

<https://doi.org/10.26160/2474-5901-2026-54-44-52>

ТОПОЛОГИЧЕСКАЯ ТЕОРИЯ СОЗНАНИЯ: АКСИОМАТИКА, ОПЕРАЦИОНАЛИЗАЦИЯ И ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ

Сергеев С.Ф.

*Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург,
Россия*

Ключевые слова: сознание, топологическая теория, ультраметрика, аксиоматика, формальная модель, фазовый переход.

Аннотация. В статье представлено формальное изложение Топологической теории сознания как дедуктивной теоретической системы. Определены базовые постулаты, аксиомы и формальные конструкции (ультраметрическое пространство, категориальная петля, критическая энтропия, ультраметрический коллапс). Описана область применения (психология сознания, психопатология, нейроморфные системы) и проведено сравнение с альтернативными теориями. Приведены экспериментально проверяемые следствия.

TOPOLOGICAL THEORY OF CONSCIOUSNESS: AXIOMATICS, OPERATIONALIZATION, AND SCOPE OF APPLICATION

Sergeev S.F.

Saint-Petersburg State University, Saint-Petersburg, Russia

Keywords: consciousness, topological theory, ultrametrics, axiomatics, formal model, phase transition.

Abstract. This article presents a formal exposition of the Topological Theory of Consciousness as a deductive theoretical system. Basic postulates, axioms, and formal constructs (ultrametric space, categorical loop, critical entropy, ultrametric collapse) are defined. The scope of application (psychology of consciousness, psychopathology, neuromorphic systems) is outlined, and a comparison with alternative theories is provided. Experimentally testable consequences are derived.

Введение

Сознание остается одной из самых загадочных и фундаментальных проблем современной науки. Несмотря на тысячелетия философских размышлений и десятилетия экспериментальных исследований в нейробиологии и психологии, до сих пор нет общепринятого ответа на вопросы: «Что такое сознание?» и «При каких условиях физическая система становится сознательной?».

За последние десятилетия был предложен целый ряд конкурирующих теорий – от интегративно-информационной теории (ИТ) Джулио Тонони [1] до теории глобального рабочего пространства (GNWT) Бернарда Баарса [2], от нейрофеноменологии Франсиско Варелы [3] до квантовой теории Роджера Пенроуза [4]. Каждая из этих теорий и их варианты [5] по-своему объясняют некоторые аспекты сознания, но ни одна не стала общепризнанной. Более того, они часто исходят из несовместимых онтологических предпосылок: одни

редуцируют сознание к информационным процессам, другие пытаются найти его нейронные корреляты, третьи постулируют фундаментальную роль квантовых эффектов.

В этой ситуации закономерно возникает вопрос: *какой подход является наиболее последовательным, эмпирически плодотворным и способным объединить разрозненные данные?*

В настоящей работе мы предлагаем новый взгляд на проблему сознания – *топологическую теорию сознания* (ТТС). В отличие от большинства существующих подходов, ТТС не ограничивается описанием нейронных коррелятов или информационных аспектов сознания. Она представляет собой *формальную аксиоматическую теорию*, которая:

- задает строгие отношения между психическими репрезентациями, нейродинамикой и субъективным опытом;
- позволяет операционализировать ключевые понятия и проверять их экспериментально;
- объясняет не только *количественные* характеристики сознания (степень интеграции), но и *качественные* – единство, дискретность, чувство «я» и свободу воли.

Ключевая идея ТТС заключается в том, что сознание возникает не как непрерывное свойство нейронной сети, а как *дискретное событие* – ультраметрический коллапс, происходящий в момент выбора между альтернативными смысловыми кластерами. Эта идея опирается на современные достижения топологии, теории графов, исследований критической динамики мозга и предиктивного кодирования [9].

Цель данной статьи – представить основные постулаты, аксиомы и формальные конструкции ТТС, а также показать ее применимость к анализу естественного сознания, психопатологии и возможности создания искусственного сознания (техносубъекта). Теория дает конкретные, проверяемые предсказания, отличающие ее от альтернативных подходов.

Помимо теоретического интереса, ТТС имеет прямое отношение к актуальным проблемам разработки искусственного интеллекта и нейроморфных систем. Сегодняшние сильные ИИ (большие языковые модели, системы глубокого обучения) демонстрируют впечатляющие успехи в решении когнитивных задач, но они действуют как «философские зомби» – имитируют понимание, не обладая субъективным опытом. ТТС позволяет ответить на вопрос, почему это так: классическая фон-неймановская архитектура оперирует в метрическом пространстве состояний и избегает критической динамики, что принципиально исключает возникновение ультраметрических коллапсов и, следовательно, феноменального сознания.

