силе движущегося тела) в противовес системы Птолемея о движении небесных тел. Всем известно, что сформулированные законы совпали с измерениями. Если бы этого не произошло, то Ньютон откорректировал бы математические формулы так, чтобы они отражали суть полученных измерений. Авторы утверждают, что исчисление было инструментом для проверки гипотез Ньютона относительно движения масс, но оно не

было частью самих гипотез. Компьютерные симуляции мозговых сетей по аналогии с исчислением должны быть инструментами для точных прогнозов измерений мозга для любой предполагаемой гипотезы о том, как спроектированы и работают нейронные сети мозга.

Однако авторами отмечается, что если Ньютон точно знал, что следует сравнивать: наблюдаемые планетарные орбиты и соответствующие орбиты, предсказанные его теорией, то в науке о мозге сравнение менее очевидно. Вероятно, что потенциалы действия являются основным носителем информации, но какие аспекты последовательности потенциалов действия должны имитироваться при моделировании мозга? Подробные временные последовательности потенциалов действия отдельных нейронов, коэффициентов вариации или скоростей срабатывания отдельных нейронов? Вывод авторов сводится к тому, что вопрос о том, какие критерии следует использовать для выбора наилучшей модели, в настоящее время не может быть полностью решен.

Помимо сложности выявления критериев, в работе отмечается крайне незначительные знания о структуре нейронных сетей и о том, каким образом сигналы, передаваемые от нейрона к нейрону в итоге трансформируются в когнитивную деятельность. Авторы упоминают сетевые модели, которые могут быть очень полезны для краткого и точного представления идей о том, как мозг может реализовывать когнитивные процессы. Например, модель Хопфилда, описывающая, как ассоциативная память может быть достигнута в рекуррентных сетях бинарных нейронов (Hopfield, 1982). Приводятся и современные разработки моделей такого типа для описания: визуального внимания (Reynolds & Desimone, 1999; Deco & Rolls, 2004), представления языка (van der Velde & de Kamps, 2006), принятия решений (Gold & Shadlen, 2007) и обучения (Brader, Senn & Fusi, 2007). Несмотря на то, что ни одна из этих работ не предсказывает конкретные подробные результаты нейрофизиологических экспериментов, их ценность, по мнению авторов, заключается в моделировании принципов гипотез о когнитивных явлениях, которые могут быть использованы в дальнейшей проектной работе НБР. Статья завершается призывом в необходимости проектов типа НБР, несмотря на высокие затраты и длительные сроки реализации симуляторов мозга (два основных компьютерных симулятора NEURON и NEST проекта НБР были разработаны в течение более, чем 25 лет), поскольку, по мнению авторов, у нас не существует других способов изучения мозга с точки зрения исследования его различных уровней в рамках единого эксперимента.

ЧАСТЬ 2. А ЧТО НЕЙРОЭТИКА?

МЕСТО И РОЛЬ НЕЙРОЭТИКИ В ПРОЕКТАХ ИЗУЧЕНИЯ МОЗГА

Нейроэтика впервые упоминается в начале 1970-х гг. (Pontius, 1973) и представляется в качестве самостоятельной академической дисциплины в начале 2000-х гг. в ходе серии рабочих встреч групп нейробиологов в США и Канаде (Canadian Institutes of Health Research, 2002, 2011). Нейроэтические исследовательские сообщества на сегодняшний день существуют во многих странах мира. В отчете OECD (Garden, 2016) приводятся следующие примеры:

- ◇ Международное общество нейроэтики (США): междисциплинарная группа ученых, специалистов по этике, медицинских работников, юристов и судей, преподавателей, политиков и других заинтересованных сторон для установления связей и сотрудничества в научных дисциплинах, секторах бизнеса, правительственных и неправительственных учреждениях, предоставления возможностей образования, обучения и наставничества для укрепления нейроэтики, а также участия в общественных форумах и дискуссиях с гражданами, журналистами и экспертами (<http://www.neuroethicssociety.org/>);
- ◇ Исследовательская группа по нейроэтике Программы стратегических исследований в области наук о мозге (Япония): создана Министерством образования, культуры, спорта, науки и технологий в 2008 году, поддерживает исследования функций человеческого мозга, помогает вовлекать в совместную деятельность общество и расширять его понимание проектов по исследованию мозга. Разработаны нормативные принципы, касающиеся этических вопросов, связанных с «неинвазивными исследованиями функций человеческого мозга» (<http://www.jnss.org/en/guideline/rinri/>);
- ◇ Оксфордский центр нейроэтики (Великобритания) финансируется в рамках стратегических премий «Биомедицинская этика» программы Wellcome Trust и направлен на проведение нейроэтических исследований в Великобритании и стимулирование разработки новых методологий, междисциплинарной работы и обучения студентов и аспирантов (<http://www.neuroethics.ox.ac.uk/home>).

В отчете OECD авторы, пытаясь структурировать предмет нейроэтики, ссылаются на работу Джеймса Джордано (Giordano, 2015: 58–59), где совершается удачная попытка визуализации сути дисциплины нейроэтики через шесть вопросов и шесть характеристик (табл. 1).

ШЕСТЬ ВОПРОСОВ	ШЕСТЬ ХАРАКТЕРИСТИК
<p>Какие виды технологий доступны для текущего использования, и каковы их преимущества, известные и потенциальные проблемные риски?</p>	<p>Возможности и ограничения рассматриваемой нейротехнологии и нейрохирургического вмешательства;</p>
<p>Почему конкретные методы и технологии рассматриваются или пропагандируются для использования, почему и как технические возможности могут влиять на выявление неврологических и психических расстройств и состояний, которые требуют лечения?</p>	<p>Последствия, которые будут нести пациенты, их семьи и общество в результате вмешательства в краткосрочной, среднесрочной и долгосрочной перспективе;</p>
<p>На какие расстройства и отклонения должны быть нацелены нейрохирургические вмешательства, какие конкретные пациенты будут кандидатами на такие вмешательства?</p>	<p>Характеристики пациента (например, модели познания, эмоций и поведения), на которые может повлиять вмешательство;</p>
<p>В каких случаях нейрохирургические вмешательства, такие как глубокая стимуляция мозга, будут рассматриваться в рамках терапии или лечения? Будут ли (и как) факторы, такие как возраст и сопутствующие заболевания, учитываться при принятии таких решений?</p>	<p>Непрерывная клиническая помощь при любых неблагоприятных или нежелательных эффектах и проявлениях вмешательства (включая междисциплинарные подходы или повторную нейрохирургию для изменения или отмены первоначального лечения);</p>
<p>Где будут применяться эти методы (например, крупные медицинские центры, центры частной практики, специальные исследовательские учреждения)?</p>	<p>Согласие, основанное на предоставлении максимально возможного объема информации;</p>
<p>Какие механизмы финансирования будут использоваться для субсидирования справедливого предоставления ресурсов и услуг, необходимых как для вмешательства, так и для любой последующей помощи, которая может потребоваться?</p>	<p>Контексты культуры и социальные обстоятельства, которые могут повлиять на вышеупомянутые переменные.</p>

Табл. 1. Основные шесть вопросов и характеристик нейроэтики
(Giordano, 2015: 58–59)

В этом же отчете отмечается, что, как и с любой новой технологией, в случае нейротехнологий общество сталкивается с рисками, которые невозможно прогнозировать, а последствия изменений социальных институтов по причине внедрения нейротехнологий могут недооцениваться современниками.

Здесь в области непрогнозируемого и выявляется основное значение нейроэтики. В статье (Salles, Evers & Farisco, 2019) при анализе влияния нейробиологических исследований на общество и культуру проводится разграничение двух подходов: (1) критическая нейробиология, призывающая к более глубокой рефлексивной нейробиологической практике, которая в значительной степени заставляет социальные науки исследовать потенциал и ограничения вопросов и методологий непосредственно самой нейробиологии; (2) собственно, нейроэтика, которая пытается дополнить дисциплину нейробиологии путем предоставления надежного набора этических и философских инструментов для анализа того, как исследования будут спроектированы и проведены, а также того, как результаты нейронаук влияют на отдельных людей и общество, в котором они живут.

Отдельно в статье выделяется подход «фундаментальной нейроэтики», сформулированный исследователями НВР, целью которого является проникновение внутрь концептуальной философии, чтобы исследовать, как научные результаты могут использоваться для рассмотрения ряда фундаментальных философских вопросов, а также узнать, как такие вопросы можно исследовать в контексте ответственных инноваций в исследованиях (англ. RRI, Responsible Research Innovation) — это нормативная база, доминирующая в политике и управлении стран ЕС, которая в целом поощряет участие заинтересованных сторон для коллективного обсуждения того, как наилучшим образом достичь социальных целей посредством технологических инноваций (ibid.: 201–202).

Значение RRI для проекта НВР с точки зрения проведения нейроэтических исследований крайне высоко. В работе (Salles, Vjaalie & Evers, 2019) группы исследователей НВР выделяются два главных фактора, которые обеспечивают значительное влияние нейроэтики внутри проекта: (1) с самого начала авторы и инициаторы НВР заложили в проект целевые исследовательские задачи, которые могут поднять различные этические, социальные и философские проблемы; (2) НВР финансируется Европейской комиссией в рамках программы ЕС Horizon 2020, который активно способствует выше упомянутому RRI.

Отмечая особое значение RRI, в статье (Salles, Bjaalie & Evers, 2019: 381) поясняется, что RRI является интерактивным процессом, который привлекает несколько заинтересованных сторон, взаимно и совместно реагирующих и работающих в направлении этической допустимости как самого исследования, так и полученных результатов. RRI призывает к согласованию науки и технологий с общественными потребностями через решения правовых, этических и социальных аспектов исследований и инноваций, уделяя внимание не только результатам, но и экспертизе ценностей, которые создают траекторию научных работ.

