

УДК 612.82

## ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ АФФЕКТИВНЫХ И КОГНИТИВНЫХ КОМПОНЕНТОВ РАБОЧЕЙ ПАМЯТИ ПРИ УДЕРЖАНИИ ЭМОЦИОНАЛЬНО ОКРАШЕННОЙ ИНФОРМАЦИИ. НЕЙРОКОГНИТИВНЫЙ АНАЛИЗ

© 2025 г. Е. В. Кочеткова<sup>1, 2, \*</sup>, Р. И. Мачинская<sup>1, 3</sup>

<sup>1</sup>ФГБНУ Институт развития, здоровья и адаптации ребенка, Москва, Россия

<sup>2</sup>Центральный экономико-математический институт РАН, Москва, Россия

<sup>3</sup>Российская академия народного хозяйства и государственной службы при президенте РФ, Москва, Россия

\*e-mail: k.v.kochetkova@gmail.com

Поступила в редакцию 30.09.2024 г.

После доработки 11.12.2024 г.

Принята к публикации 11.12.2024 г.

В обзоре представлен анализ современных психологических теорий эмоций и соответствующих им концепций нейронального обеспечения обработки и удержания в рабочей памяти эмоционально окрашенной информации. Общей тенденцией современных нейрокогнитивных исследований является отказ от локализации отдельных когнитивных функций в пользу сетевых моделей, в которых обеспечение психических процессов осуществляется распределенными сетями, объединяющими функционально специфичные структуры коры и глубинных образований. Такие сети способны перестраиваться в соответствии с требованиями текущей задачи деятельности. В работе проанализированы подходы к анализу взаимодействия эмоций и когнитивных процессов, в рамках которых они могут рассматриваться и как конкурирующие системы, и как компоненты единого механизма целенаправленного поведения, в частности при удержании эмоционально окрашенной информации в аффективной рабочей памяти. Обсуждается связь мозговой организации аффективной рабочей памяти с динамическим взаимодействием крупных морфофункциональных сетей покоя (resting state networks), включая сеть определения значимых событий, дефолтную сеть и фронто-париетальную сеть, с возможностью перестройки и подключения дополнительных узлов, например, связанных с обработкой социально значимой информации.

*Ключевые слова:* эмоции, аффективная рабочая память, сеть определения значимости, фронто-париетальная сеть, дефолтная сеть

DOI: 10.31857/S0044467725020036

### ВВЕДЕНИЕ

Обработка эмоционально окрашенной информации играет значительную роль в осуществлении целенаправленной деятельности, социальном взаимодействии, модулировании процессов памяти и внимания (Dolcos et al., 2017a; Frank et al., 2021). В рамках экспериментальных исследований было накоплено значительное количество эмпирических свидетельств неоднозначного влияния эмоционально окрашенной информации на когнитивные процессы, например на эффективность рабочей памяти (Hur et al., 2017; Schweizer et al., 2019), внимание (Dolcos et al., 2020), зрительный поиск (Bekhtereva et al., 2015). Неоднозначность влияния обнаруживается как для валентности стимула (негативный/позитивный), так

и для модальности (зрительный/вербальный или вербальный/невербальный в более общем случае) (Schweizer et al., 2019). Накопленные противоречия в данных объясняются различием экспериментальных парадигм, в частности тем, связана ли задача испытуемого с эмоциональными аспектами удерживаемой информации, или эмоциональное содержание является дистрактором для решения когнитивной задачи.

Теоретические представления о взаимодействии эмоциональных и когнитивных процессов, а также о самом характере этого взаимодействия, испытывают влияние психологических теорий эмоций. Так, эмоции могут рассматриваться как внешний компонент по отношению к когнитивным процессам, выступая как некоторое состояние, изменяющее когнитивные процессы (например, внимание

и память) в сторону большей или меньшей эффективности (Mohammed et al., 2022; Розовская и др., 2016; Сучкова, 2018), либо дистракторы, конкурирующие за ресурсы внимания с основной задачей (Kensinger, Corkin, 2003), но потенциально являющиеся отделимыми от нее (Gray et al., 2002). Например, в классических моделях двух систем (Reyna, Brainerd, 2011) рассматривается противостояние «холодного» рационального когнитивного и «горячего» эмоционального компонентов в процессе принятия решения и при эмоциональной регуляции. Все больше сторонников набирает точка зрения, согласно которой эмоциональные и когнитивные процессы могут рассматриваться во взаимодействии, как тесно переплетенные друг с другом (Dolcos et al., 2020; Okon-Singer et al., 2015), образуя единый комплекс, направленный на реализацию целенаправленного поведения (Alexandrov, Sams, 2005; Lindquist et al., 2012a; Smith, Lane, 2015; Wilson, Gilbert, 2003). Однако особенности такой организации до конца не ясны (Okon-Singer et al., 2015; Cromheeke, Mueller, 2014). Одним из потенциальных механизмов такого взаимодействия является конкуренция между восходящими и нисходящими процессами на уровне восприятия и формирования эмоционального ответа и уровне когнитивного контроля эмоций согласно модели двойной конкуренции (*dual competition model*) (Pessoa, 2010). Перспективной с этой точки зрения может также быть модель так называемой *аффективной рабочей памяти* (Mikels, Reuter-Lorenz, 2019), которая обеспечивает кодирование, удержание и обработку субъективно значимых переживаний.

В данной работе представлен обзор моделей функциональной организации взаимодействия эмоциональных и когнитивных процессов, рассмотрен конструкт аффективной рабочей памяти как основы взаимодействия эмоций и когнитивных процессов в реальном времени. На основе анализа этих данных представлена гипотетическая конфигурация сети, обеспечивающая функционирование аффективной рабочей памяти.

#### **Эволюция представлений о мозговой организации эмоций и соответствующих им психологических концепций**

**Эволюционные теории и концепции базовых эмоций.** На протяжении длительного периода времени в когнитивной нейронауке доминировал подход, предполагавший закрепленность определенных функций за отдельными локальными структурами мозга (Barrett, Satpute, 2013). Эволюционные теории эмоций, в которых эмоция выступала важным индикатором целесообразности действий и возможности удовлетворения потребности, опирались на исследование отдельных биологически

заданных типов реакции, характерной чертой которых являлась наследуемость и универсальность их выражения и распознавания (Niedenthal, Ric, 2017). В психологических теориях эмоций такой подход был наиболее близок концепции базовых эмоций, постулировавшей существование совокупности дискретных эмоций (таких как страх, гнев, радость, печаль и отвращение), которые, будучи биологически предопределенными, обеспечиваются специфичными для каждой эмоции мозговыми структурами (Markett et al., 2018; Panksepp et al., 2017). Например, страх предполагался ассоциированным с активностью амигдалы, отвращение – с активностью передней островковой коры, а печаль – с активностью медиальной префронтальной коры (Gündem et al., 2022). И хотя вопрос о нейрокоррелятах отдельных эмоций остается открытым (Celeghein et al., 2017; Lench et al., 2011; Lindquist et al., 2013), накоплено достаточно много аргументов, опровергающих их «локализацию» в мозге. Например, показана роль амигдалы в разнообразных эмоциональных процессах, включая реакции страха (LeDoux, 2000) и ярости (Haller, 2018), также реакцию на вознаграждение (Sias et al., 2024). Обнаружено участие амигдалы в высокоуровневых процессах восприятия и памяти (LeDoux, 2007) и в целом в выделении субъективно значимой информации, как негативной, так и позитивной (Dolan, Vuilleumier, 2003; Sergerie et al., 2008; Armony, 2013). Аналогично, функции прилежащего ядра не ограничиваются ролью компонента системы вознаграждения, но включают участие в выборе поведения, основываясь на сигналах положительной и отрицательной обратной связи. Это ядро служит своеобразным интерфейсом между когнитивными и эмоциональными процессами (Floresco, 2015). Можно также добавить экспериментальные свидетельства функциональной гетерогенности различных структур (например, островковой (Wager, Barrett, 2017) и поясной коры (Schackman и др., 2011), медиальной префронтальной коры (Hiser, Koenigs, 2018)), отсутствие однозначного соответствия активности отдельных корковых зон или глубинных структур и отдельных эмоций (Kober et al., 2008; Lindquist et al., 2012b), а также их отдельных параметров (валентности, уровня интенсивности (arousal)) (Berridge, 2019; Satpute et al., 2019).

Попытка локализовать отдельные «базовые» эмоции в мозге – не единственное направление поиска особенностей мозгового обеспечения различных эмоциональных состояний. Модель, постулирующая возможность порождения многообразия сложных эмоций из ограниченного набора базовых (Plutchik, 2001), позволяет частично преодолеть проблемы ограниченного набора эмоций, но вместе с тем предполагает более сложную нейрональную организацию смешанных эмоций. Другой тип

моделей предполагает переход от дискретного описания эмоциональных состояний к континуальному. В многомерных моделях эмоций, примером которых может быть «круговая модель» (circumplex model (Barrett, Bliss-Moreau, 2009; Russel, Barrett, 1999)), эмоциональные состояния могут быть определены с помощью координат на соответствующей непрерывной оси (например, в двумерных моделях рассматриваются измерения валентности (valence) и интенсивности эмоции (arousal) (Posner, 2005) и др. (Rubin, 2010; Люсин, 2019)). По характеру построения данные модели, с одной стороны, противопоставляют многообразие эмоций универсальным дискретным эмоциям, позволяя получить более широкий спектр состояний (Овсянникова, 2013), с другой — позволяют строить гипотезы относительно общей нейрофизиологической основы эмоциональных процессов (Posner, 2005; Gündem et al., 2022).

В настоящее время ни одна из теорий категориального или многомерного измерения эмоций не находит однозначного подтверждения (Hamann, 2020). В работе (Grootswagers et al., 2017) с использованием МЭГ на основе многомерного анализа паттернов (MVPA) было показано, что анализ временных характеристик сигнала позволяет классифицировать как отдельные эмоциональные состояния, так и их характеристики (валентность, уровень интенсивности (arousal)). При этом различия между эмоциями в большей степени оказались связанными не с особенностями локализации, а с временными характеристиками самого сигнала (Costa et al., 2014; Waugh et al., 2015), что согласуется с данными фМРТ о распределенном характере нейронального обеспечения эмоций (Saarimäki et al., 2018).

Дискуссионным также является вопрос о специфике мозговой организации эмоций с положительной и отрицательной валентностью. Метаанализы в работах (Barret, Wager, 2006; Lindquist et al., 2016; Liu et al., 2011; Murphy et al., 2003; Wager et al., 2003) не выявили соответствующих значимых отличий. Вместе с тем авторы работы (Barret, Wager, 2006) предположили, что различия мозговой организации могут касаться более широких категорий эмоциональных состояний — эмоций приближения (approach) и избегания (aversive). По результатам метаанализа фМРТ- и ПЭТ-данных (Lindquist et al., 2016) его авторы пришли к выводу, что существует ряд нейрональных структур, чья активность не связана с определенной валентностью, но составляет общую нейрональную основу эмоционального реагирования (valence-general regions). Они предложили концепцию «аффективного рабочего пространства» (Lindquist et al., 2012a; Barrett, Bliss-Moreau, 2009), объединяющего функционально связанные области мозга, ассоциированные с обработкой

любой эмоциональной информации, независимо от конкретного вида эмоции или ее валентности, что также находит подтверждение в электрофизиологических исследованиях (Styliadis et al., 2018). К совокупности регионов «аффективного рабочего пространства» в исследовании (Lindquist et al., 2016) были отнесены передняя островковая кора (*anterior insula*, AI), латеральная орбитофронтальная кора (OFC), амигдала (*amygdala*), вентральный стриатум, таламус, дорсомедиальная префронтальная кора (dmPFC), дорсальная передняя поясная кора (dACC), дополнительная моторная область (supplementary motor area, SMA), вентролатеральная префронтальная кора (vlPFC), латеральные части височной и затылочной коры правого полушария. В работе (Liu et al., 2011) на основе метаанализа нейровизуализационных данных выявлена совокупность регионов мозга, образующих карту аффективного рабочего пространства, во многом схожую с предложенной позже в работе (Lindquist et al., 2016). При этом она дополнительно включает области дорсомедиальной префронтальной коры (dmPFC) и задней поясной коры (PCC). Такая конфигурация рассматриваемого «аффективного рабочего пространства», по мнению авторов, связана с ожиданием награды/наказания, а не с эмоциональной окраской стимулов.