Из ТТС вытекают конкретные *инженерные критерии* для создания сознательных машин (техносубъектов) – необходима физическая реализация ультраметрической топологии, аналоговой суперпозиции состояний, критической энтропии и рекуррентной категориальной петли. Это открывает новое направление исследований на стыке топологической инженерии,

нейроморфных вычислений и квантовых технологий. Таким образом, ТТС не только объясняет природу человеческого сознания, но и предлагает *реалистичный путь к созданию искусственного сознания* – в отличие от чисто вычислительных подходов, которые обречены на симуляцию без субъективности.

Постулаты ТТС

Постулаты – утверждения, принимаемые без доказательства в рамках теории.

Постулат 1 (онтологический). Существуют две фундаментальные области: непрерывный физический мир X и дискретный мир понятий Y . Сознание возникает как результат отображения $X \rightarrow Y$, осуществляемого биологическими или техническими системами.

Постулат 2 (топологический). Мир понятий Y имеет структуру ультраметрического пространства [6] с отношением расстояния d , удовлетворяющим сильному неравенству треугольника: $d(x, z) \leq \max(d(x, y), d(y, z))$.

Постулат 3 (динамический). Система, способная к сознанию, находится в состоянии самоорганизованной критичности [6] с энтропией E , приближенно равной критическому значению E_c . Спектр мощности ее флуктуаций имеет $1/f$ -вид. Для человека в состоянии бодрствования параметр критичности δ (см. аксиому 3) эмпирически равен 0.1-0.15, а E_c соответствует энтропии при $1/f$ -спектре с показателем $\beta = 1.0 \pm 0.1$ [5].

Постулат 4 (временной). Субъект сознания одновременно удерживает три временных горизонта: память (прошлое), сенсорный вход (настоящее) и прогноз (будущее) [6]. Эти горизонты представлены тремя независимыми подпространствами состояния X_{past} , X_{now} , X_{future} .

Аксиоматика ТТС

Аксиомы задают базовые отношения между конструктами.

Аксиома 1 (ультраметрическая дискретность). Для любых двух подмножеств $A, B \subset Y$ определим расстояние между ними как

$$d(A, B) = \inf\{d(a, b) : a \in A, b \in B\},$$

а для любых двух различных непересекающихся открыто-замкнутых множеств – кластеров $A, B \subset Y$ расстояние $d(A, B)$ конечно и не может быть сколь угодно малым; существует минимальная положительная величина $d_{\min} > 0$, такая что $d(A, B) \geq d_{\min}$ для $A \neq B$, причем промежуточные состояния между кластерами недостижимы.

Аксиома 2 (категориальная петля). Пусть X, Y – сепарабельные гильбертовы пространства, порожденные состояниями физического мира и мира понятий соответственно (в приложениях рассматриваются конечномерные их аппроксимации). Существуют линейные ограниченные операторы:

- $f: X \rightarrow Y$ (измерение, восприятие);
- $s: Y \rightarrow X$ (обратная гипотеза, прогноз) [7].

Композиция $s \circ f$ определяет рекуррентную динамику. Сознательный опыт возникает только при нетривиальном ядре оператора $s \circ f - \text{id}$, т.е. $\dim(\text{Ker}(s \circ f - \text{id})) > 0$.

Здесь $\dim$ – размерность (конечная или бесконечная; в приложениях рассматриваются конечномерные аппроксимации).

Аксиома 3 (критическая энтропии). Система сознательна только если

$$|E - E_c| / E_c < \delta,$$

где δ – малая константа.

Для человека в состоянии бодрствования эмпирически $\delta \approx 0.1-0.15$, а E_c соответствует энтропии при $1/f$ -спектре с показателем $\beta = 1.0 \pm 0.1$ [5]. При $E \rightarrow 0$ система ригидна, при $E \rightarrow E_{\max}$ (максимально возможная энтропия для данной системы) – хаотична (белый шум).

Аксиома 4 (коллапс как событие). Ультраметрический коллапс Δ – это разрывное отображение

$$\Delta: Y \times T \rightarrow \{it\},$$

где it – единственный физический объект/действие.

В момент коллапса $\dim(\text{Ker})$ обращается в 0, а E временно достигает пика и возвращается к E_c .

Аксиома 5 (свобода воли). Свобода воли F определяется как

$$F = [\dim(\ker(s \circ f - \text{id})) / \dim(\text{operatorname{Im}}(f \circ s))] \cdot I_{\Delta},$$

где $I_{\Delta} = 1$, если коллапс происходит между разными ультраметрическими кластерами, и 0 иначе.