В статье (*ibid.*) отмечается, что RRI — это не просто набор рекомендаций для НВР, а главная причина создания субпроекта «Этика и Общество» в рамках НВР. Задача субпроекта — проведение этического, социального и философского анализа посредством развития, расширения и усиления RRI во всех исследованиях НВР. Субпроект не является внешним и встроен в рамки НВР, являясь его частью и получающий финансирование в размере 4,5% от суммы всего бюджета. Круг этических задач и выполняемых исследований субпроекта широкий⁴: от раннего выявления этических, социальных и философских проблем, ставящихся в границах потенциальных исследовательских задач НВР и их возможных последствий для взаимодействия с государственными и частными заинтересованными сторонами в попытке усилить общественный диалог и расширить возможности тех, кто может быть затронут исследованиями НВР через организации встреч граждан и диалога с заинтересованными сторонами, до изучения фундаментальных нейроэтических и философских проблем, например — природы сознания, интеллекта, морали и других значительных эпистемологических феноменов, которые могут быть изучены новыми методами в рамках НВР.

Европейский проект НВР наиболее показателен в организационной и технической эффективности использования подходов и методов нейроэтики и философии к исследовательским вопросам нейробиологии. Однако другие значимые проекты по изучению мозга также активно применяют в своей практике нейроэтические принципы и способы научных исследований. Так, согласно работе (Rommelfanger, Jeong & Ema, 2018)

⁴См. например, специальный информационный ресурс субпроекта «Этика и Общество» на котором выкладываются материалы и ведутся обсуждения по нейроэтике и философии в рамках НВР: <https://www.humanbrainproject.eu/en/social-ethical-reflective/neuroethics-and-philosophy/>.

проекты из Австралии, Канады и Кореи включили нейроэтику в исследовательский дизайн своих национальных исследовательских программ мозга. Китайские исследователи работают с правительством Китая над включением комитета по этике в проект СБР (China Brain Project). А в проект США US BRAIN Initiative было включено поручение Президентской комиссии по исследованию проблем биоэтики с изучением сопутствующих этических проблем, связанных с исследованиями в области нейробиологии. Признавая, что быстрые темпы развития технологий часто заменяют способы, которыми ученые и инженеры осознают социальные последствия своей работы, команда представила два отчета, подчеркивающих, что нейроэтика должна быть необходимой частью всех исследований нейробиологии и неотъемлемой частью подготовки следующего поколения нейробиологов. Эти отчеты сформировали реализацию программы нейроэтики US BRAIN Initiative, в том числе через крупномасштабные исследовательские гранты в области нейроэтики. В рамках US BRAIN Initiative создана рабочая группа по нейроэтике, управляющая портфелями грантов по нейроэтическим исследованиям.

Перечислив основные нейроэтические институты, действующие в рамках национальных проектов изучения мозга, авторы задаются вопросом о методологических ограничениях, накладываемых культурными особенностями. Так, этические ценности на исследования мозга могут отличаться у научных специалистов стран Запада (Европа, Канада и США) и стран Азии (Корея, Китай и Япония). Исходя из этой предпосылки, авторы формулируют основные нейроэтические вопросы, из которых далее выводятся межкультурные особенности и противоречия на проблему изучения мозга.

Перечислим эти вопросы:

- (1) Какое потенциальное воздействие оказывают нейробиологические модели в терминах нейронаук на человека, группу и общество?
 - (1.1) Каковы возможные непреднамеренные последствия исследований в нейробиологии, с точки зрения социальной дискриминации и общественного осуждения?
 - (1.2) Возможно ли, что социальный или культурный аспект оказывает воздействие на дизайн экспериментов или интерпретацию полученных научных результатов?
- (2) Что понимать под этическими стандартами применительно к биоматериалам, их сбору, а также механизмам сравнения и сопоставления местных стандартов с международными?

- (2.1) Каким образом можно защитить данные о мозге человека (например, изображения полушарий, нейронные записи и т. д.) и конфиденциальность участников, от которых получены данные, в случае немедленного их использования после эксперимента?
- (2.2) Следует ли уделять особое внимание к донорам тканей мозга с учетом их происхождения и прошлой истории?
- (3) Что именно понимать под нравственным значением нейронаучных систем, развивающихся в исследовательских лабораториях?
 - (3.1) Каковы необходимые минимальные критерии к инженерным нейронаучным подходам, необходимые для того, чтобы можно было утверждать об их моральном значении?
 - (3.2) Являются ли этические стандарты проведения исследований адекватными и соответствующими развивающимся методологиям и моделям мозга?
- (4) Как вмешательства в работу мозга могут повлиять на автономию личности?
 - (4.1) Какие меры могут быть приняты для обеспечения оптимальной автономии и посредничества между участниками/пользователями?
 - (4.2) Кто будет нести ответственность за последствия (в случае, если ответственность имеет широкую трактовку, охватывающая правовые, экономические и социальные контексты)?
- (5) В каких случаях может быть использована или внедрена инновационная разработка или технология в нейронауке?
 - (5.1) Какие разработки за пределами лаборатории могут считаться неприменимыми или наоборот лучше всего подходящими для использования?
 - (5.2) Вызывает ли исследование различные и уникальные проблемы в сфере справедливости и, если да, то учитывать ли равноправный доступ и получение выгоды всеми заинтересованными сторонами?

Стоит отметить, что сформулированные таким образом вопросы ярко демонстрируют как общее поле исследуемых проблем нейроэтики во всех проектах, так и подчеркивают отличия, обусловленные культурными особенностями стран. В работе (Rommelfanger, Jeong & Ema, 2018: 25–36) подробно разбирается каждый вопрос, с точки зрения различных культурных практик. Не будем подробно останавливаться на этом. Отметим лишь важность при проведении нейроэтических исследований

обращать внимание на аспекты культуры того сообщества, в котором организуются нейробиологические исследования мозга. Резонанс, который может возникнуть без учета этой специфики, по степени потрясения национальных и международных научных сообществ может быть сопоставим с недавними скандалами, вызванными заявлениями ученых из Китая о проводимых ими экспериментах по генетической модификации человеческого организма (Rana, 2019).

2.2. НОВАЯ НЕЙРОЭТИКА? НЕЙРОЭТИКА 2.0

Чтобы установить характер новизны и научную эффективность нейроэтических исследовательских методов в привязке к используемым в анализируемых проектах изучения мозга технологий компьютерных симуляций, перейдем к описанию теоретических и философских оснований классической нейроэтики. Отдельно уделим внимание вопросу становления новой нейроэтики в связи с распространением экспериментальных практик компьютерного моделирования мозга, которые методологически отличаются от классических экспериментальных практик нейробиологии по изучению мозга и высших форм нервной деятельности.

Нейроэтика прочно связана с развитием нейробиологии (шире — нейронаукой) и фундаментально базируется на научном взгляде работы сознания и мышления по закономерностям, которые выявляются в рамках нейробиологических дисциплин. В таком соотношении нейробиология претендует на то, чтобы занять не просто строго научную позицию по природе сознания, но и выстроить этическую концепцию, которая смогла бы объяснить и сконструировать такие социокультурные и гуманитарные явления, как мораль, нравственность, достоинство, совесть и т.д. Тем самым формируются прочные прямые и обратные связи между нейробиологией и нейроэтикой, образуя устойчивую гомеостатическую систему, которая оказывается крайне адаптивной как к философским этическим подходам, так и к гуманитарным научным дисциплинам, все чаще заимствующих для своих исследований нейробиологический нарратив при изучении социогуманитарных событий. Эрик Расин (Racine, Dabljević & Ralf, 2017: 329) упоминает, что подобные претензии на трактовку морально-этических принципов со стороны научной мысли предпринимаются не в первый раз. В прошлом такие амбициозные цели лелеяли френологи в 1850-х годах, которые утверждали, что их методы произведут революцию в нравственном воспитании (Fowler, 1855); немецкие нейроанатомы в начале 1900-х годов, утверждавшие,

что нейробиология создаст новую основу для гуманизма (Hagner, 2001); и, наконец, Расин вспоминает предложения научного сообщества в 1960-е годы дополнить медицинское образование уроками нейрофизиологии эмпатии. Принципиальное отличие современной нейробиологии от выше приведенных исторических примеров, Расин усматривает в двух главных пунктах: (1) колоссальное преимущество лабораторно-технической оснащенности современной нейробиологической от любой другой научно-медицинской дисциплины до 1970-х гг. (приводимая в качестве примера функциональная магнитно-резонансная томография по мнению Расина должна убедить читателя в этом); (2) беспрецедентный интерес к эмпирическим исследованиям в этике, начиная с 1970-х гг. (Расин вспоминает зарождение в эти годы эмпирической этики и экспериментальной философии).

Эти два фактора смогли зажечь пламя острой мотивации к использованию методов и экспериментальных результатов нейробиологии для превращения этики в эмпирическую и практическую дисциплину. Расин перечисляет последовавшие в 1980-х гг. серии нейробиологических экспериментов, выводы которых распространялись на такие этико-философские феномены, как свобода воли (Libet, 1983), моральные рассуждения и их связи с лобными поражениями коры головного мозга (Eslinger & Damasio, 1985), нравственное поведение через связь с аффективной функцией (Blair, 1995), а также эмоциональное участие в разрешении моральных дилемм при помощи методов МРТ (Greene, 2001). Углубляясь в тему нейроэтики, Расин затрагивает классическую работу Адины Роскиес (Roskies, 2002), где разбираются два циркулирующих потока, образующих дисциплину нейроэтики. Роскиес называет их этикой нейроисследований и нейронаучной этикой. Расин видит как минимум три группы исследователей, которые выражают: (1) солидарность с Роскиес и проводят конструктивную линию к взаимной конвергенции двух потоков, которые и образуют нейроэтику; (2) несогласие в какой-либо связи нейронаучной этики с нейроэтикой, которая соответствует больше этике нейроисследований; (3) недоумение общего характера, так как четко не выявляется какая-либо польза от этики для нейронауки.