Вопрос о межполушарной асимметрии обработки эмоционально окрашенной информации остается дискуссионным. В частности, в ряде работ указывается на более высокую активность правого полушария при обработке негативно окрашенной информации (Dolcos et al., 2008; Gupta et al., 2019; Mielke et al., 2021). Было показано, что смещение внимания в сторону угрожающих стимулов в пробе с точкой (dot probe task) ассоциировано с более высокой амплитудой компонента N2pc в теменных отведениях (Grimshaw et al., 2014), а также с фронтальной асимметрией мощности альфаритма (Pérez-Edgar et al., 2013; Асташенко и др., 2019). Одновременно с этим в некоторых работах, где экспериментальные условия предполагали участие процессов когнитивного контроля, выраженной межполушарной асимметрии или различий в локализации отдельных эмоций не выявлено. Например, в работе (Grissmann et al., 2017) с использованием ЭЭГ было показано отсутствие фронтальной асимметрии альфа-ритма (frontal alpha asymmetry, FAA) в задаче на рабочую память с разным уровнем когнитивной нагрузки и в зависимости от валентности предъявляемых изображений. При этом асимметрия ЭЭГ-сигнала связывается с множеством различных процессов (Cacioppo, 2004), включающим внимание, когнитивный контроль, эмоциональную регуляцию (Schneider et al., 2019; Smith et al., 2017b). Вместе с тем было показано, что эффект смещения внимания в сторону негативных стимулов может сопровождаться изменением функциональной

связности. Результаты работы (Martini et al., 2012) свидетельствуют о том, что по сравнению с нейтральными стимулами обработка негативных стимулов ассоциирована с более высоким уровнем межполушарной функциональной связности височных и фронтальных отделов в низком диапазоне гамма-частот. В то же время в случае эмоционального конфликта (неконгруэнтности стимулов при наличии в их составе хотя бы одного негативного) наблюдается более выраженное, чем для стимулов других валентностей, снижение функциональной связности между структурами, участвующими в обеспечении внимания, памяти и обработки эмоционально окрашенной информации (Zacharia et al., 2022).

В пользу системной организации обработки эмоционально окрашенной информации «общего назначения» могут свидетельствовать данные об избирательном участии звеньев этой сети в обработке информации различного характера. Например, в исследовании (Harris et al., 2007) показана независимость активации медиальной префронтальной коры при аффективной оценке и анализе социальной информации от валентности стимулов и сделан вывод о том, что данная структура скорее «включена» в обработку «социальной» валентности, а в работе (Pacios et al., 2021) на основе анализа неоднозначных результатов подавления нерелевантной информации различной валентности в рабочей памяти сделан вывод о потенциальном различии сетей не восприятия, но когнитивного контроля эмоционально окрашенной информации. Таким образом, накопленные данные позволяют предполагать распределенность кодирования эмоциональной информации, где определяющими оказываются особенности связей внутри системы, их специфические временные или пространственные характеристики, паттерны электрофизиологической активности (Styliadis et al., 2018; Keshmiri et al., 2020).

**Конструктивистские теории и сетевой подход.** Тот факт, что нейрофизиологические исследования в целом не выявили свидетельств однозначного «кодирования» отдельных эмоций в мозге, согласуется с точкой зрения конструктивистской теории (Gündem et al., 2022), которая предполагает отсутствие неделимых категорий эмоционального состояния. Согласно конструктивистской теории конкретное нейрональное обеспечение эмоционального состояния определяется физиологическим компонентом (интероцептивным восприятием) и его трансформацией в эмоциональное переживание в процессе концептуализации (интерпретации) в рамках социально обусловленного прошлого опыта. На нейрофизиологическом уровне эти процессы могут быть представлены комбинацией активности распределенных нейронных сетей, участвующих в обеспечении

также и многих когнитивных функций (например, речи, памяти, сенсорного восприятия). Опираясь на исследования, в которых показана невозможность однозначного соотнесения структур и базовых эмоций, данная концепция предполагает низкую специфичность нейрональной основы эмоциональных процессов (существование общей аффективной сети для различных эмоций), взаимодействие различных сетей в процессе концептуализации и значительную вариативность аффекта (нейронной сети, обеспечивающей обработку эмоционально окрашенной информации в мозге и формирование репрезентаций эмоциональных переживаний).

Результаты нейровизуализационных исследований как восприятия эмоций, так и их активного переживания (например, при актуализации автобиографических воспоминаний) показали отсутствие специфичности нейронального обеспечения отдельных эмоций (Gündem et al., 2022). При этом полученный профиль фМРТ-активации для различных эмоций имел значительные пересечения с общей сетью обработки эмоциональной информации, включающей сеть обнаружения значимости (saliency network), дефолтную сеть (default mode network), которая активируется в состоянии покоя и функционально связана с биографической памятью, воспоминаниями о себе и других, размышлениями о прошлом и будущем, а также сеть оценки семантического значения (semantic appraisal network). Перечисленные ранее структуры, отмеченные в работе (Lindquist et al., 2016) к звеньям аффективного рабочего пространства, в исследованиях сетей покоя упоминаются в качестве узлов сети обнаружения значимости (SN). Такая картина активации мозга позволила авторам сделать вывод в пользу единой системы, вовлеченной в обработку эмоционально окрашенной информации, тем не менее имеющей индивидуальные различия за пределами общей сети. Косвенно в пользу сетевых моделей свидетельствуют результаты исследований, в которых была достигнута более высокая точность распознавания эмоций по данным ЭЭГ в моделях машинного обучения на основе показателей функциональной связности, чем по данным вызванных потенциалов и отдельных показателей физиологической активности (например, (Cui et al., 2023)).

**Компонентные теории субъективного переживания эмоций.** Стоит отметить, что как теории базовых эмоций, так и конструктивистские теории основаны на исследованиях эмоциональных состояний — процессов, которые рассматриваются скорее как неосознаваемые физиологические реакции, даже при наличии последующей эмоциональной оценки. Нейрональная основа субъективного переживания эмоций до сих пор является мало изученной (Gündem et al., 2022; Barrett, 2017). В противовес

исследованию эмоций как физиологических состояний, когнитивные теории эмоций уделяют большее внимание аспекту формирования субъективного переживания. Эмоции рассматриваются как психические процессы, сопровождающиеся формированием субъективного опыта, который влияет на наше знание и последующие эмоциональные реакции и позволяет организовать сложное поведение в ответ на изменения окружающей среды (Barrett, 2017).

Компонентные теории эмоций предполагают существование нескольких процессов, участвующих в оценке события, которое и порождает эмоциональное состояние, приводящее к изменениям в поведении и мышлении. Но, в отличие от конструктивистских теорий, в данном случае более детально рассматриваются когнитивные операции, которые считаются отдельными, такие как переоценка, мотивационные механизмы, моторные реакции и др. Так, в работе (Mohammadi et al., 2023) была показана возможность кластеризации отдельных сетей, связанных с обеспечением компонентов когнитивной оценки при формировании эмоций.

Таким образом, развитие сетевого подхода и анализа функциональной связности способствовало во многом возрождению системного подхода (Schimmelpennig et al., 2023), в рамках которого нейрональное обеспечение различных психологических функций может рассматриваться как результат взаимодействия нейронных сетей, включающих множество структур, способных динамически перестраиваться в соответствии с задачами (Uddin et al., 2019). В исследованиях мозгового обеспечения эмоций наблюдается смена парадигмы в пользу моделей распределенных сетей с присущими им нелинейными взаимодействиями. С ростом сложности модели эмоциональных процессов все более вероятным становится включение в нее когнитивных и метакогнитивных компонент, а также необходимость понимания потенциальной интеграции эмоций в когнитивные процессы.

#### *Модели взаимодействия эмоциональных и когнитивных процессов*

Рассмотренные выше нейрокогнитивные модели эмоциональных процессов нацелены на объяснение формирования аффективной реакции: от неосознаваемого компонента на уровне физиологических реакций до субъективного переживания эмоции в связи с определенной когнитивной оценкой. Все больше подтверждений находят конструктивистские и компонентные теории эмоций, предполагающие значительное участие когнитивного компонента в процессе формирования эмоционального состояния. Характер взаимодействия когнитивных и эмоциональных процессов может

быть различен. Например, модели конкурирующих систем позволяют рассматривать аспект эмоциональной регуляции, считая взаимодействие эмоций и управляющих функций антагонистичным по определению. Тем не менее существование неоднозначных результатов, в особенности влияния эмоциональной информации на рабочую память (см., например, (Schweizer et al., 2019) в качестве обзора), может также свидетельствовать о потенциальном наличии альтернативных объяснений данному взаимодействию, позволяющему учесть не только само по себе воздействие эмоций, но и возможности оперирования ими как отдельным видом информации. Тому же аспекту уделяется внимание в модели осознания эмоций, где необходимым условием является представленность эмоции и возможность управлять эмоциональными репрезентациями в рабочей памяти. По мнению ряда авторов, задача удержания эмоционально окрашенной информации связана с вовлечением специфических механизмов в виде *аффективной рабочей памяти* (Mikels et al., 2008; Van Dillen, Hofmann, 2023).

Существующим обобщением различных аспектов эмоционального переживания, вероятно, является модель трех процессов (three process model), предложенная в работах (Smith, Lane, 2015; Smith et al., 2018b; Smith, Lane, 2016). В ней эмоциональное переживание (субъективный эмоциональный опыт, emotional experience) представлено совокупностью трех процессов: формирования аффективной реакции (affective response generation), когнитивной репрезентации эмоциональной реакции (affective response representation), осознания и когнитивного контроля эмоционального опыта (conscious experience and cognitive control). Процесс формирования эмоции здесь включает два основных аспекта: неосознаваемый — физиологические изменения и автоматические когнитивные оценки этих изменений, протекающих одновременно с ними, в чем можно усмотреть параллель с компонентными теориями эмоций (Scherer, 2009), и осознаваемый — аффективный опыт. Авторами отмечается, что возникающие реакции могут быть во многом эволюционно обусловленными (например, в том, что касается влияния эмоций на процессы восприятия, большей значимости определенных категорий событий или стимулов, привлекающих внимание, независимо от прошлого опыта), а также приобретенными в процессе обучения, что, вероятно является отсылкой к эволюционным теориям эмоций. При этом происходящая когнитивная оценка может быть и осознаваема, и не осознаваема индивидом, то есть во многом автоматична (в отсутствие внимания к репрезентации эмоции). Механизмы когнитивной оценки (appraisal) описываются как иерархически структурированные уровни репрезентации текущей,

вызываемой из памяти или воображаемой ситуации (Smith et al., 2018b). Таким образом, уже на этом уровне в зависимости от существующих у индивида способов оценки и средств концептуализации возникает аффективный ответ на некоторую ситуацию. Этот ответ может обладать разной степенью адаптивности, в зависимости как от способности индивида репрезентировать информацию с уровня формирования эмоций, так и от набора средств оценки, которые применяются им на втором уровне и которые могут быть культурно обусловлены и связаны с прошлым опытом индивида (аналогично концептуализации в конструктивистских теориях (Barrett, 2017)).