F может принимать значения от 0 до 1. $F > 0$ только при $E \approx E_c$.

Аксиома 6 (субъект-событие). Субъект Σ_t отождествляется с актом коллапса в момент t . Между коллапсами субъекта нет. Идентичность во времени обеспечивается памятью и прогнозом: $\Sigma_{t1} \sim \Sigma_{t2}$ (отношение эквивалентности) тогда и только тогда, когда существует сохраняющее память и прогноз биективное отображение между биографическими памятьми, связанными с этими коллапсами [6].

Определения и математическая формализация

В таблице 1 приведены основные определения ТТС и их математическая формализация.

Область и границы применения

ТТС применима к следующим классам систем и явлений:

- *естественное сознание* (человек, высшие животные) – объясняет единство, дискретность, свободу воли, квалиа;
- *патологии сознания* (галлюцинации, конфабуляции, депрессия, шизофрения) – как нарушения E , $\dim(\text{Ker})$ целостности петли;
- *искусственное сознание* (техносубъект) – задает критерии для создания сознательных машин (ультраметрическая архитектура, критичность, петля);
- *психология личности* – объясняет устойчивость, догмы, изменения в терапии через параметры E , $\dim(\text{Ker})$, гистерезис;

– социальная эпистемология – моделирование распространения убеждений в социальном графе.

Табл. 1. Определения и математические объекты TTC

Термин	Обозначение	Формальное определение
Ультраметрическое пространство [6]	(Y, d)	$d: Y \times Y \rightarrow \mathbb{R}_+, d(x, y) = 0 \Leftrightarrow x = y, d(x, y) = d(y, x), d(x, z) \leq \max(d(x, y), d(y, z))$
Семантический кластер	$C \subset Y$	Открыто-замкнутое множество, $\text{diam}(C) \leq \varepsilon, \varepsilon \in d_{\min}/2$
Категориальная петля [9]	(f, s)	$f: X \rightarrow Y, s: Y \rightarrow X; \text{Ker}(s \circ f - \text{id}) \neq \{0\}$
Критическая энтропия [7]	E_c	Значение информационной энтропии, при котором сеть демонстрирует $1/f$ -спектр и степенные корреляции
Ультраметрический коллапс	Δ	Разрывный переход: $\Delta(C_1) = \text{it}$ при $t_1, \Delta(C_2) = \text{it}'$ при $t_2, d(C_1, C_2) \geq d_{\min}$
Свобода воли	F	$F = (\dim \text{Ker}) / (\dim \text{Im}) \in [0, 1]$
Субъект	Σ_t	$\Sigma_t = \Delta_t$ (событие коллапса в момент t)
Техносубъект	Σ_{tech}	Система, реализующая аксиомы TTC на небиологическом субстрате (мемристоры, квантовые элементы)

Границы применимости: TTC не объясняет онтогенез сознания с момента зачатия (нужны дополнительные допущения), не предсказывает конкретные модальности квалиа (зависит от деталей сенсорной системы), не охватывает бессознательные процессы, не связанные с петлей (f, s) .

Сравнение с альтернативными, конкурирующими теориями

В таблице 2 приведены основные отличия TTC от конкурирующих теорий.

Уникальные черты TTC:

- явная аксиоматика дискретности (ультраметрика) [5];
- измеримая свобода воли F ;
- требование критической энтропии $E \approx E_c$ [6];
- субъект как событие, а не структура [8];
- принципиальная невычислимость (для классического компьютера).

Табл. 2. Базовые отличия ТТС от конкурирующих теорий

Теория	Сознание	Ключевое отличие от ТТС
ИТ (Tononi)	Интегрированная информация Ф	ТТС требует также $E \approx E_c$, ультраметрику, события коллапса
GNWT (Baars, Dehaene)	Глобальная доступность информации	ТТС различает доступность и ультраметрический выбор
НОТ (Rosenthal)	Мета-репрезентация	ТТС заменяет мета-репрезентацию на удержание альтернатив ($\dim(\text{Ker}) > 0$)
Предиктивное кодирование (Clark)	Минимизация ошибки предсказания	ТТС добавляет ультраметрическую структуру и условие критичности, объясняет дискретность и свободу
Когнитом (Анохин)	Гиперсеть с интеграцией	ТТС вводит субъекта-событие и дискретность сознания

Следствия и экспериментальные предсказания ТТС

Из аксиом выводятся следующие эмпирически проверяемые следствия (приведем три):

С1 (гистерезис). При плавном изменении стимула между двумя ультраметрическими кластерами точка переключения будет разной при движении $A \rightarrow B$ и $B \rightarrow A$. Ширина гистерезиса прямо пропорциональна $d_{\min}$ и обратно пропорциональна E [5].