И наконец, исходя из множества исследовательских философских и научных работ, Расин структурирует главные ожидания от нейроэтики следующим образом: (1) нейронаучная этика может внести вклад в более всеобъемлющую этическую теорию; (2) создание универсальной этической теории, которая выходит за рамки политических и культурных

различий; (3) новая этика на базе природы мозга; (4) внятные и транслируемые информационные данные и знания о характере и природе морали, исходя из процессов, связанных с устройством и работой мозга.

Если начать разбирать методологию нейроэтики, то в наибольшей степени для выявления ее структуры уместно сформулировать предметную классификацию, исходя из которой, можно выделить отдельные инструменты, соответствующие определенному виду исследовательского подхода, который может быть применен самостоятельно или в сочетании с другими подходами или методами. В работе Катинки Эверс (Evers, Salles & Farisco, 2017) хорошо представлена такая классификация.

Согласно Эверс, классификацию методологических подходов в рамках нейроэтики можно представить следующим образом: (а) нейробиоэтика или этика нейронауки (такое название используют многие исследователи, оно же выше было обозначено в дихотомии с нейронаучной этикой как этика нейроисследований), (б) эмпирическая нейроэтика и (в) концептуальная нейроэтика.

Далее, Эверс продолжает строить дерево классификации. Так, исследования *нейробиэтики* группируются по четырем пунктам:

- (1) Этические проблемы, сопровождающиеся нейронаучными исследованиями — например, информированное согласие, обработка случайных результатов и конфиденциальность.
- (2) Этические проблемы, возникающие в психиатрической и психологической практике и в клинической неврологии — например, уровень, при котором прогресс в нейробиологии способен удовлетворить потребности пациентов с расстройствами сознания (в случае комы, вегетативных состояний или минимально сознательных состояний).
- (3) Политические соображения, касающиеся некоторых возможностей, открываемых нейронаучными достижениями (например, когнитивное нейроусиление и неклиническое использование нейровизуализации).
- (4) Публичная коммуникация, позиционирование средств массовой информации, культурное и общественное понимание влияния нейронауки.

Разбирая *эмпирическую нейроэтику*, Эверс берет за основу определение Нортоффа (Northoff, 2009), который применяет этот термин к типу нейроэтических исследований, стремящиеся использовать нейронаучные данные для комментирования как практических, так и теоретических вопросов, не сосредотачиваясь на трансляционных проблемах,

в которых можно использовать полученные нейронаучные результаты. То есть, эмпирическая нейроэтика считает, что способна объяснять морально-этические законы в человеческом обществе через эмпирически полученные экспериментальные данные при исследованиях мозга и нервной системы. Но в то же время, эмпирическая нейроэтика не претендует на вскрытие природы морали и раскрытие философских этических конструктов даже в целях прагматического подхода, например, для повышения эффективности законов морали и этики в целях совершенствования социальных институтов или социальной жизни человека. Эверс формулирует главную проблему эмпирической нейроэтики как неспособность целенаправленно интерпретировать полученные нейробиологические данные, чтобы они смогли приобрести конкретную объяснительную или нормативную значимость.

Здесь Эверс проводит демаркационную линию между эмпирической и *концептуальной нейроэтикой*, выдвигая тезис о том, что, в то время как первая утверждает, что наблюдения о мозге имеют отношение к этическим и метафизическим концепциям без объяснения причин (предлагается аксиоматическая методика), вторая действительно занимается методологической проблемой. Согласно Эверс, для концептуального подхода связь между описательными соображениями, полученными из наблюдений о мозге, и нормативными соображениями необязательно самоочевидна: понимание этого требует некоторой концептуальной интерпретации нейробиологических результатов. Для концептуальной нейроэтики недостаточно аксиоматических наборов правил. Здесь важна выработка методологии *modus operandi*, которая изначально не будет опираться строго на научные или философские концепции.

В рамках концептуальной нейроэтики можно отметить две концепции: нейроэтика как метаэтика, развиваемая в основном Джеймсом Джордано (Giordano, 2011), и фундаментальная нейроэтика Эверс. Обе концепции изучают не просто объяснение морали и этики с точки зрения полученных нейробиологических экспериментальных данных, но и корректность фундаментальной детерминированности и взаимозависимости мозга и сознания. Концептуальная нейроэтика широким научным и философским охватом вбирает проблемное поле исследования этики с точки зрения материалистического взгляда на сознание.

Перейдем к анализу специфики нейроэтики на основе проектов изучения мозга посредством генерирования экспериментальных данных через компьютерные симуляции мозга и нервной системы человека. Эверс при обсуждении этой темы ссылается на работу Маркрама (Markram, 2013),

в которой, будучи одним из авторов и идеологов Европейского проекта НВР, им выделяются этические преимущества экспериментов, проводимых с помощью компьютерных симуляций.

А именно, такие эксперименты:

- ◊ не накладывают никаких ограничений на то, что мы можем зафиксировать, а это означает, что можно получить потенциально неограниченное количество данных из симуляций;
- ◊ не ограничивают количество симуляций, которые могут быть выполнены;
- ◊ повышают воспроизводимость экспериментов;
- ◊ могут помочь раскрыть относительную корреляцию между различными пространственными и временными масштабами в мозге.
- ◊ могут позволить моделировать заболевания головного мозга, которые будут иметь важные диагностические и прогностические последствия.

Маркус Кристен выделяет три важных аспекта компьютерных симуляций с точки зрения философского концептуального восприятия подобного рода исследований (Christen, 2013). Первый касается тесно переплетенной истории вдохновения работой мозга человека и попытки перенести эти принципы на первые кибернетические машины и алгоритмы Алана Тьюринга и Вон Неймана с дальнейшим обобщением принципов обработки информации вычислительными машинами для использования метафоры вычислительных алгоритмов в описании принципов работы мозга. Кристен подчеркивает взаимосвязь инструмента моделирования и объекта моделирования, а также выделяет важность метафоры информации в нейробиологии.

Второй аспект по Кристену — это набор последствий, вызванных попыткой взглянуть на нейробиологию в парадигме теории информации и вычислений. Иначе это можно емко обозначить как информатизация нейронауки.

Третий аспект описывает сценарий, при котором степень сложности компьютерных симуляций может настолько приблизиться к принципам работы мозга человека, что станет возможным утверждение о реалистичности появления в такой симуляции сознания интеллекта, мышления и их производных, среди которых главными для нейроэтики, с точки зрения исследовательского интереса, станут феномены морали и нравственности.

Какие этические вызовы могут возникнуть при новом способе изучения мозга и широкого применения информатизации нейронаучных

дисциплин? В рамках данной статьи автор предлагает классифицировать эти вызовы по трем основным группам, каждая из которых определяет специфическое проблемное поле нейроэтики, обладающее новыми, непохожими на традиционную нейроэтику, параметрами.

(1) Методологический вызов⁵:

- (1.1) По Кристену, предиктивные компьютерные модели являются важным расширением классического гипотетически-дедуктивного подхода в науке, потому что дедукция основывается на очень сложном процессе, который часто не может быть понятен экспериментатору, проводящему эмпирические исследования. Когда симуляции направляют эксперименты, они также могут вводить экспериментатора в заблуждение. Получается, что необходимо обеспечить тесное интенсивное сотрудничество между разработчиками моделей и специалистами, которые их используют;
- (1.2) Моделирование в качестве средства коммуникации основано на соглашениях о том, как визуализировать результаты, генерируемые симуляцией. Это означает, что опять необходимо обеспечивать интенсивную открытую коммуникацию разработчиков с пользователями симуляции;
- (1.3) Создание моделей знаний (то есть структурированный доступ к данным и публикациям, относящимся к явлениям, которые человек хочет смоделировать) связано с нормативными решениями, а именно с тем, что должно быть включено в эти библиотеки знаний, а что нет. Эта процедура отбора отличается от традиционной, основанной на экспертной оценке, поскольку последняя позволяет хранить противоречивые знания. Но при создании моделей иногда приходится выбирать, что именно хочет встроить разработчик, а что считает нужным удалить или не учитывать. Эта проблема усугубляется, когда «подтвержденные» знания подвергаются сомнению снова. Но когда эти знания уже глубоко внедрены в код моделирования, усилия по изменению велики, что приводит к искушению пренебречь этим несоответствием.

⁵В первую группу включены тезисы из статьи Christen, 2013.

- (2) Эпистемологический вызов:
- (2.1) Построение моделей и шире компьютерных симуляций мозга требует высокой квалификации специалистов, желательно одновременно разбирающихся на профессиональном уровне в нейробиологии, математическом моделировании, компьютерной инженерии, философии и этике. Такие требования могут поставить вопрос о механизмах отбора исследователей, которые должны будут преследовать цель работы в коллективах, состоящих из специалистов широкого профиля, адаптированных к режиму открытой коммуникации с разными исследователями и общественными институтами в рамках понимания и принятия как профессиональных задач, так и этических норм, соответствующих интересам всего общества.
- (2.2) Развитие проектов симуляции мозга целиком зависит от свободы распространения научной, юридической, этической и другой необходимой информации. Важным шагом является создание постоянно обновляемой доступной для всех исследователей и интересующихся проектами по изучению мозга базы данных и знаний. Помимо этого, специалисты должны обладать возможностью воспользоваться необходимыми вычислительными ресурсами, чтобы проверять свои гипотезы или вносить вклад в моделирование или проверку действующих моделей. А значит, такие ресурсы должны быть доступны и удобны, что вызывает множество организационных и этических вопросов, так как многие исследовательские площадки представляют собой закрытые сообщества, не готовые делиться с другими коллективами ни знаниями, ни вычислительными ресурсами.
- (2.3) В ходе полученных знаний и собранных данных так или иначе будет сделан вывод либо о целесообразности, либо о закрытии проектов из-за невозможности создать компьютерную симуляцию мозга, либо о пересмотре статуса нейронаук в свете открываемых новых гипотез и теорий (в том числе и противоречащих современным нейронаукам) в рамках работающих симуляций. В обоих случаях возникнут вопросы этического характера. В первом, неэффективная растрата денежных средств Правительств. Во втором, возможный конфликт исследователей, работающих в проектах

с представителями отдельных нейронаучных школ, отказывающихся принимать успешный результат проектов как концептуально релевантный для описания природы мозга и высших форм деятельности нервной системы.