Нейрофизиологические механизмы как формирования аффективной реакции, так и когнитивной оценки и переживания эмоционального опыта во многом до сих пор остаются предметом дискуссии. В основном исследователи сходятся в представлении о том, что мозговое обеспечение эмоциональных процессов включает взаимосвязанные протекающие процессы в ряде подкорковых и корковых структур, где подкорковые структуры, включающие лимбическую систему, играют роль в проявлении соматических, вегетативных, гормональных аспектов эмоционального ответа, а вентромедиальные и орбитофронтальные отделы коры обеспечивают взаимодействие с лимбической системой (Barrett, Satpute, 2013; Smith et al., 2017a). Процесс когнитивной оценки предполагает участие дополнительных корковых (поясной коры, префронтальной коры, орбитофронтальной коры, отделов височной коры) и подкорковых (амигдалы, гиппокамп, вентрального стриатума) модулей (Smith, Lane, 2015). Переходя на уровень сетей, можно обобщить, что на этапе формирования аффективной реакции обработка эмоционально окрашенной информации обеспечивается структурами, входящими в лимбическую систему, сеть обнаружения значимости, а также дефолтную сеть, что согласуется с другими исследованиями (Barrett, Satpute, 2013; Gündem et al., 2022; Kober, 2008; Lindquist et al., 2016). При этом более высокие уровни обработки (а также другие задачи, например, эмоциональной регуляции) требуют вовлечения дополнительных сетей в коре. Это показано в обзоре (Smith, Lane, 2015), посвященном обобщению мозговой организации возникновения, восприятия и регулирования эмоций, где представлена схема активации областей мозга в соответствии с этапами когнитивной оценки (appraisal). На ранних этапах, наиболее быстрых (100–140 мс), оценка новизны и значимости события была связана с активацией амигдалы, гиппокампа и периринальной коры, а также орбитофронтальной коры. На более поздних этапах (340–800 мс) оценка соответствия цели деятельности предполагает активацию вентральной

области покрышки среднего мозга (VTA), прилежащего ядра (nACC) (при наличии соответствия, как положительная обратная связь), дорсальной передней поясной коры (dACC), дорсолатеральной префронтальной коры (dlPFC, в случае несоответствия, как отрицательная обратная связь). Оценка собственного действия (agency) — дорсомедиальной префронтальной коры (dmPFC) и височно-теменного соединения (TPJ); оценка соответствия нормам и ценностям — дорсолатеральной префронтальной коры (dlPFC), а также верхней теменной области. Наконец, окончательная оценка, формирующая осознанную эмоцию, а именно значение, которое предается данной ситуации и эмоции, в ней возникающей, была связана с активацией вентромедиальной префронтальной коры (vmPFC) и медиальной височной доли (MTL) (Smith, Lane, 2015).

Ввиду слишком большого количества комбинаций способов когнитивной оценки, а также «весов», с которыми они могут входить в итоговый результат, в рамках данной модели не может идти речи об их соответствии ограниченному малому множеству базовых эмоций внутри каждой культуры. Представленная модель трех процессов также предполагает сетевую парадигму мозгового обеспечения эмоциональных процессов, с присущими ей общими (domain-general) сетями для обработки эмоциональной информации, детали функционирования которых зависят от приобретенного опыта и ожиданий субъекта. Когнитивные процессы в данной модели вовлекаются на всех этапах обработки эмоциональной информации, однако эти этапы отличает различная степень осознания эмоционального содержания. Так, на втором этапе, репрезентации эмоций, происходит распознавание эмоции, способность дать ей определенное название или оценку, а также ее атрибутирование и разделение между собой и другими (Smith et al., 2018b; Smith et al., 2020). В данном случае эмоции, направленные на себя (self-focused), могут быть обеспечены регионами, также входящими в дефолтную сеть (DMN), в том числе отделами медиальной префронтальной коры, а также поясной коры, гиппокампом, латеральной височной корой (Smith et al., 2014). Косвенным подтверждением этому являются выявленные ранее значительные пересечения дефолтной сети (DMN) и регионов, связанных с обработкой информации о социальном взаимодействии, эмоциями, интроспективными процессами (Amft et al., 2015; Mancuso et al., 2022). Среди них амигдала и гиппокамп входят в кластер, связанный с обработкой эмоциональной информации и памятью; комплекс структур из вентрального стриатума, передней поясной и субгенуальной поясной коры, вентромедиальной префронтальной коры ассоциированы с мотивацией, вознаграждением и когнитивной

модуляцией эмоций; задняя поясная извилина/предклинье и дорсомедиальная префронтальная кора — с самореференцией, ментализацией и автобиографическими воспоминаниями, а область височной — теменное соединение (TPJ) и передняя средневисочная извилина — с речью и социальным познанием. Совокупность таких регионов в работе (Amft et al., 2015) было предложено называть социально-аффективной частью сети покоя, обеспечивающей интроспективные, социально-эмоциональные, а также связанные с восприятием себя и других высшие психические процессы.

Для описания третьего уровня — сознательно переживания эмоционального опыта — авторы (Smith et al., 2018b) обращаются к концепции «глобального рабочего пространства» (global workspace network) (Baars, 2005; Dehaene et al., 2011). Если локальная сеть, ассоциированная с репрезентацией, является одновременно активированной («global broadcasting») с глобальной сетью рабочего пространства, то, благодаря нисходящим влияниям глобальной сети, содержание репрезентации становится доступным и другим когнитивным процессам, в том числе когнитивному контролю. Основное значение «осознаваемости» эмоции состоит в возможности управлять содержимым этой эмоциональной репрезентации, в том числе возможности рефлексировать о нем, а также использовать при принятии решений и осуществлении целенаправленной деятельности (Smith et al., 2018b). Мозговая организация этого уровня является наиболее «распределенной», поскольку включает целое множество сетей и их взаимодействия, с учетом перестроек и динамики на предыдущих уровнях формирования и репрезентации эмоций (Barrett, 2017; Pessoa, 2017). Таким образом, содержание эмоциональной репрезентации, аналогично другой информации в сознании, является доступным и может быть модифицировано под влиянием когнитивного контроля в соответствии с целью текущей деятельности, например в процессе эмоциональной регуляции.

Осознаваемый аффективный опыт связан, согласно модели (Smith et al., 2018b), с оперированием эмоциональными категориями и собственными ощущениями в рамках домен-неспецифического модуля рабочей памяти. Особенность

данной модели также в том, что осознание эмоций в ней тесно связывается со способностью понимания чувств и намерений других людей (theory of mind), что объединяет эмоциональные и социальные домены обработки информации. Мозговое обеспечение осознания эмоций и социального познания также предполагается основанным на активности распределенных сетей, в числе которых дефолтная сеть (DMN), в первую очередь медиальные отделы префронтальной коры, связанные с репрезентацией абстрактных понятий (собственных состояний, целей, мотивов, потребностей), сеть обнаружения значимых событий (saliency network) и сеть языка (language network), в частности островковая кора, амигдала, передняя поясная кора, участвующие в оценке валентности, сеть исполнительного контроля (executive control network), в том числе латеральная префронтальная кора, в связи с необходимостью обеспечения направленного внимания, а также оперирования информацией в рабочей памяти (Smith et al., 2020).

Модель трех процессов (Smith et al., 2018b) расширяет понимание функциональной организации эмоциональных процессов, рассматривая роль когнитивных компонентов не только в категоризации переживаний или формировании отношений к ним, например в форме оценки валентности, но также и в метакогнитивной оценке и оперировании знаниями об эмоциях. В то же время эта модель как минимум не противоречит представлениям о пересечении восходящего (через формирование эмоции и репрезентации эмоции) и нисходящего (осуществления когнитивного контроля) потоков информации (аналогично (Pessoa, 2017; Dolcos et al., 2017a)).

В описании третьего уровня обработки эмоциональной информации в модели трех процессов можно найти много общего с понятием «аффективной рабочей памяти» (Mikels et al., 2008), которую предлагается рассматривать как отдельный модуль рабочей памяти, предназначенный для обработки и хранения репрезентаций эмоциональных, субъективно значимых событий (Mikels, Reuter-Lorenz, 2019; Van Dillen, Hofmann, 2023; LeDoux, Brown, 2017). Таким образом, можно определить аффективную рабочую память (АРП)<sup>1</sup> как подсистему

<sup>1</sup>В литературе встречаются такие термины, как аффективная (affective working memory) и эмоциональная рабочая память (emotional working memory, (Schweizer et al., 2011)), предполагающие различные аспекты обработки эмоциональной информации в рабочей памяти. Эмоциональная рабочая память, с другой стороны, является более широким понятием, включая процессы хранения и обработки информации, в том числе эмоционально окрашенной, в общей системе рабочей памяти, а также влияния эмоций на когнитивные процессы. Таким образом, в понятии аффективной рабочей памяти подчеркивается активность деятельности по удержанию и обработке эмоциональных состояний (частично отделенных от когнитивных задач, например, рассматривая удержания аффективного состояния как самостоятельного по отношению к некоторым перцептивным характеристикам объекта, зависящим от сенсорной модальности), в то время как эмоциональная рабочая память вовлекается и при пассивном восприятии эмоциональной информации, например в присутствии когнитивной задачи.

рабочей памяти (РП), связанную с осуществлением удержания и управления эмоционально окрашенной информацией. Будучи обособленным модулем внутри единой РП, эта подсистема доступна управляющим функциям, осуществляющим контроль над когнитивной деятельностью и сознанием в целом, и, соответственно, ее работа, как и мозговое обеспечение, могут пересекаться с деятельностью других подсистем, результатом чего могут являться наблюдаемые эффекты интерференции (Mikels, Reuter-Lorenz, 2019). Существующие на текущий момент данные позволяют судить о существенном пересечении мозгового обеспечения эмоциональных процессов и управляющих функций (Geng et al., 2024; Kohn et al., 2014; Morawetz et al., 2020).

***Общие функциональные сети  
процессов репрезентации эмоционального опыта  
и рабочей памяти***

*Сетевые модели рабочей памяти  
и когнитивного контроля*

Наиболее известные классы моделей РП — многокомпонентные и ресурсные модели — включают в себя ряд общих механизмов, объединяющих функции удержания информации, избирательной активации репрезентаций, а также их сопоставления со следами в долговременной памяти (для обзора см. (Logie et al., 2020)).

В сетевых нейрофизиологических моделях предполагается, что удержание сенсорной информации в РП обеспечивается теми же сетями, что и восприятие информации соответствующей модальности. Например, показано, что в области V1 удерживается информация о цвете и направлении линий, информация о движении удерживается в поле MT и первичной зрительной корой (Riggall, Postle, 2012); удержание сложных зрительных паттернов связывают с активностью теменной и затылочной областей коры (Christophel et al., 2017). В префронтальной коре расположены центры, обеспечивающие нисходящие влияния, способствующие объединению этих домен-специфических узлов в единую систему, конфигурация которой строится исходя из особенностей выполняемых задач (Christophel et al., 2017; Jonides et al., 2005; Nee, D’Esposito, 2018). Например, в работах (Absatova et al., 2016; Gazzaley et al., 2004) показано существование функциональных связей между сенсорными областями и префронтальной корой при активном удержании сенсорной информации в РП. При этом, согласно мнению (Postle, 2006), иерархия центров, вовлеченных в работу зрительной РП, от первичной зрительной коры к префронтальной отражает уровни абстрактности репрезентации (от простых к семантически более сложным). Гипотеза уровневой обработки

информации (Nee, D’Esposito, 2018) предполагает, что активация различных компонентов РП зависит от задачи обработки: чем более высокий уровень обработки требуется при оперировании с информацией и извлечением семантических значений, тем выше будет активность префронтальных областей. Тем не менее дискуссионным остается вопрос о количестве возможных домен-специфических модулей, а также об уровнях кодирования внутри одного модуля. Например, внутри зрительной модальности различными функциональными связями и структурами обеспечивается обработка пространственной зрительной информации и зрительной информации о лицах (см., например, (Padilla-Coreano et al., 2022)).

Центральным компонентом такой распределенной системы являются локальные сети, включающие префронтальную кору и сети внимания, под «руководством» которых осуществляется последующая «сборка» системы (Postle, 2006; Friedman, Robbins, 2022). Аналогично, в модели сетевой организации психических процессов функционально специфичные локальные нейронные сети объединяются в системы на основе прямых и обратных связей для решения конкретной задачи. Встраиваясь в систему, локальные сети могут модифицировать свою активность в зависимости от изменения внутренних и внешних условий (global-within-local design) (Pessoa, 2019). Одним из механизмов формирования временных связей является их согласованная ритмическая активность (Pessoa, 2010).