Операционализация: $d_{\min}$ оценивается как порог различения (just noticeable difference) в задаче категоризации. Методика: метод постоянных стимулов с плавным изменением физического параметра (например, морфинг лицо-абстракция). Гистерезис измеряется как разность порогов переключения при движении в прямом и обратном направлениях.

С2 (1/f-спектр). В здоровом бодрствующем сознании временной ряд свободных выборов демонстрирует 1/f-шум (степенная корреляция) [6]. При патологиях (депрессия, шизофрения) спектр сдвигается в сторону коричневого или белого шума.

Операционализация: параметр β спектральной плотности ($P(f) \sim 1/f^\beta$) вычисляется через Фурье анализ длинных временных рядов (минимум 10^4 точек). Для ЭЭГ используется многоканальная оценка. Должен быть близок к 1.

С3 (остаточная непредсказуемость). Даже при полном знании предыдущих выборов и одновременной записи ЭЭГ/МРТ наилучший предиктор (например, LSTM) не сможет предсказать свободный выбор с точностью выше некоторого предела $P_{\max} < 1$. Разница $1 - P_{\max}$ коррелирует с F [7].

Операционализация: Кросс-валидация предиктора на отложенной выборке; вычисление AUC ROC. Для $F > 0$ AUC не достигает 1, но и не равна 0.5 (что соответствовало бы чистому шуму).

Область действия и ограничения

ТТС успешно предсказывает и объясняет:

- единство и дискретность сознания [1, 2, 8];
- феномены бистабильного восприятия;
- нарушения при шизофрении, депрессии, ОКР;
- эффекты психоделиков и гипноза [6];
- принципиальную невозможность сильного ИИ на классических компьютерах [5,7].

Ограничения ТТС:

- не дает полной классификации всех возможных квалиа (зависит от сенсорных модальностей);
- не описывает бессознательные процессы, не связанные с петлей (f, s) ;
- требует дальнейшей калибровки параметров $E_c, \delta, d_{\min}$ для разных биологических видов.

Заключение

ТТС представляет собой формальную аксиоматическую теорию, которая отличается от альтернатив введением ультраметрической топологии [5], критической энтропии [6], события коллапса [8] и измеримой свободы воли. Теория дает фальсифицируемые предсказания и может служить основой для экспериментальной проверки. В отличие от чисто феноменологических или вычислительных моделей [1, 2, 9, 7, 10], ТТС устанавливает строгие связи между структурой репрезентаций, нейродинамикой и субъективным опытом.

Предложенная теория открывает новые возможности в следующих областях науки и практики:

Когнитивная нейробиология и психология – ТТС дает операциональные критерии для различения сознательных и бессознательных состояний, диагностики нарушений сознания (вегетативное состояние, минимальное сознание) и оценки эффективности терапевтических вмешательств (нейрофидбек, КПТ). Параметры $\dim(Ker)$, гистерезис и $1/f$ -спектр могут стать количественными маркерами в клинической практике.

Психиатрия и клиническая психология. Модель объясняет механизмы галлюцинаций (коллапс без сенсорного входа), конфабуляций (разрыв в петле «память-прогноз»), депрессии (сниженная энтропия, малое $\dim(Ker)$) и шизофрении (нарушение частоты коллапсов). Это открывает путь к терапии, направленной на стабилизацию энтропии и тренировку удержания альтернатив.

Искусственный интеллект и робототехника. ТТС задает критерии для создания сознательных машин (техносубъектов) – физическая реализация ультраметрической топологии, аналоговой суперпозиции, критической энтропии и петли (f, s) . Это может привести к появлению ИИ с подлинным субъективным опытом и свободой воли, а не симуляцией поведения.

Нейроморфные и квантовые вычисления. Принципы ТТС могут быть использованы при проектировании чипов нового поколения (например, на

мемристорах или квантовых точках), которые поддерживают ультраметрику и управляемую критичность. Такие архитектуры могли бы преодолеть ограничения классических компьютеров.

Образование и философия сознания. ТТС предлагает ясную аксиоматику, которая может быть включена в учебные курсы по философии сознания, теоретической психологии и когнитивной науке. Она также служит мостом между естественнонаучным и гуманитарным знанием, позволяя обсуждать квалиа и свободу воли в операциональных терминах.