(3) Онтологический вызов:

(3.1) Будет ли в итоге полученная максимальная приближенная к человеку компьютерная симуляция обладать антропологическими характеристиками — сознанием, мышлением, интеллектом? Приемлемо ли с этической точки зрения проводить на полученной симуляции эксперименты, причиняющие ей болевые ощущения, ментальные расстройства, эмоциональные и психические критические состояния? Как мы сможем понять, что полученная в итоге симуляция обладает сознанием? И в случае отсутствия прямых подтверждений этого (как, впрочем, и в случае невозможности испытать квалиа другого человека), уместно ли с этической точки зрения продолжать проводить эксперименты?

(3.2) Изменится ли с этической точки зрения онтологическое существование человека в случае успеха проекта симуляции мозга? Не будет ли успех проекта означать отмену в пост-проектном мире таких базовых конструктов, как автономии человеческой личности, свободы воли и мышления?

(3.3) Есть ли уверенность, что полученные в ходе проекта знания и технологии будут применены исключительно в мирных целях во благо людей и общества? Насколько этично использовать результаты проекта в военных целях, пропаганде и манипулятивном маркетинге?

ЧАСТЬ 3. НЕЙРОФИЛОСОФИЯ: ЧЕЛОВЕК — НАБОР НЕРВНЫХ КЛЕТОК

3.1. ЧЕЛОВЕК — ЭТО МОЗГ, А МОЗГ — ЭТО КОМПЬЮТЕР?

Определившись с главными этическими вызовами, стоящими перед нейронауками и новыми направлениями исследований с применением технологий компьютерных симуляций, автор попытается определить основания нейронаучных дисциплин и такого фундаментального мейнстримного направления интеллектуальной мысли, как нейрофилософия. Цель этого анализа — уточнить корректность нейроэтических основ,

с точки зрения философии сознания через применение базовых предпосылок нейронауки и компьютерных наук. То есть, автор через анализ аксиоматики нейронауки и нейрофилософии выстроит мысленный эксперимент, в ходе которого совершит попытку оценить релевантность и корректность убеждений о сознании и интеллекте как производных биологических процессов, протекающих в нервной системе и мозге, которые, в свою очередь, описываются как сложные многоуровневые вычислительные комплексы, передающие внутри себя потоки информационных данных.

При рассмотрении нейрофилософии стоит сразу отделить ее от философии нейронаук, поскольку эти две дисциплины нередко объединяются экспертами в одну. Однако по мнению ряда исследователей, это не так. Майкл Юнгерт в своей работе (Jungert, 2017) определяет философию нейронаук как частный раздел философии науки применительно к нейронаучным дисциплинам. Следовательно, при изучении предмета применяются классические концепции из общей философии. Вопросы, которые поднимаются, соответствуют обычным вопросам философии науки. Например, существует ли специфический научный метод в нейронаучных дисциплинах? Существуют ли особые виды объяснения в нейробиологии, которые отличаются от типов объяснений в других областях науки? Какие концепции причинности или редукции участвуют в объяснительных практиках внутри нейронауки?

Когда описывают подходы нейрофилософии, то обычно ссылаются на ставшую в свое время революционной работу Патрисии Черчлэнд (P. S. Churchland, 1986), где нейрофилософия концептуально обозначается как дисциплина, которая не может не учитывать эмпирических данных нейронаук в исследованиях классических предметных областей философии: интеллект, сознание, мышление, этика и т.д. Четкой грани, разделяющей эмпирические научные данные и неэмпирические философские вопросы для нейрофилософии, по Черчлэнд, не существует. Имеется общее познавательное поле с взаимным проникновением нейронауки и философии. С этого важного рубежа главный нарратив научного натурализма прочно вошел в мейнстрим философской мысли о сознании. В такой трактовке может показаться, что нейрофилософия монолитна и характеризуется изучением разделов классической философии с помощью набора нейробиологических методов и экспериментальных данных. Однако Юнгерт на примере теории идентичности

и памяти (Jungert, 2017: 8–10) показывает, что нейробиология и нейрофилософия пребывают в постоянном взаимодействии как два сообщающихся сосуда, между которыми происходит непрерывный динамический взаимообмен — в рамках изучения философских вопросов они оказываются связанными, но не представляют монолитной семантической структуры единой дисциплины.

Нейроэтика активно заявившая о себе в начале текущего столетия, нашла изначально опору в нейрофилософии, когда локальные вопросы о детерминистической связи поведения и эмоций человека с нейронной активностью мозга стали расширяться до общих философских, включивших в себя исследования о природе морали, этики и нравственности в рамках натуралистического нарратива и элиминативного материализма. Окончательное формирование дисциплины нейроэтики, как мы знаем ее сегодня, произошло с инициированием исследований влияния генерируемых новых данных и знаний нейронауки на морально-нравственные сферы жизни человека и общества, а также важность влияния философии морали и этики на общий ход развития нейробиологических исследований.

Но насколько практична такая картина о сознании и интеллекте на самом деле? Не заложено ли внутреннее противоречие в нейроэтике, опирающейся на нейрофилософию, которая в свою очередь ищет ключи к классическим философским вопросам в искусственно доведенном до предела нарративе научного натурализма и элиминативного материализма, ставящего цель решить вопрос о природе сознания его простой ликвидацией как предмета исследования, наподобие удаления флогистона из научной картины мира на фоне более удачной концепции химической реакции кислорода с горючим материалом (Feuerabend, 1963; P. M. Churchland, 1981)? Не будет ли при реализации такого замысла снята с повестки вся предметная область нейроэтики? Зачем нужна нейроэтика, если такие категории, как сознание, мораль, нравственность перестанут быть предметом исследований, по крайней мере, научных? На что будет опираться нейроэтика, когда ее цели будут обозначаться как научно не классифицируемыми? Такие вопросы задают сегодня довольно часто. По мнению автора, на них можно не отвечать — вопросы такой категории своей постановкой уже формируют прочный антитезис к нейрофилософским подходам. Антитезис, который емко с подачи немецкого философа Маркуса Габриэля можно обозначить через термин нейрофетишизма (Gabriel, 2017), культ которого может

представлять угрозу не только для гуманитарных подходов в изучении человека, но и для естественнонаучных дисциплин в результате широкого применения упрощенных форм для представления сложных феноменов по типу мышления или сознания.

Второй по важности после научного натурализма большой нарратив нейронаук и нейрофилософии — это представление мозга как сложной вычислительной машины, алгоритмы которой работают по принципам нейронной передачи и обработки информации. Простейший элемент обработки информации в таком компьютере — это нейрон, на вход которого поступает информация в виде электрического сигнала из другого нейрона, находящегося в мозге в нейронной сети или сенсорной клетке. Далее нейрон передает информацию в виде заряда (в зависимости от весового коэффициента нейрона точно такой же или измененный) другому нейрону или сенсорно-моторной клетке организма. Таким образом, нейрон вычисляет свой общий вход, обычно математически рассматриваемый как сумма произведений силы сигнала на каждой входной линии, умноженной на синаптический вес на этой линии. Затем он вычисляет новое состояние активации на основе своего общего входного и текущего состояния активации, а также новое выходное состояние на основе своего нового значения активации. Выходное состояние нейрона передается в виде силы сигнала на любые нейроны, на которых находятся его синапсы аксонов. Выходное состояние систематически отражает новое состояние активации нейрона. Мощности такого компьютера действительно впечатляют, учитывая общее количество нейронных клеток в мозге и невероятно сложную архитектуру биологических нейронных сетей.

Под воздействием этого нарратива возникла отдельная дисциплина — вычислительная нейробиология (англ. Computational Neuroscience). Апологеты этой дисциплины (Churchland, Koch & Sejnowski, 1990; Churchland & Sejnowski, 1992; Eliasmith, 2003; Eliasmith, 2013; Eliasmith & Anderson, 2003; Piccinini & Bahar, 2013; Piccinini & Shagrir, 2014) уверены в ее успехе по причине того, что, по их мнению, в отличие от исключительно математических приближений и абстрактных моделей классических нейросетей типа модели Маккаллока-Питтса, вычислительная нейробиология стремится к большему биологическому реализму, чем грубые модели, эксплуатирующие только общие представления о работе нейронов. С середины прошлого века развивается вычислительная теория мышления (англ. computational theory of mind), которая окружена пристальным вниманием со стороны специалистов когнитивных наук,

нейробиологии, нейрофилософии и других дисциплинах, где феномен сознания тесно связывается со строением мозга и происходящих в нем процессов натуралистического характера. В вычислительном описании процессов внутри мозга эти дисциплины видят ключ к объяснению связей нейрофизиологической природы и интенциональных состояний. Ключ, который сегодня остается весомым аргументом в помощи описания сознания, разума и интеллекта с точки зрения главного нарратива нейрофилософии: сознание — это мозг.