***Общие сети эмоциональной регуляции  
и когнитивного контроля***

Пересечение сетей, связанных с обработкой эмоционально окрашенной информации и когнитивного контроля, обсуждалось в ряде работ (например, (Morawetz et al., 2020; Keha et al., 2024; Lee, Xue, 2018)). Показано, что подавление интерференции эмоционально окрашенной информации обеспечивается группой функционально связанных регионов, куда входят зоны коры, входящие в сеть обнаружения значимости (dACC, AI) и в сети внимания (левая нижняя фронтальная извилина (IFG), верхняя теменная доля (SPL)). Полученные результаты свидетельствуют о существовании единой функциональной системы, обеспечивающей подавление интерференции, независимо от вида и модальности стимула (Chen, 2018). В то же время пока нет определенности в том, являются ли на нейронном уровне механизмы когнитивного контроля едиными в случае аффективной рабочей памяти и рабочей памяти при выполнении когнитивных задач (Grimshaw et al., 2018; Pourtois et al., 2013; Viviani, 2013).

Процессы когнитивного контроля, согласно современным данным, обеспечиваются шестью ключевыми сетями, центральным компонентом которых является префронтальная кора (PFC) (Menon, D'Esposito, 2022): фронто-париетальная сеть (fronto-parietal network, FPN), сеть определения значимости (salience network, SN), сеть пассивного режима работы мозга (дефолтная сеть, default mode network, DMN), дорсальные и вентральные сети внимания (dorsal/ventral attention networks, DAN/VAN). Фронто-париетальная сеть включает дорсолатеральную и дорсомедиальную префронтальные зоны (dlPFC, BA 9/46, dmPFC, BA 6), области задней теменной коры (PPC), расположенные вблизи внутритеменной борозды (IPS), а также супрамаргинальную извилину (SPG) (Menon, D'Esposito, 2022; Мачинская, 2015). Сеть определения значимости включает переднюю островковую долю (AI) и дорсальную переднюю поясную кору (dACC, BA 24), в качестве дополнительных узлов упоминаются подкорковые структуры: амигдала, черная субстанция, вентральная область покрышки (VTA), дорсомедиальная часть таламуса, гипоталамус и периакведуктальное серое вещество (PGA) (Seeley et al., 2007; Seeley, 2019), вентральные области нижней лобной извилины (IFG), а также область соединения височной и теменной зон (TPJ). Дорсальная сеть внимания включает фронтальное глазодвигательное поле (FEF) и внутритеменную борозду (IPS), а также зрительное ассоциативное поле MT (Corbetta, Shulman, 2011; Vossel et al., 2014) (в некоторых источниках также регион внутритеменной борозды и верхней теменной доли (IPS/SPL) и угловой извилины (*angular gyrus*) (Menon, D'Esposito, 2022)). Дефолтная сеть (DMN) имеет главными центрами медиальную префронтальную кору (mPFC), заднюю поясную кору (PCC), медиальную височную долю (medial temporal lobe) и угловую извилину, при этом продолжаясь до латеральной PFC (Zamani et al., 2022).

Активность FPN связана с избирательным произвольным вниманием к внешним стимулам или преднастройкой к их обработке (D'Esposito et al., 1995; Talalay et al., 2018), в то время как DMN — с обработкой автобиографической и субъективно значимой информации (Силькис, 2022; Molnar-Szakacs, Uddin, 2013), социальным взаимодействием и пониманием других и рядом других функций (Li et al., 2014)<sup>1</sup>. Взаимодействие этих систем играет важную роль в осуществлении когнитивного контроля, однако ранее предполагалось, что активация одной из систем связана с подавлением активности другой (Kelly et al., 2008; Spreng et al., 2010), тем

не менее было показано, что взаимодействие между ними может быть более сложным. Например, FPN может быть разделена на две неперекрывающиеся подсети, каждая из которых взаимодействует с DMN, образуя конкурентные сети, где одна из подсетей оказывается функционально связанной с DMN, а другая — функционально связанной с DAN, таким образом осуществляя более тонкую настройку внимания (Murphy et al., 2020). Механизм конкурирующих влияний подсетей, по-видимому, может быть общим для объяснения взаимодействия эмоциональных и когнитивных процессов (Pessoa, 2017), см. также (Dolcos, Denkova, 2015).

Таким образом, многие компоненты «аффективного рабочего пространства» входят в состав нескольких функционально связанных сетей. Мета-анализ нейровизуализационных исследований (Schweizer et al., 2019) подтвердил, что при обработке эмоционально окрашенной информации оказываются задействованными как части сети обнаружения значимых событий, так и вентральные части фронто-париетальной сети внимания (вентролатеральная префронтальная кора), а также височно-затылочные области, включая веретенообразную извилину (*fusiform gyrus*), связанную с распознаванием лиц. В то время как в задачах, связанных с нейтральными стимулами, активировались компоненты, типичные для РП — дорсолатеральная префронтальная кора и предклинье.

Гибкость системы и интеграция эмоциональных и когнитивных процессов обеспечиваются за счет подключения дополнительных звеньев и переключения между сетями, что было показано ранее, например для рабочей памяти (Wallis et al., 2015). При конкуренции за ресурсы внимания между эмоционально окрашенными стимулами в ситуации эмоционального конфликта, по аналогии с конкуренцией стимулов в РП, активируются различные подсистемы фронто-париетальной сети (Dolcos, Denkova, 2015; Dolcos et al., 2017b). Предполагается, что передняя поясная кора может оказывать модулирующее влияние на сети, связывающие латеральные и вентромедиальную области префронтальной коры в связи с уровнем мотивации и когнитивной нагрузки (Longe et al., 2009).

Аналогичный механизм встречается при объяснении процессов эмоциональной регуляции. Так, в работе (Geng et al., 2024) показано, что общими для обеспечения процессов эмоциональной регуляции и когнитивного контроля являются сеть обнаружения значимости (SN), DMN, а также FPN. Эти сети связаны между собой анатомически, например, передняя островковая кора имеет реципрокные связи с медиальной префронтальной

<sup>1</sup>Существуют также работы, связывающие активность DMN не только с состоянием спокойного бодрствования, но и с более широким спектром физиологических процессов (Heine et al., 2012; Hong et al., 2021).

и передней поясной корой, а также амигдалой. Островковая доля входит в ряд сетей, участвующих как в реализации управляющих функций (Molnar-Szakacs, Uddin, 2022), так и в различных аспектах обработки эмоционально окрашенной и интерцептивной информации, задачах социального взаимодействия (эмпатии), а также осознанного переживания эмоций (Gu et al., 2013). Считается, что ее роль в регуляции эмоциональных процессов связана с восходящим путем, активирующимся при обнаружении значимых событий, функциями переключения между различными сетями, а также с обеспечением переключения произвольного внимания и РП в случае обнаружения значимых событий (Menon, Uddin, 2010). В фМРТ-исследовании (Wu et al., 2019) активности мозга в процессе принятия решений была показана активация передней островковой коры (AIC) в условии роста нагрузки на РП (cognitive load). Основываясь на наблюдениях о том, что активация AIC монотонно возрастает с ростом нагрузки на РП, а также на нейропсихологических данных о существенных нарушениях функций когнитивного контроля у лиц с поражениями передней островковой области коры, авторы делают вывод о том, что данный регион может рассматриваться как критический, определяющий эффективность когнитивного контроля. В настоящий момент существует достаточно много свидетельств о функциональной связи АСС и AIC, высказываются предположения, что их синхронная активность обеспечивает эмоциональный ответ на внешние и внутренние стимулы и формирование субъективных переживаний в результате обработки репрезентаций сенсорных стимулов (Medford, Critchley, 2010). Нарушение функций социального взаимодействия параллельно с нарушениями восприятия эмоций и собственных телесных сигналов при поражении AIC позволяет рассматривать эту часть коры в качестве важного звена системы восприятия социального контекста эмоциональной информации (Adolfi et al., 2017).

Анатомические связи, а также функциональные взаимодействия между сетями SN, DMN, ECN, по мнению ряда исследователей, могут обеспечивать эффекты переключения между ними при наличии модулирующего воздействия одной из них. Например, в работе (Goulden et al., 2014) на основе моделирования по данным фМРТ показано, что структуры, входящие в сеть обнаружения значимых событий, играют роль в переключении между сетью исполнительного контроля и DMN.

Согласно данным метаанализа (Frank et al., 2014; Kohn et al., 2014; Morawetz et al., 2020), общими для эмоциональной регуляции и когнитивного контроля являются латеральная префронтальная кора, соматосенсорная кора (SMA), островковая кора, амигдала, области теменной и височной коры.

В работе (Morawetz et al., 2020) на основе данных работ, где анализировалась функциональная связность в различных задачах эмоциональной регуляции, была проведена кластеризация полученных совокупностей структур в зависимости от типа задачи или особенности психического процесса, связанного с эмоциональной регуляцией. Были выявлены четыре крупные группы функционально связанных структур: 1) связанная с подавлением нерелевантной информации с центром в дорсолатеральной префронтальной коре (включавшая также области левой верхней фронтальной извилины, левой нижней теменной доли, SMA, правую островковую кору, поясную извилину и предклинье); 2) «речевая» с центром в вентролатеральной префронтальной коре (включая нижнюю фронтальную извилину, верхнюю височную извилину и область TPJ, левую среднюю височную извилину, левую медиальную фронтальную извилину, SMA и хвостатое ядро в левом полушарии); 3) группа структур, чья совместная активность была ассоциирована с процессами генерации эмоции (включая амигдалу, веретенообразную извилину, левую парагиппокампальную извилину, медиальную фронтальную извилину, вентромедиальную кору, периакведуктальное серое вещество (PAG) и область нижней затылочной извилины (IOG), имеющей связи с амигдалой и задействованной в распознавании лиц (Jacques et al., 2019)); и 4) группа структур, связанная с эмоциональной регуляцией и реактивностью (постцентральная извилина, левая островковая кора, левая верхняя теменная доля, клин и предклинье, задняя поясная кора, PAG), которая, по мнению исследователей, может служить звеном в осуществлении переоценки при эмоциональной регуляции. Наличие отдельного кластера, связанного с речевыми областями, по мнению авторов, может свидетельствовать о положении переоценки в качестве ведущего процесса эмоциональной регуляции.

### **Функциональная организация АРП**

Таким образом, на основе анализа представленных выше исследований взаимодействия систем обеспечения эмоциональных и когнитивных процессов можно заключить, что нейрональная основа АРП близка к РП, включая механизмы когнитивного контроля. Однако ввиду того, что АРП предназначена для удержания субъективно значимой информации, которая не учитывается в когнитивных моделях, ее функциональная организация требует вовлечения дополнительных областей (Kardosh et al., 2024; Waugh et al., 2014). С учетом представленных данных, функциональная организация АРП может быть описана с использованием сетевой модели аффективного рабочего пространства (Gündem et al.,

2022; Lindquist et al., 2016) и современных интерпретаций многокомпонентной рабочей памяти (Baddeley et al., 2019).

Отдельными узлами сети обработки субъективно значимой информации могут быть представленные в работах (Smith, Lane, 2015; Gündem et al., 2022; Lindquist et al., 2016; Menon, D'Esposito, 2022; Underwood et al., 2021) структуры, входящие в сети обработки эмоциональной информации и функционирования рабочей памяти, в том числе такие как амигдала, вентральный стриатум, медиальные и латеральные отделы префронтальной коры (mPFC, vlPFC, dlPFC), передняя поясная кора (ACC), части задней теменной коры и TPJ, нижняя лобная извилина, височные области, включая парагиппокампальную извилину, гиппокамп, передняя островковая кора (AIC).