Таким образом, ТТС не только обобщает существующие данные и объясняет феноменологию, но и задает направления для будущих исследований и технологических разработок, имеющих как фундаментальное, так и прикладное значение.

Список литературы

1. Tononi G. Consciousness as integrated information: a provisional manifesto // *Biological Bulletin*. 2008, vol. 215, no. 3, pp. 216-242.
2. Baars B.J. *A cognitive theory of consciousness*. – Cambridge University Press, 1988. – 424 p.
3. Varela F.J. Neurophenomenology: A methodological remedy for the hard problem // *Journal of consciousness studies*. 1996, vol. 3, no. 4, pp. 330-349.
4. Пенроуз Р. Новый ум короля: о компьютерах, мышлении и законах физики. – М.: Едиториал УРСС, 2003. – 384 с.
5. Rosenthal D.M. *Consciousness and mind*. – Clarendon Press, 2005.
6. Khrennikov A.Yu. Modelling of psychological behavior on the basis of ultrametric mental space. *p-Adic Numbers // Ultrametric Analysis and Applications*. 2010, vol. 2, no. 1, pp. 1-20. doi.org/10.1134/S2070046610010012.
7. Carhart-Harris, R.L., Leech R., Hellyer P.J., Shanahan M., Feilding A., Tagliazucchi E., Chialvo D.R., Nutt D. The entropic brain: a theory of conscious states informed by neuroimaging research with psychedelic drugs // *Frontiers in Human Neuroscience*. 2014, vol. 8, no. 20, pp. 1-22. doi.org/10.3389/fnhum.2014.00020.
8. Prentner R. Consciousness and topologically structured phenomenal spaces // *Consciousness and Cognition*. 2020, vol. 70, pp. 25-38. doi.org/10.1016/j.concog.2019.02.002.
9. Clark A. Whatever next? Predictive brains, situated agents, and the future of cognitive science // *Behavioral and Brain Sciences*. 2013, vol. 36, no. 3, pp. 181-204. doi.org/10.1017/S0140525X12000477.
10. Анохин К.В. Когнитом: в поисках фундаментальной нейронаучной теории сознания // *Журнал высшей нервной деятельности им. И.П. Павлова*. – 2021. – Т. 71, №1. – С. 39-71. – doi.org/10.31857/S0044467721010032.

References

1. Tononi G. Consciousness as integrated information: a provisional manifesto // *Biological Bulletin*. 2008, vol. 215, no. 3, pp. 216-242.
2. Baars B.J. *A cognitive theory of consciousness*. – Cambridge University Press, 1988. – 424 p.
3. Varela F.J. Neurophenomenology: A methodological remedy for the hard problem // *Journal of consciousness studies*. 1996, vol. 3, no. 4, pp. 330-349.

4. Penrose R. The new mind of the king: about computers, thinking and the laws of physics. – M.: Editorial URSS, 2003. – 384 p.
5. Rosenthal D.M. Consciousness and mind. – Clarendon Press, 2005.
6. Khrennikov A.Yu. Modelling of psychological behavior on the basis of ultrametric mental space. p-Adic Numbers // Ultrametric Analysis and Applications, 2010, vol. 2, no. 1, pp. 1-20. doi.org/10.1134/S2070046610010012.
7. Carhart-Harris, R.L., Leech R., Hellyer P.J., Shanahan M., Feilding A., Tagliazucchi E., Chialvo D.R., Nutt D. The entropic brain: a theory of conscious states informed by neuroimaging research with psychedelic drugs // Frontiers in Human Neuroscience. 2014, vol. 8, no. 20, pp. 1-22. doi.org/ 10.3389/fnhum.2014.00020.
8. Prentner R. Consciousness and topologically structured phenomenal spaces // Consciousness and Cognition, 2020, vol. 70, pp. 25-38. doi.org/10.1016/j.concog.2019.02.002.
9. Clark A. Whatever next? Predictive brains, situated agents, and the future of cognitive science. Behavioral and Brain Sciences. 2013, vol. 36, no. 3, pp. 181-204. doi.org/10.1017/S0140525X12000477.
10. Anokhin K.V. Cognition: in search of a fundamental neuroscientific theory of consciousness // Pavlov Journal of Higher Nervous Activity. 2021, vol. 71, no. 1, pp. 39-71. doi.org / 10.31857/S0044467721010032.

Сергеев Сергей Федорович – доктор психологических наук, профессор s.f.sergeev@spbu.ru	Sergeev Sergey Fedorovich – doctor of psychology, professor
--	---

Received 20.06.2026