А мозг — это сложный компьютер, который обрабатывает входящую информацию по определенным алгоритмам и генерирует исходящую информацию по другим наборам алгоритмов. Такая концептуальная связка сознания и мозга как компьютера со сверхсложной вычислительной архитектурой полностью вписывается в картину научного натурализма и материализма в рамках которой описание сознания и интеллекта остается единственно возможным шансом стать успешным. Если же эта гипотеза заведет в тупик, то у сторонников идеи сознания как продукта мозговой деятельности, останется лишь вариант удаления самого понятия сознания из научного дискурса. Так, согласно позиции элиминативного материализма, множество ментальных представлений, включая сознание, являются объективно ложными и не несут в себе научно верифицируемых характеристик, а значит не могут быть использованы в научном дискурсе и изучены в научно-исследовательской практике. Необходимо предельно ясно понимать, что определение «мозг — это компьютер» в рассматриваемом случае не является метафорой, а соответствует конкретному натуралистическому представлению о функциональной сути мозговой деятельности: вычисление информации через выполнение набора алгоритмов. Под алгоритмом понимается его формальное определение, например, через классический тезис Черча-Тьюринга: алгоритм — это все то, что может сделать машина Тьюринга⁶.

Если мы принимаем предлагаемое определение мозга как вычислительной машины, то встает вопрос о соотношении синтаксиса и семантики, который, в свою очередь, усиливает акцент на интенциональности и неформализуемых существующими методами поведенческих характеристиках сознания. Таким образом возможно (по крайней мере, при первых интуитивных усилиях) раскрыть эту проблематику.

⁶Более подробно о машине Тьюринга см., например, здесь: <https://www.hse.ru/mirror/pubs/share/167262307>.

Однако еще в начале прошлого века Фреге удалось провести строгую формализацию дедуктивного мышления (Frege, 1879), что позволило впоследствии выявить строгую зависимость вычислений от формальных синтаксических элементов, которые могут формировать семантику, но в то же время не проистекают из нее и не имеют по отношению к ней подчиненной детерминистической ролевой природы. Между современными специалистами по вычислительной нейробиологии могут быть споры поверхностного уровня, например, вокруг того, исключительно ли синтаксическими данными манипулирует нейронная сеть? По сущностной же позиции о том, что вычисления нечувствительны к семантике, между исследователями установлен прочный консенсус. Остается открытым вопрос о необходимости применения формального синтаксического описания больших когнитивных систем, которые сейчас все еще продолжают быть в поле интенционального описания с опорой на семантику, а не синтаксис (Burge, 2013: 479–480).

Тем самым можно выделить два больших нарратива, которые создают концепцию сознания и интеллекта как производных структур от нейросубстанции:

- (1) Научный натурализм и материализм, объясняющие все фиксируемые явления с точки зрения природы и ее материальной структуры. Отсюда следует, что сознание — это продукт деятельности сложных взаимодействий материалистической природы внутри мозга и нервной системы.
- (2) Мозг — это компьютер, который обрабатывает информацию по определенному набору алгоритмов. Каузальность вычислений выстроена синтаксисом.

3.2. МЫСЛЕННЫЙ ЭКСПЕРИМЕНТ «ЧЕЛОВЕЧЕСКИЙ МОЗГ — САМЫЙ ВЫСОКОПРОИЗВОДИТЕЛЬНЫЙ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЙ КЛАСТЕР»

Исходя из выше выделенных характеристик повествовательного описания природы сознания, проведем мысленный эксперимент, который будет опираться на представление о человеческом мозге как самом высокопроизводительном вычислительном кластере в мире.

Чтобы эффективно провести эксперимент автор заимствует термин из области компьютерных симуляций научных экспериментов. Такие симуляции обычно проводятся на сложнейших программно-аппаратных комплексах и призваны максимально детализировано реализовать экспериментальные модели через динамические компьютерные симуляции, наподобие рассмотренных автором в первой части данной статьи.

В 2009 году философ-исследователь Пол Хамфрис в своей статье (Humphreys, 2009) проводит критический разбор, который стал ответом на совместную авторскую работу Романа Фригга и Джулиан Рейсс (Frigg & Julian, 2009), совершивших в ней попытку утвердить мысль о том, что компьютерные симуляции научных экспериментов не имеют в своей основе философской новизны. Хамфрис при анализе состоятельности эпистемологической составляющей компьютерных симуляций использует термин «антропоцентрическое затруднение» (англ. anthropocentric predicament). Этот термин используется им при рассмотрении одного из двух возможных сценариев развития науки, называемым гибридным, суть которого сводится к научной деятельности, выполняемой как человеком, так и вычислительными машинами. Второй сценарий называется Хамфрисом автоматическим и подразумевает полное исключение человека из области научного познания мира. Несмотря на то, что Хамфрису более интересен второй сценарий, в приводимой статье разбирается исключительно первый, так как в нем сохраняется влияние когнитивной природы человека, необходимой для полемики с Фриггом и Рейсс. Если свести термин антропоцентрического затруднения к пределу, то суть его заключена в том, что сложность компьютерных симуляций превосходит когнитивные способности отдельного ученого или даже группы исследователей настолько, что наблюдать за ходом процессов параллельных вычислений в динамической модели равно как и предугадывать их исход не представляется возможным даже в теории.

Помимо этого компьютерные симуляции, с точки зрения философского постпозитивизма, представляют не меньшую эпистемологическую ценность, чем традиционные экспериментальные модели типа аэродинамической трубы или лабораторных грызунов (Parker, 2009). Компьютерные симуляции в виде объекта эксперимента как в случае лабораторного эксперимента не сводятся к сумме свойств или относительной экстраполяции полученных данных из физической модели. В компьютерных симуляциях можно учесть такой недостаток и с максимальной точностью приблизиться к свойствам целевой системы эксперимента. Цель таких симуляций не подтверждение существующих теорий и гипотез, а открытие новых, что уже на концептуальном уровне закладывает в них неконтролируемость их результатов со стороны исследователей.

Для проведения мысленного эксперимента примем следующие допущения:

- (1) Принимается физикалистский взгляд на нервную систему и мозг как сложную биохимическую вычислительную машину (Stekeler-Weithofer, 2008), согласно двум выше рассмотренным базовым нарративам: (1) научный натурализм и материализм; (2) мозг — сложный компьютер.
- (2) Эксперименты с мозгом проводятся нейрофизиологами и другими исследователями как натурные, как если бы изучение свойств компьютера проводилось непосредственно с компонентами самого компьютера без их моделирования.

Приняв основные допущения, можно приступить к мысленному эксперименту, в котором мозг и нервная система представляют собой самый высокопроизводительный вычислительный кластер в мире, к которому имеют прямой доступ исследователи с лучшими измерительными приборами, способных измерить любые физические, электрохимические и другие показатели работы ресурса вычислительной системы. Цель исследователей: обнаружить закономерности, по которым формируются ментальные состояния. Принимая в расчет антропоцентрическое затруднение, приходим к выводу о том, что исследователи, выступающие в качестве субъекта эксперимента, не способны проследить за всеми процессами, которые динамически совершаются в вычислительной системе, а значит прогнозы и заключения, опирающиеся исключительно на входящие и исходящие данные такой системы, будут, как минимум, неточными, а фундаментально — с большой вероятностью ложными. Проблема усложняется тем, что в отличие от компьютерных симуляций научных экспериментов в данном случае исследователи ничего не знают о моделях, заложенных в вычислительную систему. Она оказывается для них черным ящиком. Единственным возможным источником изучения этих моделей является собственное сознание, но на него также будет распространяться антропоцентрическое затруднение все по той же причине. Исследователь может воспринимать и описывать свое сознание лишь частично (заостря внимание на его интенциональных характеристиках), а учитывая огромное количество процессов, как внутренних, так и внешних, направленных в обход сознания, но оказывающих на него влияние — подобное восприятие можно считать бесполезным для достижения цели исследователей. Получается, что в рассматриваемой вычислительной системе принципиально невозможно установить характер и суть расчетных моделей ни с уровня физикалистских, ни с уровня субъективно ментальных изысканий. Это означает, что любые эксперименты с вычислительным ресурсом на уровне его физического субстрата

или доступного для восприятия интерфейса не приведут к получению достоверных и точных моделей, обрабатываемых этим кластером.

Такой мысленный эксперимент, по мнению автора, демонстрирует наивность любых попыток изучения сознания и его морально-нравственных, этических и других высших производных характеристик через эксперименты с нервными клетками или любым другим физическим субстратом.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе работы удалось рассмотреть наиболее значимые современные национальные и международные проекты по изучению мозга с точки зрения определения координат нейроэтических исследовательских практик в рамках этих проектов. Анализ самых крупных из них продемонстрировал внушительные финансовые ресурсы, выделяемые на организацию систематических нейроэтических исследований в рамках специально сформированных структур внутри проектов. Каждый из проектов имеет национальное значение и на каждый из них национальные правительства возлагают большие надежды для решения актуальных проблем медицинского, социального, экономического и технологического характера.

Важной объединяющей темой проектов стала методология исследования мозга и форм высшей нервной деятельности. Главным инструментарием исследований стало многоуровневое моделирование мозга с помощью сложных программно-аппаратных комплексов. Математические модели мозга, применяемые в проектах и предназначенные для максимально детализированных компьютерных симуляций, объединяющих все функциональные уровни мозга, поднимают перед нейроэтикой как традиционные, так и новые вопросы относительно сути природы сознания, морали и этики. Оттолкнувшись от традиционной классификации шести вопросов и шести характеристик нейроэтики, удачно сформулированных и сведенных в таблицу Джеймсом Джиардано, выявляются предпосылки для формирования новой нейроэтики перед которой встают новые вызовы. Для их формулирования и классификации автор детально разбирает:

- (1) взаимосвязи нейроэтики и нейробиологии, чтобы определить причины мотивационной сути научного натурализма формировать морально-этическую и социально-культурную повестку;

- (2) классификацию методологических подходов нейроэтики Катинки Эверс с выделением нейробиоэтики, эмпирической нейроэтики, соответствующей определению Нортгоффа и концептуальной нейроэтики, которая в свою очередь разделяется на концепцию нейроэтики как метаэтики и концепцию фундаментальной нейроэтики;
- (3) преимущества новой нейроэтики, основанной на экспериментировании с компьютерными симуляциями, а не биологическими организмами;

Исходя из выстроенного анализа, автор выстраивает классификацию новых вызовов, которые меняют саму нейроэтику:

- (1) Методологический вызов;
- (2) Эпистемологический вызов;
- (3) Онтологический вызов.