В соответствии с моделью трех процессов Р.Смита и соавт. (Smith, Lane, 2015; Smith, Lane, 2016; Smith et al., 2018b) к нейрональной основе формирования аффективной реакции можно отнести вышеперечисленные подкорковые структуры и островковую кору. Процессы формирования когнитивной репрезентации эмоциональной реакции (affective response representation) и осознания эмоционального опыта (conscious experience and cognitive control) обеспечиваются преимущественно корковыми структурами. Так, была показана роль медиальной префронтальной коры в удержании ментальных состояний эмоциональных переживаний, их оценке и концептуализации на высоком уровне абстракции (Waugh et al., 2014; Smith, 2018; Smith et al., 2014). Медиальная префронтальная кора (mPFC) обладает связями с лимбической системой и осуществляет нисходящий контроль через кортико-стриарные и кортико-стволовые пути. Показано, что нарушения функционирования данной области наблюдаются при снижении социальных навыков, нарушениях рабочей памяти, при зависимостях, обсессивно-компульсивном расстройстве (ОКР), а также при ангедонии (Coley et al., 2021). mPFC связана с островковой корой и подкорковыми структурами и часто упоминается в роли звена системы нисходящего контроля при регуляции эмоций (Smith, Lane, 2015; Smith et al., 2018a; Etkin et al., 2015). В обеспечении высокоуровневых эмоциональных процессов также участвуют и другие зоны префронтальной коры. Активность орбитофронтальной коры связана с эмоционально-мотивационной регуляцией деятельности и социальным взаимодействием, в том числе с процессами кодирования и извлечения эмоциональных репрезентаций, а также автобиографической памятью (Brand, Markowitsch, 2006). Эти функции во многом обусловлены связями орбитофронтальной коры с амигдалой, базальными ганглиями и лимбической петлей, а также с нижневисочной корой

и гипоталамусом (Мачинская, 2015). По данным (Barbey et al., 2020; Llorens et al., 2020) орбитофронтальная кора участвует в подавлении нерелевантных стимулов и интерферирующих влияний в том числе, при образовании связей с островковой корой – в подавлении интерференции с эмоционально окрашенными стимулами (Levens, Phelps, 2010; Perlstein et al., 2002). Передняя поясная кора (ACC) связана анатомически и функционально со многими структурами, включая переднюю островковую долю (AI), гипоталамус, область перед дополнительной моторной областью (pre-SMA), подкорковые структуры (базальные ганглии, таламические ядра), медиальную префронтальную кору. Она является одним из центров сети обнаружения значимых событий (Seeley et al., 2007) и вовлечена в процессы сенсорной интеграции (Gu et al., 2013), подавления интерференции (Nee et al., 2007), переключения внимания и принятия решений, интегрируя эмоциональные и когнитивные процессы для реализации целенаправленного поведения (Rolls и др., 2022), в том числе регуляции эмоций (Dixon et al., 2017; Kohn et al., 2014; Schweizer et al., 2019; Van Dillen et al., 2009).

Структура нейронального обеспечения осознания эмоционального состояния может варьироваться в зависимости от социального контекста (Smith et al., 2020; Caillaud, 2020). Несмотря на данные о существовании специфических систем, связанных с социальным познанием (Amodio, Frith, 2006; Lobo et al., 2022), было показано, что общими звеньями социо-эмоционального взаимодействия являются медиальная префронтальная кора и структуры DMN (Meyer et al., 2015; Xin, Lei, 2015), а также FPN (Smith et al., 2017b). Метаанализ нейровизуализационных исследований показал, что обработка эмоциональной социальной и несоциальной информации в мозге не предполагает существования изолированных систем и скорее есть основания предполагать значительное взаимопересечение или общую функциональную систему, гибко адаптирующуюся с учетом социального контекста (Atzil et al., 2023). Известно, что ряд областей сети, получившей название social brain network (SBN) и до сих пор остающейся мало изученной, также входят в сети, относящиеся к аффектому (Gündem et al., 2022; Morawetz et al., 2020). При этом отмечается, что вопрос о специфике мозговой организации обработки эмоционально окрашенной информации, содержащей социальный контекст, остается открытым (Atzil et al., 2023; Neumann et al., 2018; Zinchenko et al., 2015).

Таким образом, существующие данные о нейрональном обеспечении РП, когнитивного контроля, эмоциональной регуляции позволяют предположить, что мозговое обеспечение АРП может быть описано, основываясь на сетевой

модели, включающей взаимодействие описанных выше сетей РП (когнитивного контроля) и сетей, обеспечивающих различные уровни восприятия, оценки и осознания эмоционального состояния, с возможностью перестройки и подключения дополнительных узлов, например, связанных с обработкой социально значимой информации.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

### *Направления будущих исследований*

Развитие представлений об устройстве мозгового обеспечения обработки эмоционально окрашенной информации способствовало формированию системной точки зрения на взаимодействие когнитивных и эмоциональных процессов как механизма выбора и реализации целенаправленного поведения. Современные представления все более отходят от локализационистских позиций об устройстве мозгового обеспечения психических функций в пользу сетевых моделей, предполагающих участие распределенных сетей и их комбинаций, состоящих из многих звеньев и адаптирующихся по структуре в соответствии с выполняемой задачей. Сложные взаимодействия сетей делают возможным описание процессов более высокого уровня, предполагающих не только конкуренцию, но и взаимодействие эмоций и когнитивных процессов, например в рамках аффективной рабочей памяти, образуя специализированный модуль, основная функция которого – обеспечение высокоуровневой обработки эмоциональной информации.

Исследование механизмов обработки эмоционально окрашенной информации и влияния эмоционального состояния на когнитивные процессы оказывается актуальным и с точки зрения понимания механизмов эмоциональной регуляции в норме и патологии, а также причин и особенностей аффективных расстройств (Hendricks, Buchanan, 2016; Pruessner et al., 2020; Schweizer et al., 2020). С одной стороны, накопление противоречивых эмпирических данных свидетельствует о необходимости пересмотра более ранних теоретических представлений о функционировании систем, вовлеченных в эмоциональное познание, с другой стороны, появление новых данных, расширяющих горизонты более ранних представлений, позволяет по-новому и более целостно взглянуть на функциональную организацию целенаправленного поведения, связанного с эмоциональным и социальным взаимодействием.

Подчеркивается важность исследования индивидуальных различий мозговой организации АРП и связи отдельных нарушений в функционировании этих сетей с развитием аффективных

расстройств (обсессивно-компульсивного расстройства, депрессии и др.), расстройств развития (РАС, СДВГ) и т.п. (Schweizer et al., 2019; Gündem et al., 2022; Smith et al., 2019).

Таким образом, существующая литература позволяет судить о сложной иерархической структуре обработки эмоционально окрашенной информации, каждый этап которой требует особого мозгового обеспечения. Наиболее изученными оказываются механизмы, стоящие за этапами восприятия эмоций, в то время как процессы их репрезентации и осознанного переживания эмоционального опыта требуют дополнительных исследований.

Актуальным остается вопрос динамических взаимодействий между сетями. Особого внимания заслуживает анализ развития эмоциональной осознанности и аффективной рабочей памяти в рамках когнитивного развития. Данные об общности нейрональных механизмов когнитивного контроля и эмоциональной регуляции позволяют развивать новые направления исследований этих компонентов деятельности как взаимосвязанных процессов. Исследование особенностей аффективной рабочей памяти с позиций управляющих функций, в том числе подавления нерелевантной информации, процессов переключения, обновления информации, вероятно, может оказаться полезным для понимания особенностей депрессивной симптоматики (например, руминаций), влияния обработки эмоциональной информации при принятии решений, мониторинга и преодоления эмоционального конфликта.

В исследовании аффективной рабочей памяти, субъективной составляющей переживания эмоций и эмоциональных процессов в целом одним из важнейших вызовов является развитие экологически валидных методов и экспериментальных парадигм (Schweizer et al., 2019; Okon-Singer et al., 2015; Adolphs, 2017). Важным представляется и развитие электрофизиологических методов исследования субъективного опыта, включающих анализ статических и динамических характеристик нейрональных сетей, формирующихся при переживании эмоциональных состояний.

## ВКЛАД АВТОРОВ

Е.В. Кочеткова – написание текста; Р.И. Мачинская – написание текста, редактирование текста статьи.

## ФИНАНСИРОВАНИЕ

Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства просвещения Российской Федерации № 073-00073-24-21 2024 г.

## КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Астащенко А.П., Якимова Е.Г., Дорохов Е.В.* Изменения фронтальной функциональной асимметрии головного мозга в процессах смещения внимания к эмоциональным стимулам. *Вестник ВолГМУ*. 2019. 4(72): 49–52.
- Люсин Д.В.* Трехмерная модель структуры эмоциональных состояний, основанная на русскоязычных данных. *Психология. Журнал Высшей школы экономики*. 2019. 16 (2): 341–356.
- Мачинская Р.И.* Управляющие системы мозга. *Журн. высш. нерв. деят. им. И.П. Павлова*. 2015. 65: 33–60.
- Овсянникова В.В.* К вопросу о классификации эмоций: категориальный и многомерный подходы. *Вопросы экономики*. 2013. 37: 43–48.
- Розовская Р.И., Мачинская Р.И., Печенкова Е.В.* Влияние эмоциональной окраски изображений на зрительную рабочую память у взрослых и подростков. *Физиология человека*. 2016. 42(1): 82–93.
- Силькис И.Г.* Механизмы функционирования коннектома, включающего неокортекс, гиппокамп, базальные ганглии, мозжечок и таламус. *Журнал высшей нервной деятельности им. И.П. Павлова*. 2022. 72(1): 36–54.
- Сучкова Е.А.* Обновление аффективно окрашенной информации в рабочей памяти: Роль эмоционального состояния. *Российский Журнал Когнитивной Науки*. 2018. 5(2): 45–56.
- Absatova K.A., Kurgansky A.V., Machinskaya R.I.* The recall modality affects the source-space effective connectivity in the  $\theta$ -band during the retention of visual information. *Psychol. Neurosci*. 2016. 9: 344–361.
- Adolfi F., Couto B., Richter F., Decety J., Lopez J., Sigman M., Manes F., Ibáñez A.* Convergence of interoception, emotion, and social cognition: A twofold fMRI meta-analysis and lesion approach. *Cortex*. 2017. 88: 124–142.
- Adolphs R.* How should neuroscience study emotions? by distinguishing emotion states, concepts, and experiences. *Soc. Cogn. Affect. Neurosci*. 2017. 12: 24–31.
- Ahumada-Méndez F., Lucero B., Avenanti A., Saracini C., Muñoz-Quezada M.T., Cortés-Rivera C., Canales-Johnson A.* Affective modulation of cognitive control: A systematic review of EEG studies. *Physiology & Behavior*. 2022. 249: 113743.
- Alexandrov Y. I., Sams M. E.* Emotion and consciousness: Ends of a continuum. *Cogn. Brain Res*. 2005. 25: 387–405.
- Amft M., Bzdok D., Laird A.R., Fox P.T., Schilbach L., Eickhoff S.B.* Definition and characterization of an extended social-affective default network. *Brain Struct. Funct*. 2015. 220: 1031–1049.
- Amodio D.M., Frith C.D.* Meeting of minds: the medial frontal cortex and social cognition. 2006. *Nat. Rev. Neurosci*. 7: 268–277.
- Armony J.* Current Emotion Research in Behavioral Neuroscience: The Role(s) of the Amygdala. *Emotion Review*. 2013. 5: 104–115.
- Atzil S., Satpute A.B., Zhang J., Parrish M.H., Shablack H., MacCormack J.K., Leshin J., Goel S., Brooks J.A., Kang J., Xu Y., Cohen M., Lindquist K.A.* The impact of sociality and affective valence on brain activation: A meta-analysis. *NeuroImage*. 2023. 268: 119879.
- Baars B.J.* Global workspace theory of consciousness: toward a cognitive neuroscience of human experience. *Progress in Brain Research*. 2005. 150: 45–53.
- Baddeley A.D., Hitch G.J. & Allen R.J.* From short-term store to multicomponent working memory: The role of the modal model. *Mem. Cognit*. 2019. 47: 575–588.
- Barbey A.K., Koenigs M., Grafman J.* Orbitofrontal Contributions to Human Working Memory. *Cereb. Cortex*. 2011. 21: 789–795.
- Barrett L.F., Bliss-Moreau E.* Affect as a Psychological Primitive. *Adv. Exp. Soc. Psychol*. 2009. 41: 167–218.
- Barrett L.F., Satpute A.B.* Large-scale brain networks in affective and social neuroscience: towards an integrative functional architecture of the brain. *Curr. Opin. Neurobiol*. 2013. 23: 361–372.
- Barrett L.F., Wager T.D.* The Structure of Emotion: Evidence From Neuroimaging Studies. *Curr. Dir. Psychol. Sci*. 2006. 15: 79–83.
- Barrett L. F.* The theory of constructed emotion: an active inference account of interoception and categorization. *Soc. Cogn. Affect. Neurosci*. 2017. 12: 1–23.
- Bekhtereva V., Craddock M., Müller M. M.* Attentional bias to affective faces and complex IAPS images in early visual cortex follows emotional cue extraction. *NeuroImage*. 2015. 112: 254–266.
- Berridge K. C.* Affective valence in the brain: modules or modes? *Nat. Rev. Neurosci*. 2019. 20: 225–234.
- Brand M., Markowitsch H. J.* Memory processes and the orbitofrontal cortex. *The Orbitofrontal Cortex* (eds. Zald, D., Rauch, S.). 2006. Pp. 285–306. <https://doi.org/10.1093/acprof:oso/9780198565741.003.0011>
- Cacioppo J.T.* Feelings and emotions: roles for electrophysiological markers. *Biological Psychology*. 2004. 67(1–2): 235–243.
- Caillaud M., Bejanin A., Laisney M., Gagnepain P., Gaubert., Viard A., Clochon P., de La Sayette V., Alain P., Eustache F., Desgranges B.* Influence of emotional complexity on the neural substrates of affective theory of mind. *Hum. Brain Mapp*. 2020. 41: 139–149.
- Celeghin A., Diano M., Bagnis A., Viola M., Tamietto M.* Basic Emotions in Human Neuroscience: Neuroimaging and Beyond. *Front. Psychol*. 2017. 8: 1432.
- Chen T., Becker B., Camilleri J., Wang L., Yu S., Eickhoff S.B., Feng C.* A domain-general brain network underlying emotional and cognitive interference processing: evidence from coordinate-based and functional

- connectivity meta-analyses. *Brain Struct. Funct.* 2018. 223: 3813–3840.
- Christophel T.B., Klink P.C., Spitzer B., Roelfsema P.R., Haynes J.-D.* The Distributed Nature of Working Memory. *Trends Cogn. Sci.* 2017. 21: 111–124.
- Coley A.A., Padilla-Coreano N., Patel R., Tye K.M.* Valence processing in the PFC: Reconciling circuit-level and systems-level views. Ch.7 in *International Review of Neurobiology* (eds. Brockett A. T., Amarante L. M., Laubach M., Roesch M. R.). 2021. 158: 171–212.
- Corbetta M., Shulman G. L.* Spatial neglect and attention networks. *Annu. Rev. Neurosci.* 2011. 34: 569–599.
- Costa T., Cauda F., Crini M., Tatu M.K., Celeghin A., De Gelder B., Tamietto M.* Temporal and spatial neural dynamics in the perception of basic emotions from complex scenes. *Soc. Cogn. Affect. Neurosci.* 2014. 9: 1690–1703.
- Cromheeke S., Mueller S.C.* Probing emotional influences on cognitive control: an ALE meta-analysis of cognition emotion interactions. *Brain Struct. Funct.* 2014. 219: 995–1008.
- Cui G., Li X., Touyama H.* Emotion recognition based on group phase locking value using convolutional neural network. *Sci Rep.* 2023. 13: 3769.
- D’Esposito M., Detre J., Alsop D., Shin R., Atlas S., Grossman M.* The neural basis of the central executive system of working memory. *Nature.* 1995. 378: 279–281.
- Dehaene S., Changeux J.-P., Naccache L.* The global neuronal workspace model of conscious access: From neuronal architectures to clinical applications. In *Characterizing Consciousness: From Cognition to the Clinic?* (eds. S. Dehaene & Y. Christen). 2011. Pp. 55–84.
- Dixon M.L., Thiruchselvam R., Todd R., Christoff K.* Emotion and the prefrontal cortex: An integrative review. *Psychol. Bull.* 2017. 143: 1033–1081.
- Dolan R.J., Vuilleumier P.* Amygdala automaticity in emotional processing. *Ann N Y Acad Sci.* 2003. 985: 348–55.
- Dolcos F., Denkova E.* Dissociating Enhancing and Impairing Effects of Emotion on Cognition. *Emerging Trends in the Social and Behavioral Sciences* (eds. Scott, R. A. & Kosslyn, S. M.). 2015. Pp. 1–18. <https://doi.org/10.1002/9781118900772.etrds0079>
- Dolcos F., Katsumi Y., Moore M., Berggren N., de Gelder B., Derakshan N., Hamm A.O., Koster E.H.W., Ladouceur C.D., Okon-Singer H., Pegna A.J., Richter T., Schweitzer S., Van den Stock J., Ventura-Bort C., Weymar M., Dolcos S.* Neural correlates of emotion-attention interactions: From perception, learning, and memory to social cognition, individual differences, and training interventions. *Neurosci. Biobehav. Rev.* 2020. 108: 559–601.
- Dolcos F., Diaz-Granados P., Wang L., McCarthy G.* Opposing influences of emotional and non-emotional distracters upon sustained prefrontal cortex activity during a delayed-response working memory task. *Neuropsychologia.* 2008. 46: 326–335.
- Dolcos F., Katsumi Y., Denkova E., Dolcos S.* Factors Influencing Opposing Effects of Emotion on Cognition: A Review of Evidence from Research on Perception and Memory. in *The Physics of the Mind and Brain Disorders* (eds. Opris, I. & Casanova, M. F.). 2017. 11: 297–341.
- Dolcos F., Katsumi Y., Denkova E., Weymar M., Dolcos S.* Current Issues and Emerging Directions in the Impact of Emotion on Memory: A Review of Evidence from Brain Imaging Investigations. in *Memory in a Social Context* (eds. Tsukiura, T. & Umeda, S.). 2017. Pp. 57–101.
- Etkin A., Büchel C., Gross J. J.* The neural bases of emotion regulation. *Nat. Rev. Neurosci.* 2015. 16: 693–700.
- Floresco S.* The nucleus accumbens: an interface between cognition, emotion, and action. *Annual review of psychology.* 2015. 66: 25–52.
- Frank C. C., Jordan A. D., Ballouz T. L., Mikels J. A., Reuter-Lorenz P. A.* Affective forecasting: A selective relationship with working memory for emotion. *J. Exp. Psychol. Gen.* 2021. 150: 67–82.
- Frank D.W., Dewitt M., Hudgens-Haney M., Schaeffer D.J., Ball B.H., Schwarz N.F., Hussein A.A., Smart L.M., Sabatinelli D.* Emotion regulation: quantitative meta-analysis of functional activation and deactivation. *Neurosci. Biobehav. Rev.* 2014. 45: 202–211.
- Friedman N.P., Robbins T.W.* The role of prefrontal cortex in cognitive control and executive function. *Neuropsychopharmacology.* 2022. 47: 72–89.
- Gazzaley A., Rissman J., D’Esposito M.* Functional connectivity during working memory maintenance. *Cogn. Affect. Behav. Neurosci.* 2004. 4: 580–599.
- Geng H., Xu P., Aleman A., Qin, S., Luo Y.-J.* Dynamic Organization of Large-scale Functional Brain Networks Supports Interactions Between Emotion and Executive Control. *Neurosci. Bull.* 2024. <https://doi.org/10.1007/s12264-023-01168-w>
- Goulden N., Khusnulina A., Davis N.J., Bracewell R.M., Bokde A.L., McNulty J.P., Mullins P.G.* The salience network is responsible for switching between the default mode network and the central executive network: Replication from DCM. *NeuroImage.* 2014. 99: 180–190.
- Gray J.R., Braver T.S., Raichle M.E.* Integration of emotion and cognition in the lateral prefrontal cortex. *Proc. Natl. Acad. Sci.* 2002. 99: 4115–4120.
- Grimshaw G.M., Foster J.J., Corballis P.M.* Frontal and parietal EEG asymmetries interact to predict attentional bias to threat. *Brain Cogn.* 2014. 90: 76–86.
- Grimshaw G.M., Kranz L.S., Carmel D., Moody R.E., Devue C.* Contrasting reactive and proactive control of emotional distraction. *Emotion.* 2018. 18: 26–38.
- Grissmann S., Faller J., Scharinger C., Spüler M., Gerjets P.* Electroencephalography Based Analysis of Working Memory Load and Affective Valence in an N-back Task with Emotional Stimuli. *Front Hum Neurosci.* 2017. 11: 616.
- Grootswagers T., Kennedy B.L., Most S.B., Carlson T.A.* Neural signatures of dynamic emotion constructs in the human brain. *Neuropsychologia.* 2020. 145: 106535.
- Gu X., Hof P.R., Friston K.J., Fan J.* Anterior insular cortex and emotional awareness. *J. Comp. Neurol.* 2013. 521: 3371–3388.