Наконец, в статье разбираются основы нейрофилософии с точки зрения критического взгляда философа. Два основных нарратива формируют мир нейронаук и нейрофилософии:

- (1) Научный натурализм и материализм;
- (2) Определение мозга как вычислительного механизма обработки информации.

Статья завершается постановкой мысленного эксперимента на базе основных предпосылок нейрофилософии. Мозг человека в эксперименте предстает как самый мощный высокопроизводительный вычислительный кластер, обладающий всеми необходимыми для этого характеристиками. Но при попытке исследовать мозг методами нейробиологии при заданных условиях, он оказывается втянут в антропоцентрическое затруднение Хамфриса, которое лишает всякого смысла выявить каузальные связи нейробиологических процессов внутри мозга со сложными информационными моделями, которые могут формировать такие феномены как сознание и интеллект.

ЛИТЕРАТУРА

- Amunts K., Ebell C., Muller J.* The Human Brain Project : Creating a European Research Infrastructure to Decode the Human Brain // *Neuron*. — 2016. — Vol. 92, no. 3. — P. 574–581.
- Arkhipov A., Gouwens N. W., Billeh Y. N.* Visual Physiology of the Layer 4 Cortical Circuit in Silico // *PLOS Computational Biology*. — 2018. — Vol. 14, no. 11.
- Blair R.* Cognitive Developmental Approach to Morality : Investigating the Psychopath // *Cognition*. — 1995. — Vol. 57, no. 1. — P. 1–29.

- Brader J. M., Senn W., Fusi S.* Learning Real-World Stimuli in a Neural Network with Spike-Driven Synaptic Dynamics // *Neural Computation*. — 2007. — Vol. 19, no. 11. — P. 2881–2912.
- Burge T.* Cognition through Understanding : Self-Knowledge, Interlocution, Reasoning, Reflection: Philosophical Essays. Vol. 3. — Oxford : Oxford University Press, 2013.
- Christen M.* The Neuroethical Challenges of Brain Simulations / Meeting of IACP, University of Maryland at College Park. — 2013. — URL: https://www.encyclog.com/_up1/files/2013_Christen_IACP.pdf (visited on Mar. 20, 2020).
- Churchland P. M.* Eliminative Materialism and the Propositional Attitudes // *The Journal of Philosophy*. — 1981. — Vol. 78, no. 2. — P. 67–90.
- Churchland P. S.* Neurophilosophy. — Cambridge, MA : MIT Press, 1986.
- Churchland P. S., Koch C., Sejnowski T.* What Is Computational Neuroscience? // *Computational Neuroscience* / ed. by E. Schwartz. — Cambridge : MIT Press, 1990. — P. 46–55.
- Churchland P. S., Sejnowski T.* The Computational Brain. — Cambridge : MIT Press, 1992.
- Dayan P., Abbott L.* Theoretical Neuroscience : Computational and Mathematical Modeling of Neural Systems. — Cambridge : MIT Press, 2001.
- Deco G., Rolls E. T.* A Neurodynamical Cortical Model of Visual Attention and Invariant Object Recognition // *Vision Research*. — 2004. — Vol. 44, no. 6. — P. 621–642.
- Denning P. J., Lewis T. G.* Exponential Laws of Computing Growth // *Communications of the ACM*. — 2017. — Vol. 60, no. 1. — P. 54–65.
- Einevoll G. T., Destexhe A., Diesmann M.* The Scientific Case for Brain Simulations : Strengthening Responsible Innovation in Brain Science // *Neuron*. — 2019. — Vol. 102, no. 3. — P. 735–743.
- Eliasmith C.* Moving Beyond Metaphors : Understanding the Mind for What It Is // *Journal of Philosophy*. — 2003. — Vol. 100, no. 10. — P. 493–520.
- Eliasmith C.* How to Build a Brain : A Neural Architecture for Biological Cognition. — Oxford : Oxford University Press, 2013.
- Eliasmith C., Anderson C. H.* Neural Engineering : Computation, Representation and Dynamics in Neurobiological Systems. — Cambridge : MIT Press, 2003.
- Eslinger P., Damasio A.* Severe Disturbance of Higher Cognition after Bilateral Frontal Lobe Ablation : Patient EVR // *Neurology*. — 1985. — Vol. 35, no. 12. — P. 1731–1741.
- Evers K., Salles A., Farisco M.* Theoretical Framing of Neuroethics : The Need for a Conceptual Approach // *Debates About Neuroethics : Perspectives on Its Development, Focus, and Future* / ed. by E. Racine, J. Aspler. — Cham : Springer, 2017. — P. 89–107.
- Feyerabend P. K.* Comment : Mental Events and the Brain // *The Journal of Philosophy*. — 1963. — Vol. 60, no. 11. — P. 295–296.

- Fowler L.* Familiar Lessons on Physiology : Designed for the Use of Children and Youth in Schools and Families. — New York : Fowler, Wells, 1855.
- Frege G.* Begriffsschrift, a Formula Language, Modeled upon That of Arithmetic, for Pure Thought // From Frege to Gödel: A Source Book in Mathematical Logic, 1879–1931 / J. van Heijenoort. — Cambridge (MA) : Harvard University Press, 1879. — P. 1–82.
- Frigg R., Julian R.* The Philosophy of Simulation : Hot New Issues or Same Old Stew? // Synthese. — 2009. — Vol. 169, no. 3. — P. 593–613.
- Gabriel M.* Against Neurofetishism / Radboud University. — 2017. — URL: <https://youtu.be/WHxjZBDv7-k> (visited on Mar. 20, 2020).
- Garden H.* Neurotechnology and Society : Strengthening Responsible Innovation in Brain Science // Neuron. — 2016. — Vol. 92, no. 3. — P. 642–646.
- Garden H., Bowman D., Haesler S.* Neurotechnology and Society : Strengthening Responsible Innovation in Brain Science // Neuron. — 2016. — Vol. 92, no. 3. — P. 642–646.
- Giordano J.* Neuroethics : Interacting “Traditions” as a Viable Meta-Ethics // AJOB Neuroscience. — 2011. — Vol. 2, no. 2. — P. 17–19.
- Giordano J.* A Preparatory Neuroethical Approach to Assessing Developments in Neurotechnology // American Medical Association Journal of Ethics. — 2015. — Vol. 17, no. 1. — P. 56–61.
- Gold J. I., Shadlen M. N.* The Neural Basis of Decision Making // Annual Review of Neuroscience. — 2007. — Vol. 30. — P. 535–574.
- Greene J.* An fMRI Investigation of Emotional Engagement in Moral Judgment // Science. — 2001. — Vol. 293, no. 5537. — P. 2105–2108.
- Hagner M.* Cultivating the Cortex in German Neuroanatomy // Science in Context. — 2001. — Vol. 14, no. 4. — P. 541–563.
- Halnes G., Augustinaite S., Heggelund P.* A Multi-Compartment Model for Interneurons in the Dorsal Lateral Geniculate Nucleus // PLOS Computational Biology. — 2011. — Vol. 7, no. 9.
- Hay E., Hill S., Schurmann F.* Models of Neocortical Layer 5b Pyramidal Cells Capturing a Wide Range of Dendritic and Perisomatic Active Properties // PLOS Computational Biology. — 2011. — Vol. 7, no. 7.
- Hodgkin A. L., Huxley A. F.* A Quantitative Description of Membrane Current and Its Application to Conduction and Excitation in Nerve // The Journal of Physiology. — 2011. — Vol. 117, no. 4. — P. 500–544.
- Hopfield J. J.* Neural Networks and Physical Systems With Emergent Collective Computational Abilities // Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America. — 1982. — Vol. 79, no. 8. — P. 2554–2558.
- Humphreys P.* The Philosophical Novelty of Computer Simulation Methods // Synthese. — 2009. — Vol. 169, no. 3. — P. 615–626.
- Jeong S. J., Lee H., Hur E. M.* Korea Brain Initiative : Integration and Control of Brain Functions // Neuron. — 2016. — Vol. 92, no. 3. — P. 607–611.