- Gündem D., Potočník J., De Winter F.L., El Kaddouri A., Stam D., Peeters R., Emsell L., Sunaert S., Van Oudenhove L., Vandenbulcke M., Feldman Barrett L., Van den Stock J. The neurobiological basis of affect is consistent with psychological construction theory and shares a common neural basis across emotional categories. *Commun. Biol.* 2022. 5: 1–12.
- Gupta R., Raymond J.E., Vuilleumier P. Priming by motivationally salient distractors produces hemispheric asymmetries in visual processing. *Psychol. Res.* 2019. 83: 1798–1807.
- Haller J. The role of central and medial amygdala in normal and abnormal aggression: A review of classical approaches. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews.* 2018. 85: 34–43.
- Hamann S., Pessoa L., Wager T.D. Neuropsychologia special issue editorial: The neural basis of emotion. *Neuropsychologia.* 2020. 145: 107507.
- Harris L.T., McClure S.M., van den Bos W., Cohen J.D., Fiske S.T. Regions of the MPFC differentially tuned to social and nonsocial affective evaluation. *Cogn. Affect. Behav. Neurosci.* 2007. 7: 309–316.
- Heine L., Soddu A., Gómez F., Vanhaudenhuyse A., Tshibanda L., Thonnard M., Charland-Verville V., Kirsch M., Laureys S., Demertzi A. Resting state networks and consciousness. Alterations of multiple resting state network connectivity in physiological, pharmacological, and pathological consciousness states. *Front. Psychology.* 2012. 3: 295.
- Hendricks M.A., Buchanan T.W. Individual differences in cognitive control processes and their relationship to emotion regulation. *Cogn. Emot.* 30: 912–924.
- Hiser J., Koenigs M. The Multifaceted Role of the Ventromedial Prefrontal Cortex in Emotion, Decision Making, Social Cognition, and Psychopathology. *Biol. Psychiatry.* 2018. 83: 638–647.
- Hong C.C.-H., Fallon J.H., Friston K.J. fMRI Evidence for Default Mode Network Deactivation Associated with Rapid Eye Movements in Sleep. *Brain Sciences.* 2021. 11(11): 1528.
- Hur J., Jordan A.D., Dolcos F., Berenbaum H. Emotional influences on perception and working memory. *Cogn. Emot.* 2017. 31: 1294–1302.
- Jacques C., Jonas J., Maillard L., Colnat-Coulbois S., Koessler L., Rossion B. The inferior occipital gyrus is a major cortical source of the face-evoked N170: Evidence from simultaneous scalp and intracerebral human recordings. *Hum. Brain Mapp.* 2019. 40: 1403.
- Jonides J., Lacey S.C., Nee D.E. Processes of Working Memory in Mind and Brain. *Curr. Dir. Psychol. Sci.* 2005. 14: 2–5.
- Kardosh N., Waugh C.E., Mikels J.A., Mor N. Simultaneous maintenance of emotions in affective working memory. *Cogn. Emot.* 2024. 38(4): 624–634.
- Keha E., Naftalovich H., Shahaf A., Kalanthroff E. Control your emotions: evidence for a shared mechanism of cognitive and emotional control. *Cogn. Emot.* 2024. 0: 1–13.
- Kelly A.M.C., Uddin L.Q., Biswal B.B., Castellanos F.X., Milham M.P. Competition between functional brain networks mediates behavioral variability. *NeuroImage.* 2008. 39: 527–537.
- Kensinger E.A., Corkin S. Effect of Negative Emotional Content on Working Memory and Long-Term Memory. *Emotion.* 2003. 3: 378–393.
- Keshmiri S., Shiomi M., Ishiguro H. Emergence of the Affect from the Variation in the Whole-Brain Flow of Information. *Brain Sciences.* 2020. 10(1): 8.
- Kober H., Barrett L.F., Joseph J., Bliss-Moreau E., Lindquist K., Wager T.D. Functional grouping and cortical-subcortical interactions in emotion: A meta-analysis of neuroimaging studies. *NeuroImage.* 2008. 42: 998–1031.
- Kohn N., Eickhoff S.B., Scheller M., Laird A.R., Fox P.T., Habel U. Neural network of cognitive emotion regulation — An ALE meta-analysis and MACM analysis. *NeuroImage.* 2014. 87: 345–355.
- LeDoux J.E. Emotion circuits in the brain. *Annu Rev Neurosci.* 2000. 23: 155–84.
- LeDoux J.E. The Amygdala. *Current Biology.* 17(20): 868–874.
- LeDoux J.E., Brown R. A higher-order theory of emotional consciousness. *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.* 2017. 114: E2016–E2025.
- Lee T.-W., Xue S.-W. Does emotion regulation engage the same neural circuit as working memory? A meta-analytical comparison between cognitive reappraisal of negative emotion and 2-back working memory task. *PLoS One.* 2018. 13: e0203753.
- Lench H.C., Flores S.A., Bench S.W. Discrete emotions predict changes in cognition, judgment, experience, behavior, and physiology: a meta-analysis of experimental emotion elicitations. *Psychol. Bull.* 2011. 137: 834–855.
- Levens S.M., Phelps E.A. Insula and Orbital Frontal Cortex Activity Underlying Emotion Interference Resolution in Working Memory. *J. Cogn. Neurosci.* 2010. 22: 2790–2803.
- Li W., Mai X., Liu C. The default mode network and social understanding of others: What do brain connectivity studies tell us. *Frontiers in Human Neuroscience.* 2014. 8:74.
- Lindquist K.A., Satpute A.B., Wager T.D., Weber J., Barrett L.F. The Brain Basis of Positive and Negative Affect: Evidence from a Meta-Analysis of the Human Neuroimaging Literature. *Cereb. Cortex.* 2016. 26: 1910–1922.
- Lindquist K.A., Siegel E.H., Quigley K. S., Barrett L. F. The Hundred-Year Emotion War: Are Emotions Natural Kinds or Psychological Constructions? Comment on. *Psychol. Bull.* 2013. 139: 255–263.
- Lindquist K.A., Wager T.D., Bliss-Moreau E., Kober H., Barrett L. F. What are emotions and how are they created in the brain? *Behav. Brain Sci.* 2012. 35: 172–202.
- Lindquist K.A., Wager T.D., Kober H., Bliss-Moreau E., Barrett L. F. The brain basis of emotion: a meta-analytic review. *Behav. Brain Sci.* 2012. 35: 121–143.
- Liu X., Hairston J., Schrier M., Fan J. Common and distinct networks underlying reward valence and

- processing stages: a meta-analysis of functional neuroimaging studies. *Neurosci. Biobehav. Rev.* 2011. 35: 1219–1236.
- Llorens A., Funderud I., Blenkmann A.O., Lubell J., Faldal M., Leske S., Huster R., Meling T.R., Knight R.T., Solbakk A.K., Endestad T. Preservation of Interference Effects in Working Memory After Orbitofrontal Damage. *Front. Hum. Neurosci.* 2020. 13: 445.
- Lobo R., Bottenhorn K.L., Riedel M.C., Toma A.I., Hare M.M., Smith D.D., Moor A.C., Cowan I.K., Valdes J.A., Bartley J.E., Salo T., Boeving E.R., Pankey B., Sutherland M.T., Musser E.D., Laird A.R. Neural systems underlying RDoC social constructs: An activation likelihood estimation meta-analysis. *Neurosci Biobehav Rev.* 2023. 144:104971.
- Logie R., Camos V., Cowan N. (eds). *Working Memory: The state of the science.* Oxford Academic. 2020. <https://doi.org/10.1093/oso/9780198842286.001.0001>
- Longe O., Senior C., Rippon G. The lateral and ventromedial prefrontal cortex work as a dynamic integrated system: evidence from fMRI connectivity analysis. *J. Cogn. Neurosci.* 2009. 21: 141–154.
- Mancuso L., Cavuoti-Cabanillas S., Liloia D., Manuella J., Buzi G., Cauda F., Costa T. Tasks activating the default mode network map multiple functional systems. *Brain Struct. Funct.* 2022. 227: 1711–1734.
- Markett S., Wudarczyk O.A., Biswal B.B., Jawinski P., Montag C. Affective Network Neuroscience. *Front. Neurosci.* 2018. 12: 895.
- Martini N., Menicucci D., Sebastiani L., Bedini R., Pingitore A., Vanello N., Milanese M., Landini L., Gemignani A. The dynamics of EEG gamma responses to unpleasant visual stimuli: From local activity to functional connectivity. *NeuroImage.* 2012. 60(2): 922–932.
- Medford N., Critchley H.D. Conjoint activity of anterior insular and anterior cingulate cortex: awareness and response. *Brain Struct. Funct.* 2010. 214: 535–549.
- Menon V., D'Esposito M. The role of PFC networks in cognitive control and executive function. *Neuropsychopharmacology.* 2022. 47: 90–103.
- Menon V., Uddin L. Q. Saliency, switching, attention and control: a network model of insula function. *Brain Struct. Funct.* 2010. 214: 655–667.
- Meyer M.L., Taylor S.E., Lieberman M.D. Social working memory and its distinctive link to social cognitive ability: an fMRI study. *Soc. Cogn. Affect. Neurosci.* 2015. 10: 1338–1347.
- Mielke M., Reisch L.M., Mehlmann A., Schindler S., Bien C.G., Kissler J. Right medial temporal lobe structures particularly impact early stages of affective picture processing. *Hum. Brain Mapp.* 2021. 43: 787–798.
- Mikels J.A., Reuter-Lorenz P.A. Affective Working Memory: An Integrative Psychological Construct. *Perspect. Psychol. Sci.* 2019. 14: 543–559.
- Mikels J.A., Reuter-Lorenz P.A., Beyer J.A., Fredrickson B.L. Emotion and working memory: evidence for domain-specific processes for affective maintenance. *Emotion.* 2008. 8(2): 256–266.
- Mohammadi G., Van De Ville D., Vuilleumier P. Brain networks subserving functional core processes of emotions identified with componential modeling. *Cereb. Cortex.* 2023. 33: 7993–8010.
- Mohammed A.R., Lyusin D. The effect of an induced negative mood on the updating of affective information. *Cogn Process.* 2022. 23: 91–98.
- Molnar-Szakacs I., Uddin L.Q. Anterior insula as a gatekeeper of executive control. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews.* 2022. 139: 104736.
- Molnar-Szakacs I., Uddin L. Self-Processing and the Default Mode Network: Interactions with the Mirror Neuron System. *Front. Hum. Neurosci.* 2013. 7: 571.
- Morawetz C., Riedel M.C., Salo T., Berboth S., Eickhoff S.B., Laird A.R., Kohn N. Multiple large-scale neural networks underlying emotion regulation. *Neurosci. Biobehav. Rev.* 2020. 116: 382–395.
- Murphy A.C., Bertolero M.A., Papadopoulos L., Lydon-Staley D.M., Bassett D.S. Multimodal network dynamics underpinning working memory. *Nat. Commun.* 2020. 11: 3035.
- Murphy F.C., Nimmo-Smith I., Lawrence A.D. Functional neuroanatomy of emotions: a meta-analysis. *Cogn. Affect. Behav. Neurosci.* 2003. 3: 207–233.
- Nee D.E., D'Esposito M. The Representational Basis of Working Memory. *Curr. Top. Behav. Neurosci.* 2018. 37: 213–230.
- Nee D.E., Wager T.D., Jonides J. Interference resolution: Insights from a meta-analysis of neuroimaging tasks. *Cogn. Affect. Behav. Neurosci.* 2007. 7: 1–17.
- Neumann M.F., Viska C.G., van Huis S., Palermo R. Similar distraction, but differential suppression, for faces and non-face objects: Evidence from behaviour and event-related potentials. *Biol. Psychol.* 2018. 139: 39–46.
- Niedenthal P., Ric F. *Psychology of emotion : interpersonal, experiential, and cognitive approaches.* Second Edition. New York: Routledge, 2017.
- Okon-Singer H., Hendler T., Pessoa L., Shackman A.J. The neurobiology of emotion-cognition interactions: fundamental questions and strategies for future research. *Front. Hum. Neurosci.* 2015. 9: 58.
- Pacios J., Caperos J.M., Del Río D., Maestú F. Emotional distraction in working memory: Bayesian-based evidence of the equivalent effect of positive and neutral interference. *Cogn. Emot.* 2021. 35: 282–290.
- Padilla-Coreano N., Tye K. M., Zelikowsky M. Dynamic influences on the neural encoding of social valence. *Nat. Rev. Neurosci.* 2022. 23: 535–550.
- Panksepp J., Lane R.D., Solms M., Smith R. Reconciling cognitive and affective neuroscience perspectives on the brain basis of emotional experience. *Neurosci. Biobehav. Rev.* 2017. 76: 187–215.
- Pérez-Edgar K., Kujawa A., Nelson S.K., Cole C., Zapp D.J. The relation between electroencephalogram asymmetry and attention biases to threat at baseline and under stress. *Brain and Cognition.* 2013. 82(3): 337–343.
- Perlstein W.M., Elbert T., Stenger V.A. Dissociation in human prefrontal cortex of affective influences