- Jungert M.* Chapter 1—Neurophilosophy or Philosophy of Neuroscience? : What Neuroscience and Philosophy Can and Cannot Do for Each Other // *The Human Sciences After the Decade of the Brain* / ed. by J. Leefmann, E. Hildt. — San Diego : Academic Press, 2017. — P. 3–13.
- Libet B.* Time of Conscious Intention to Act in Relation to Onset of Cerebral Activity (Readiness-Potential) : The Unconscious Initiation of a Freely Voluntary Act // *Brain*. — 1983. — Vol. 106, no. 3. — P. 623–642.
- Markram H.* The Human in Brain Project // *Scientific American*. — 2012. — Vol. 306, no. 6. — P. 50–55.
- Markram H.* Seven Challenges for Neuroscience // *Functional Neurology*. — 2013. — Vol. 28, no. 3. — P. 145–151.
- Markram H.* Reconstruction and Simulation of Neocortical Microcircuitry // *Cell*. — 2015. — Vol. 163, no. 2. — P. 456–492.
- McCormick D. A., Huguenard J. R.* A Model of the Electrophysiological Properties of Thalamocortical Relay Neurons // *Journal of Neurophysiology*. — 1992. — Vol. 68, no. 4. — P. 1384–1400.
- Migliore M., Cook E. P., Jaffe D. B.* Computer Simulations of Morphologically Reconstructed CA3 Hippocampal Neurons // *Journal of Neurophysiology*. — 1995. — Vol. 73, no. 3. — P. 145–151.
- Normile D.* China's Ambitious Brain Science Project Inches Forward // *Science*. — 2018. — Vol. 360, no. 6391. — P. 840–841.
- Northoff G.* What Is Neuroethics? : Empirical and Theoretical Neuroethics // *Current Opinion in Psychiatry*. — 2009. — Vol. 22, no. 3. — P. 565–569.
- Okano H., Sasaki E., Yamamori T.* Brain/MINDS : A Japanese National Brain Project for Marmoset Neuroscience // *Neuron*. — 2016. — Vol. 92, no. 3. — P. 582–590.
- Parker W. S.* Does Matter Really Matter? : Computer Simulations, Experiments, and Materiality // *Synthese*. — 2009. — Vol. 169, no. 3. — P. 483–496.
- Piccinini G., Bahar S.* Neural Computation and the Computational Theory of Cognition // *Cognitive Science*. — 2013. — Vol. 37, no. 3. — P. 453–488.
- Piccinini G., Shagrir O.* Foundations of Computational Neuroscience // *Current Opinion in Neurobiology*. — 2014. — Vol. 25. — P. 25–30.
- Pontius A.* Neuro-Ethics of Walking in the Newborn // *Perceptual and Motor Skills*. — 1973. — Vol. 37, no. 1. — P. 235–245.
- Potjans T. C., Diesmann M.* The Cell-Type Specific Cortical Microcircuit : Relating Structure and Activity in a Full-Scale Spiking Network Model // *Cerebral Cortex*. — 2014. — Vol. 24, no. 3. — P. 785–806.
- Pozzorini C., Mensi S., Hagens O.* Automated High-Throughput Characterization of Single Neurons by Means of Simplified Spiking Models // *PLOS Computational Biology*. — 2015. — Vol. 11, no. 6.

- Racine E., Džubjević V. D., Ralf J. J.* Can Neuroscience Contribute to Practical Ethics? : A Critical Review and Discussion of the Methodological and Translational Challenges of the Neuroscience of Ethics // *Bioethics*. — 2017. — Vol. 31, no. 5. — P. 328–337.
- Rana P.* How a Chinese Scientist Broke the Rules to Create the First Gene-Edited Babies / *The Wall Street Journal*. — 2019. — URL: <https://www.wsj.com/articles/how-a-chinese-scientist-broke-the-rules-to-create-the-first-gene-edited-babies-11557506697> (visited on Mar. 20, 2020).
- Reynolds J. H., Desimone R.* The Role of Neural Mechanisms of Attention in Solving the Binding Problem // *Neuron*. — 1999. — Vol. 24, no. 1. — P. 111–125.
- Rommelfanger K. S., Jeong S. J.* Global Neuroethics Summit Delegates : Neuroethics Questions to Guide Ethical Research in the International Brain Initiatives // *Neuron*. — 2018. — Vol. 100, no. 1. — P. 19–36.
- Rommelfanger K. S., Jeong S.-J., Ema A.* Neuroethics Questions to Guide Ethical Research in the International Brain Initiatives // *Neuron*. — 2018. — Vol. 100, no. 1. — P. 19–36.
- Roskies A.* Neuroethics for the New Millenium // *Neuron*. — 2002. — Vol. 35. — P. 21–23.
- Salles A., Bjaalie J. G., Evers K.* The Human Brain Project : Brain Research for the Benefit of Society // *Neuron*. — 2019. — Vol. 101, no. 3. — P. 380–384.
- Salles A., Evers K., Farisco M.* Neuroethics and Philosophy in Responsible Research and Innovation : The Case of the Human Brain Project // *Neuroethics*. — 2019. — Vol. 12, no. 2. — P. 201–211.
- Schmidt M., Bakker R., Hilgetag C. C.* Multi-Scale Account of The Network Structure of Macaque Visual Cortex // *Brain Structure and Function*. — 2019. — Vol. 223, no. 3. — P. 1409–1435.
- Stekeler-Weithofer P.* The Computational Theory of Mind and the Decomposition of Actions // *Philosophical Topics*. — 2008. — Vol. 36, no. 2. — P. 63–86.
- Traub R. D., Contreras D., Cunningham M. O.* Single-Column Thalamocortical Network Model Exhibiting Gamma Oscillations, Sleep Spindles, and Epileptogenic Bursts // *Journal of Neurophysiology*. — 2005. — Vol. 93, no. 4. — P. 2194–2232.
- Velde F. van der, Kamps M. de.* Neural Blackboard Architectures of Combinatorial Structures in Cognition // *Behavioral and Brain Sciences*. — 2006. — Vol. 29, no. 1. — P. 37–70.
- Wang Y.* [et al.]. Responsibility and Sustainability in Brain Science, Technology, and Neuroethics in China — a Culture-Oriented Perspective // *Neuron*. — 2019. — Vol. 101, no. 3. — P. 375–379.

Khamdamov, T. V. 2020. "Prakticheskaya storona neyroetiki i osnovaniya neyrofilosofii v krupnykh proyektakh izucheniya mozga cheloveka [The Practical Part of Neuroethics and the Basis of Neurophilosophy in Large Projects of Studying the Human Brain]" [in Russian]. *Filosofiya. Zhurnal Vysshey shkoly ekonomiki [Philosophy. Journal of the Higher School of Economics]* IV (1), 42–84.

TIMUR KHAMDAMOV

PHD STUDENT AT THE NATIONAL RESEARCH UNIVERSITY HIGHER SCHOOL OF ECONOMICS, MOSCOW

THE PRACTICAL PART OF NEUROETHICS AND THE BASIS OF NEUROPHILOSOPHY IN LARGE PROJECTS OF STUDYING THE HUMAN BRAIN

Abstract: The article is devoted to the role and place of neuroethics in national and international projects for the study of the human brain. The work deals exclusively with those projects that have chosen the using of complex systemic multifactor models of the brain and nervous system as the main method of research, the coordinated work of which is provided by the large computing resources of hardware and software systems and is implemented in a series of computer simulations of the neurophysiological, neurobiological and neuropsychological processes of a living organism, including human. Such projects declare the widest range of solutions to the problems associated with the study of the brain: from studies the characteristics of the transmission of electrical signals between the synapses of neurons to research in the field of the emergence, functioning and development of such higher functions of the brain as intelligence and consciousness. The final part of the article is devoted to the correctness of the neurophilosophical concept of the origin and functioning of consciousness and intelligence on the principles of a neuromorphic nature, namely, the possibility of interpreting the phenomenon of the emergence of consciousness as the highest form of nervous activity and its further development, based on natural science laws embedded in the biological structure of the brain and nervous system. Which means, in the case of understanding and further creation of technologies for reproducing such laws, the real possibility of obtaining artificial intelligence and consciousness without reference to living organisms, in particular to humans. The author questions this view of the nature of consciousness in the course of a thought experiment, which is based on arguments from the subject area of computer simulations, and also assumes the brain as a complex computer system, similar to existing supercomputers, but from the point of view of architecture and software arranged and functioning according to more complex algorithms.

Keywords: Neuroethics, Neurophilosophy, Human Brain Project, Computer Simulation of the Brain, Neuromorphism, Consciousness, Intelligence, Cognitive Science.

DOI: 10.17323/2587-8719-2020-1-42-84.

REFERENCES

- Amunts, K., C. Ebell, and J. Muller. 2016. "The Human Brain Project: Creating a European Research Infrastructure to Decode the Human Brain." *Neuron* 92 (3): 574–581.
- Arkipov, A., N.W. Gouwens, and Y. N Billeh. 2018. "Visual Physiology of the Layer 4 Cortical Circuit in Silico." *PLOS Computational Biology* 14 (11).
- Blair, R. 1995. "Cognitive Developmental Approach to Morality: Investigating the Psychopath." *Cognition* 57 (1): 1–29.