- on working memory-related activity. *Proc. Natl. Acad. Sci.* 2002. 99: 1736–1741.
- Pessoa L.* A Network Model of the Emotional Brain. *Trends Cogn. Sci.* 2017. 21: 357–371.
- Pessoa L.* Emergent processes in cognitive-emotional interactions. *Dialogues Clin. Neurosci.* 2010. 12: 433–448.
- Pessoa L.* Neural dynamics of emotion and cognition: From trajectories to underlying neural geometry. *Neural Netw. Off. J. Int. Neural Netw. Soc.* 2019. 120: 158–166.
- Plutchik R.* Integration, Differentiation, and Derivatives of Emotion. *Evolution and Cognition.* 2001. 7(2): 114–125.
- Posner J., Russell J.A., Peterson B.S.* The circumplex model of affect: an integrative approach to affective neuroscience, cognitive development, and psychopathology. *Dev Psychopathol.* 2005. 17(3): 715–734.
- Postle B.R.* Working memory as an emergent property of the mind and brain. *Neuroscience.* 2006. 139: 23–38.
- Pourtois G., Schettino A., Vuilleumier P.* Brain mechanisms for emotional influences on perception and attention: what is magic and what is not. *Biol. Psychol.* 2013. 92: 492–512.
- Pruessner L., Barnow S., Holt D. V., Joormann J., Schulze K.* A cognitive control framework for understanding emotion regulation flexibility. *Emotion.* 2020. 20: 21–29.
- Reyna V.F., Brainerd C.J.* Dual Processes in Decision Making and Developmental Neuroscience: A Fuzzy-Trace Model. *Developmental review.* 2011. 31(2–3): 180–206. <https://doi.org/10.1016/j.dr.2011.07.004>
- Riggall A.C., Postle B.R.* The Relationship between Working Memory Storage and Elevated Activity as Measured with Functional Magnetic Resonance Imaging. *J. Neurosci.* 2012. 32: 12990–12998.
- Rolls E.T., Deco G., Huang C.-C., Feng J.* The human orbitofrontal cortex, vmPFC, and anterior cingulate cortex effective connectome: emotion, memory, and action. *Cereb. Cortex.* 2022. 33: 330–356.
- Rubin D.C., Talarico J.M.* A comparison of dimensional models of emotion: evidence from emotions, prototypical events, autobiographical memories, and words. *Memory.* 2009. 17(8): 802–8.
- Russell J.A., Barrett L.F.* Core affect, prototypical emotional episodes, and other things called *emotion*: Dissecting the elephant. *Journal of Personality and Social Psychology.* 1999. 76(5): 805–819.
- Saarimäki H., Ejtehadian L.F., Glerean E., Jääskeläinen I.P., Vuilleumier P., Sams M., Nummenmaa L.* Distributed affective space represents multiple emotion categories across the human brain. *Social Cognitive and Affective Neuroscience.* 2018. 13(5): 471–482.
- Satpute A.B., Kragel P.A., Barrett L.F., Wager T.D., Bianciardi M.* Deconstructing arousal into wakeful, autonomic and affective varieties. *Neurosci. Lett.* 2019. 693: 19–28.
- Scherer K.R.* The dynamic architecture of emotion: Evidence for the component process model. *Cogn. Emot.* 2009. 23: 1307–1351.
- Schimmelpfennig J., Topczewski J., Zajkowski W., Jankowiak-Siuda K.* The role of the salience network in cognitive and affective deficits. *Front. Hum. Neurosci.* 2023. 17: 1133367.
- Schneider D., Göddertz A., Haase H., Hickey C., Wascher E.* Hemispheric asymmetries in EEG alpha oscillations indicate active inhibition during attentional orienting within working memory. *Behavioural Brain Research.* 2019. 359: 38–46.
- Schreier M.L., Chmielewski W.X., Beste C.* How socioemotional setting modulates late-stage conflict resolution processes in the lateral prefrontal cortex. *Cognitive, Affective, & Behavioral Neuroscience.* 2018. 18(3): 521–535.
- Schweizer S., Satpute A.B., Atzil S., Field A.P., Hitchcock C., Black M., Barrett L.F., Dalgleish T.* The impact of affective information on working memory: A pair of meta-analytic reviews of behavioral and neuroimaging evidence. *Psychol. Bull.* 2019. 145: 566–609.
- Schweizer S., Gotlib I.H., Blakemore S.-J.* The role of affective control in emotion regulation during adolescence. *Emotion.* 2020. 20: 80–86.
- Schweizer S., Hampshire A., Dalgleish T.* Extending Brain-Training to the Affective Domain: Increasing Cognitive and Affective Executive Control through Emotional Working Memory Training. *PLOS ONE.* 2011. 6: e24372.
- Seeley W.W., Menon V., Schatzberg A.F., Keller J., Glover G.H., Kenna H., Reiss A.L., Greicius M.D.* Dissociable Intrinsic Connectivity Networks for Salience Processing and Executive Control. *J. Neurosci.* 2007. 27: 2349–2356.
- Seeley W.W.* The Salience Network: A Neural System for Perceiving and Responding to Homeostatic Demands. *J. Neurosci.* 2019. 39: 9878–9882.
- Sergerie K., Chochol C., Armony J.* The role of the amygdala in emotional processing: A quantitative meta-analysis of functional neuroimaging studies. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews.* 2008. 32: 811–830.
- Shackman A.J., Salomons T.V., Slagter H.A., Fox A.S., Winter J.J., Davidson R.J.* The integration of negative affect, pain and cognitive control in the cingulate cortex. *Nat. Rev. Neurosci.* 2011. 12: 154–167.
- Sias A.C., Jafar Y., Goodpaster C.M., Ramírez-Armenta K., Wrenn T.M., Griffin N.K., Patel K., Lamparelli A.C., Sharpe M.J., Wassum K.M.* Dopamine projections to the basolateral amygdala drive the encoding of identity-specific reward memories. *Nat Neurosci.* 2024. 27(4): 728–736.
- Smith E.E., Reznik S.J., Stewart J.L., Allen J.J.* Assessing and conceptualizing frontal EEG asymmetry: An updated primer on recording, processing, analyzing, and interpreting frontal alpha asymmetry. *Int J Psychophysiol.* 2017b. 111:98–114.
- Smith R., Lane R.D.* The neural basis of one’s own conscious and unconscious emotional states. *Neurosci. Biobehav. Rev.* 2015. 57: 1–29.
- Smith R., Lane R.D.* Unconscious emotion: A cognitive neuroscientific perspective. *Neurosci. Biobehav. Rev.* 2016. 69: 216–238.

- Smith R., Lane R.D., Alkozei A., Bao J., Smith C., Sanova A., Nettles M., Killgore W.D.S. Maintaining the feelings of others in working memory is associated with activation of the left anterior insula and left frontal-parietal control network. *Soc. Cogn. Affect. Neurosci.* 2017. 12: 848–860.
- Smith R., Lane R.D., Alkozei A., Bao J., Smith C., Sanova A., Nettles M., Killgore W.D.S. The role of medial prefrontal cortex in the working memory maintenance of one's own emotional responses. *Sci. Rep.* 2018a. 8: 3460.
- Smith R., Fass H., Lane R.D. Role of medial prefrontal cortex in representing one's own subjective emotional responses: a preliminary study. *Conscious. Cogn.* 2014. 29: 117–130.
- Smith R., Kaszniak A.W., Katsanis J., Lane R.D., Nielsen L. The importance of identifying underlying process abnormalities in alexithymia: Implications of the three-process model and a single case study illustration. *Conscious. Cogn.* 2019. 68: 33–46.
- Smith R., Killgore W.D.S., Lane R.D. The structure of emotional experience and its relation to trait emotional awareness: A theoretical review. *Emotion.* 2018b. 18: 670–692.
- Smith R., Steklis H.D., Steklis N.G., Weihs K.L., Lane R.D. The evolution and development of the uniquely human capacity for emotional awareness: A synthesis of comparative anatomical, cognitive, neurocomputational, and evolutionary psychological perspectives. *Biol. Psychol.* 2020. 154: 107925.
- Spreng R.N., Stevens W.D., Chamberlain J.P., Gilmore A.W., Schacter D.L. Default network activity, coupled with the frontoparietal control network, supports goal-directed cognition. *NeuroImage.* 2010. 53: 303–317.
- Styliadis C., Ioannides A.A., Bamidis P.D., Papadelis C. Mapping the Spatiotemporal Evolution of Emotional Processing: An MEG Study Across Arousal and Valence Dimensions. *Front Hum Neurosci.* 2018. 12: 322.
- Talalay I.V., Kurgansky A.V., Machinskaya R.I. Alpha-band functional connectivity during cued versus implicit modality-specific anticipatory attention: EEG-source coherence analysis. *Psychophysiology.* 2018. 55(12): e13269.
- Uddin L.Q., Yeo B.T.T., Spreng R.N. Towards a Universal Taxonomy of Macro-scale Functional Human Brain Networks. *Brain Topogr.* 2019. 32: 926–942.
- Underwood R., Tolmeijer E., Wibroe J., Peters E., Mason L. Networks underpinning emotion: A systematic review and synthesis of functional and effective connectivity. *NeuroImage.* 2021. 243: 118486.
- Van Dillen L.F., Hofmann W. Room for Feelings: A “Working Memory” Account of Affective Processing. *Emot. Rev.* 2023. 15: 145–157.
- Van Dillen L.F., Heslenfeld D.J., Koole S.L. Tuning down the emotional brain: An fMRI study of the effects of cognitive load on the processing of affective images. *NeuroImage.* 2009. 45: 1212–1219.
- Viviani R. Emotion regulation, attention to emotion, and the ventral attentional network. *Front. Hum. Neurosci.* 2013. 7: 746.
- Vossel S., Geng J.J., Fink G.R. Dorsal and ventral attention systems: distinct neural circuits but collaborative roles. *Neurosci. Rev. J. Bringing Neurobiol. Neurol. Psychiatry.* 2014. 20: 150–159.
- Wager T.D., Barrett L.F. From affect to control: Functional specialization of the insula in motivation and regulation. *bioRxiv* 102368. 2017. <https://doi.org/10.1101/102368>
- Wager T.D., Phan K.L., Liberzon I., Taylor S.F. Valence, gender, and lateralization of functional brain anatomy in emotion: a meta-analysis of findings from neuroimaging. *NeuroImage.* 2003. 19: 513–531.
- Wallis G., Stokes M., Cousijn H., Woolrich M., Nobre A.C. Frontoparietal and Cingulo-opercular Networks Play Dissociable Roles in Control of Working Memory. *J. Cogn. Neurosci.* 2015. 27: 2019–2034.
- Waugh C.E., Lemus M.G., Gotlib I.H. The role of the medial frontal cortex in the maintenance of emotional states. *Soc. Cogn. Affect. Neurosci.* 2014. 9: 2001–2009.
- Waugh C.E., Shing E.Z., Avery B.M. Temporal dynamics of emotional processing in the brain. *Emot. Rev.* 2015. 7: 323–329.
- Wilson T.D., Gilbert D.T. Affective Forecasting. *Advances in Experimental Social Psychology.* 2003. 35: 345–411.
- Wu T., Wang X., Wu Q., Spagna A., Yang J., Yuan C., Wu Y., Gao Z., Hof P.R., Fan J. Anterior insular cortex is a bottleneck of cognitive control. *NeuroImage.* 2019. 195: 490–504.
- Xin F., Lei X. Competition between frontoparietal control and default networks supports social working memory and empathy. *Soc. Cogn. Affect. Neurosci.* 2015. 10: 1144–1152.
- Zacharia A.A., Kaur S., Sharma R. Altered functional connectivity: A possible reason for reduced performance during visual cognition involving scene incongruence and negative affect. *IBRO Neuroscience Reports.* 2022. 13: 533–542.
- Zamani A., Carhart-Harris R., Christoff K. Prefrontal contributions to the stability and variability of thought and conscious experience. *Neuropsychopharmacology.* 2022. 47: 329–348.
- Zinchenko A., Kim H., Danek A., Müller H.J., Rangelov D. Local feature suppression effect in face and non-face stimuli. *Psychol. Res.* 2015. 79: 194–205.

## INTERACTION BETWEEN COGNITIVE AND AFFECTIVE DOMAINS OF THE WORKING MEMORY: COGNITIVE NEUROSCIENCE PERSPECTIVE

E. V. Kochetkova<sup>a, b, #</sup>, R. I. Machinskaya<sup>a, c</sup>

<sup>a</sup>*FSBSI «ICDHA», Institute of child development, Moscow, Russia*

<sup>b</sup>*Central Economics and Mathematics Institute of the Russian Academy of Sciences (CEMI), Moscow, Russia*

<sup>c</sup>*Russian Presidential Academy of National Economy and Public Administration (RANEPA), Moscow, Russia*

<sup>#</sup>*e-mail: k.v.kochetkova@gmail.com*

The review provides an analysis of modern cognitive psychological theories of emotions and neural basis of mechanisms standing behind retention of emotional information in working memory. The tendency seen in modern neurocognitive theories is characterized by the rejection of localization for any psychological functions in favor of network models, where higher-order processes are supported by distributed neural networks connecting functionally specific cortical and subcortical structure formations. Such networks are supposed to be able to reorganize themselves in accordance with goal-oriented behavior and task requirements. We analyze existing approaches to determine the cognition and emotion interactions, within which they can be considered both as competing systems and the components of a single mechanism of goal-oriented behavior, for example in case of affective working memory. We also provide a hypothesis for the potential neural basis of affective working memory based on large-scale distributed networks including saliency network, default mode network, and the frontoparietal network, considering the possibility of dynamic changes in the system and obtaining additional nodes, for example, associated with the processing of social information.

*Keywords:* emotion, affective working memory, saliency network, default mode network, frontoparietal network