- Brader, J. M., W. Senn, and S. Fusi. 2007. "Learning Real-World Stimuli in a Neural Network with Spike-Driven Synaptic Dynamics." *Neural Computation* 19 (11): 2881–2912.
- Burge, T. 2013. *Cognition through Understanding: Self-Knowledge, Interlocution, Reasoning, Reflection: Philosophical Essays*. Vol. 3. Oxford: Oxford University Press.
- Christen, M. 2013. "The Neuroethical Challenges of Brain Simulations." Meeting of IACP, University of Maryland at College Park. Accessed Mar. 20, 2020. https://www.encyclog.com/_upl/files/2013_Christen_IACP.pdf.
- Churchland, P. M. 1981. "Eliminative Materialism and the Propositional Attitudes." *The Journal of Philosophy* 78 (2): 67–90.
- Churchland, P. S. 1986. *Neurophilosophy*. Cambridge and MA: MIT Press.
- Churchland, P. S., C. Koch, and T. Sejnowski. 1990. "What Is Computational Neuroscience?" In *Computational Neuroscience*, ed. by E. Schwartz, 46–55. Cambridge: MIT Press.
- Churchland, P. S., and T. Sejnowski. 1992. *The Computational Brain*. Cambridge: MIT Press.
- Dayan, P., and L. Abbott. 2001. *Theoretical Neuroscience: Computational and Mathematical Modeling of Neural Systems*. Cambridge: MIT Press.
- Deco, G., and E. T. Rolls. 2004. "A Neurodynamical Cortical Model of Visual Attention and Invariant Object Recognition." *Vision Research* 44 (6): 621–642.
- Denning, P. J., and T. G. Lewis. 2017. "Exponential Laws of Computing Growth." *Communications of the ACM* 60 (1): 54–65.
- Einevoll, G. T., A. Destexhe, and M. Diesmann. 2019. "The Scientific Case for Brain Simulations: Strengthening Responsible Innovation in Brain Science." *Neuron* 102 (3): 735–743.
- Eliasmith, C. 2003. "Moving Beyond Metaphors: Understanding the Mind for What It Is." *Journal of Philosophy* 100 (10): 493–520.
- . 2013. *How to Build a Brain*. Oxford: Oxford University Press.
- Eliasmith, C., and C. H. Anderson. 2003. *Neural Engineering: Computation, Representation and Dynamics in Neurobiological Systems*. Cambridge: MIT Press.
- Eslinger, P., and A. Damasio. 1985. "Severe Disturbance of Higher Cognition after Bilateral Frontal Lobe Ablation: Patient EVR." *Neurology* 35 (12): 1731–1741.
- Evers, K., A. Salles, and M. Farisco. 2017. "Theoretical Framing of Neuroethics: The Need for a Conceptual Approach." In *Debates About Neuroethics: Perspectives on Its Development, Focus, and Future*, ed. by E. Racine and J. Aspler, 89–107. Cham: Springer.
- Feyerabend, P. K. 1963. "Comment: Mental Events and the Brain." *The Journal of Philosophy* 60 (11): 295–296.
- Fowler, L. 1855. *Familiar Lessons on Physiology: Designed for the Use of Children and Youth in Schools and Families*. New York: Fowler / Wells.
- Frege, G. 1879. "Begriffsschrift, a Formula Language, Modeled upon That of Arithmetic, for Pure Thought." In *From Frege to Gödel: A Source Book in Mathematical Logic, 1879–1931*, by J. van Heijenoort, 1–82. Cambridge (MA): Harvard University Press.
- Frigg, R., and R. Julian. 2009. "The Philosophy of Simulation: Hot New Issues or Same Old Stew?" *Synthese* 169 (3): 593–613.
- Gabriel, M. 2017. "Against Neurofetishism." Radboud University. Accessed Mar. 20, 2020. <https://youtu.be/WHxjZBDv7-k>.
- Garden, H. 2016. "Neurotechnology and Society: Strengthening Responsible Innovation in Brain Science." *Neuron* 92 (3): 642–646.
- Garden, H., D. Bowman, and S. Haesler. 2016. "Neurotechnology and Society: Strengthening Responsible Innovation in Brain Science." *Neuron* 92 (3): 642–646.
- Giordano, J. 2011. "Neuroethics: Interacting 'Traditions' as a Viable Meta-Ethics." *AJOB Neuroscience* 2 (2): 17–19.

- . 2015. "A Preparatory Neuroethical Approach to Assessing Developments in Neurotechnology." *American Medical Association Journal of Ethics* 17 (1): 56–61.
- Gold, J. I., and M. N. Shadlen. 2007. "The Neural Basis of Decision Making." *Annual Review of Neuroscience* 30:535–574.
- Greene, J. 2001. "An fMRI Investigation of Emotional Engagement in Moral Judgment." *Science* 293 (5537): 2105–2108.
- Hagner, M. 2001. "Cultivating the Cortex in German Neuroanatomy." *Science in Context* 14 (4): 541–563.
- Halnes, G., S. Augustinaite, and P. Heggelund. 2011. "A Multi-Compartment Model for Interneurons in the Dorsal Lateral Geniculate Nucleus." *PLOS Computational Biology* 7 (9).
- Hay, E., S. Hill, and F. Schurmann. 2011. "Models of Neocortical Layer 5b Pyramidal Cells Capturing a Wide Range of Dendritic and Perisomatic Active Properties." *PLOS Computational Biology* 7 (7).
- Hodgkin, A. L., and A. F. Huxley. 2011. "A Quantitative Description of Membrane Current and Its Application to Conduction and Excitation in Nerve." *The Journal of Physiology* 117 (4): 500–544.
- Hopfield, J. J. 1982. "Neural Networks and Physical Systems With Emergent Collective Computational Abilities." *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 79 (8): 2554–2558.
- Humphreys, P. 2009. "The Philosophical Novelty of Computer Simulation Methods." *Synthese* 169 (3): 615–626.
- Jeong, S. J., H. Lee, and E. M. Hur. 2016. "Korea Brain Initiative: Integration and Control of Brain Functions." *Neuron* 92 (3): 607–611.
- Jungert, M. 2017. "Chapter 1—Neurophilosophy or Philosophy of Neuroscience?: What Neuroscience and Philosophy Can and Cannot Do for Each Other." In *The Human Sciences After the Decade of the Brain*, ed. by J. Leefmann and E. Hildt, 3–13. San Diego: Academic Press.
- Libet, B. 1983. "Time of Conscious Intention to Act in Relation to Onset of Cerebral Activity (Readiness-Potential): The Unconscious Initiation of a Freely Voluntary Act." *Brain* 106 (3): 623–642.
- Markram, H. 2012. "The Human in Brain Project." *Scientific American* 306 (6): 50–55.
- . 2013. "Seven Challenges for Neuroscience." *Functional Neurology* 28 (3): 145–151.
- . 2015. "Reconstruction and Simulation of Neocortical Microcircuitry." *Cell* 163 (2): 456–492.
- McCormick, D. A., and J. R. Huguenard. 1992. "A Model of the Electrophysiological Properties of Thalamocortical Relay Neurons." *Journal of Neurophysiology* 68 (4): 1384–1400.
- Migliore, M., E. P. Cook, and D. B. Jaffe. 1995. "Computer Simulations of Morphologically Reconstructed CA3 Hippocampal Neurons." *Journal of Neurophysiology* 73 (3): 145–151.
- Normile, D. 2018. "China's Ambitious Brain Science Project Inches Forward." *Science* 360 (6391): 840–841.
- Northoff, G. 2009. "What Is Neuroethics?: Empirical and Theoretical Neuroethics." *Current Opinion in Psychiatry* 22 (3): 565–569.
- Okano, H., E. Sasaki, and T. Yamamori. 2016. "Brain/MINDS: A Japanese National Brain Project for Marmoset Neuroscience." *Neuron* 92 (3): 582–590.
- Parker, W. S. 2009. "Does Matter Really Matter?: Computer Simulations, Experiments, and Materiality." *Synthese* 169 (3): 483–496.
- Piccinini, G., and S. Bahar. 2013. "Neural Computation and the Computational Theory of Cognition." *Cognitive Science* 37 (3): 453–488.

- Piccinini, G., and O. Shagrir. 2014. "Foundations of Computational Neuroscience." *Current Opinion in Neurobiology* 25:25–30.
- Pontius, A. 1973. "Neuro-Ethics of Walking in the Newborn." *Perceptual and Motor Skills* 37 (1): 235–245.
- Potjans, T. C., and M. Diesmann. 2014. "The Cell-Type Specific Cortical Microcircuit: Relating Structure and Activity in a Full-Scale Spiking Network Model." *Cerebral Cortex* 24 (3): 785–806.
- Pozzorini, C., S. Mensi, and O. Hagens. 2015. "Automated High-Throughput Characterization of Single Neurons by Means of Simplified Spiking Models." *PLOS Computational Biology* 11 (6).
- Racine, E., D. Dubljević, V., and J. J. Ralf. 2017. "Can Neuroscience Contribute to Practical Ethics?: A Critical Review and Discussion of the Methodological and Translational Challenges of the Neuroscience of Ethics." *Bioethics* 31 (5): 328–337.
- Rana, P. 2019. "How a Chinese Scientist Broke the Rules to Create the First Gene-Edited Babies." *The Wall Street Journal*. Accessed Mar. 20, 2020. <https://www.wsj.com/articles/how-a-chinese-scientist-broke-the-rules-to-create-the-first-gene-edited-babies-11557506697>.
- Reynolds, J. H., and R. Desimone. 1999. "The Role of Neural Mechanisms of Attention in Solving the Binding Problem." *Neuron* 24 (1): 111–125.
- Rommelfanger, K. S., and S. J. Jeong. 2018. "Global Neuroethics Summit Delegates: Neuroethics Questions to Guide Ethical Research in the International Brain Initiatives." *Neuron* 100 (1): 19–36.
- Rommelfanger, K. S., S.-J. Jeong, and A. Ema. 2018. "Neuroethics Questions to Guide Ethical Research in the International Brain Initiatives." *Neuron* 100 (1): 19–36.
- Roskies, A. 2002. "Neuroethics for the New Millenium." *Neuron* 35:21–23.
- Salles, A., J. G. Bjaalie, and K. Evers. 2019. "The Human Brain Project: Brain Research for the Benefit of Society." *Neuron* 101 (3): 380–384.
- Salles, A., K. Evers, and M. Farisco. 2019. "Neuroethics and Philosophy in Responsible Research and Innovation: The Case of the Human Brain Project." *Neuroethics* 12 (2): 201–211.
- Schmidt, M., R. Bakker, and C. C. Hilgetag. 2019. "Multi-Scale Account of The Network Structure of Macaque Visual Cortex." *Brain Structure and Function* 223 (3): 1409–1435.
- Stekeler-Weithofer, P. 2008. "The Computational Theory of Mind and the Decomposition of Actions." *Philosophical Topics* 36 (2): 63–86.
- Traub, R. D., D. Contreras, and M. O. Cunningham. 2005. "Single-Column Thalamocortical Network Model Exhibiting Gamma Oscillations, Sleep Spindles, and Epileptogenic Bursts." *Journal of Neurophysiology* 93 (4): 2194–2232.
- Velde, F. van der, and M. de Kamps. 2006. "Neural Blackboard Architectures of Combinatorial Structures in Cognition." *Behavioral and Brain Sciences* 29 (1): 37–70.
- Wang, Y., et al. 2019. "Responsibility and Sustainability in Brain Science, Technology, and Neuroethics in China—a Culture-Oriented Perspective." *Neuron* 101 (3): 375–379.