

18+

Антон Смирнов

Справочник
по системной
нейробиологии
для начинающих



Антон Смирнов
Справочник по системной
нейробиологии
для начинающих

<https://litres.ru/74369692>

ISBN 9785007089876

Аннотация

НЕЗАКОННОЕ ПОТРЕБЛЕНИЕ НАРКОТИЧЕСКИХ СРЕДСТВ, ПСИХОТРОПНЫХ ВЕЩЕСТВ, ИХ АНАЛОГОВ ПРИЧИНЯЕТ ВРЕД ЗДОРОВЬЮ, ИХ НЕЗАКОННЫЙ ОБОРОТ ЗАПРЕЩЕН И ВЛЕЧЕТ УСТАНОВЛЕННУЮ ЗАКОНОДАТЕЛЬСТВОМ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ.

Это не учебник анатомии и не клиническое руководство. Это системный путеводитель по работающему мозгу, построенный по принципу «от макро-карты потоков — к молекулярным микросхемам». Четыре уровня погружения последовательно раскрывают, как сигнал от сетчатки превращается в осознанное действие, какие структуры за это отвечают, и какая нейрохимия стоит за каждым шагом. Справочник предназначен для студентов, которым нужно не запомнить набор ядер и медиаторов, а увидеть живую, динамическую систему.

Содержание

Введение	6
УРОВЕНЬ 1. ГЛОБАЛЬНЫЙ КОНТУР	8
Макро-карта и три сквозных потока	8
1. Четыре этажа мозга	9
2. Три сквозных потока	11
Поток 1. Восходящий (сенсорный и памятный)	11
Поток 2. Нисходящий (двигательный и волевой)	12
Поток 3. Энергетический и модуляторный (настройка всей системы)	14
3. Пример: как работают три потока вместе	16
4. Что дальше?	18
УРОВЕНЬ 2. ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ СТАНЦИИ	19
Часть 2.1. Восходящий поток: от рецепторов к восприятию	19
1. ТАЛАМУС (Thalamus)	19
2. ПЕРВИЧНАЯ СЕНСОРНАЯ КОРА (Соматосенсорная, Слуховая, Зрительная)	22
Часть 2.2. Восходящий поток: память, эмоции и оценка значимости	25
1. ГИППОКАМПОВА ФОРМАЦИЯ	25

(Hippocampal formation)	
2. МИНДАЛИНА (Amygdala)	28
3. БАЗАЛЬНЫЙ ПЕРЕДНИЙ МОЗГ (Basal forebrain)	30
Часть 2.3. Нисходящий поток: от воли к действию	33
1. МОТОРНАЯ И ПРЕМОТОРНАЯ КОРА (Первичная моторная кора, Премоторная кора, SMA)	33
2. БАЗАЛЬНЫЕ ГАНГЛИИ (Стриатум, Бледный шар, Субталамическое ядро, Чёрная субстанция)	36
Конец ознакомительного фрагмента.	38

Справочник по системной нейробиологии для начинающих

Антон Юрьевич Смирнов

Дизайнер обложки Галина Владимировна Робенау

© Антон Юрьевич Смирнов, 2026

© Галина Владимировна Робенау, дизайн обложки, 2026

ISBN 978-5-0070-8987-6

Создано в интеллектуальной издательской системе Ridero

Введение

Вы держите в руках (или открыли на экране) необычный справочник. Он не заменит учебник по анатомии ЦНС, не научит ставить клинический диагноз и не подготовит к экзамену по гистологии напрямую. Если вам нужно выучить топографию ядер по срезам — возьмите атлас. Если нужно понять, при чём тут дофамин и почему паркинсонический тремор исчезает во сне — вы по адресу.

Для кого этот справочник:

Для студентов медицинских, психологических и нейробиологических направлений, которые хотят перейти от заучивания к системному мышлению. Для тех, кто чувствует, что факты о мозге есть, а целостной картины нет.

Как читать (правильный маршрут):

Справочник построен по архитектуре **1 → 2 → 3 → Синтез (Мета-уровень 4)**.

Начните с Уровня 1 (глобальные потоки и этажи), чтобы увидеть карту. Затем Уровень 2 — функциональные станции и их связи. Затем Уровень 3 — микросхемы и нейрохимия. И обязательно обратите внимание на Мета-уровень 4: он научит вас перечитывать уже знакомые строчки новыми глазами — глазами системного нейробиолога.

Чем этот справочник не является:

Это не исчерпывающий анатомический каталог (мы не описываем каждое ядро и каждый тракт), не клиническое руководство по неврологии и не пособие по диагностике. Это — каркас. Поняв его, вы сможете нанизывать на него любые дополнительные знания без страха запутаться.

УРОВЕНЬ 1.

ГЛОБАЛЬНЫЙ КОНТУР

Макро-карта и три сквозных потока

О чём этот уровень

Представьте, что вы смотрите на мозг со спутника. Вы не видите отдельных нейронов, ядер и молекул — вы видите только крупные «материки» и оживлённые магистрали между ними. Задача этого уровня — понять общую карту и правила движения, чтобы в дальнейшем, погружаясь глубже (Уровни 2 и 3), вы всегда понимали, где находитесь и зачем нужна каждая деталь.

Главная мысль: Мозг — это не склад отдельных частей, каждая из которых делает что-то своё. Это динамическая система, где сигналы непрерывно движутся по трём сквозным потокам, а все отделы работают как единая сеть.

1. Четыре этажа мозга

Проще всего представить мозг как здание из четырёх этажей, построенных друг над другом в ходе эволюции. Нижние этажи — самые древние и отвечают за выживание. Верхние — самые молодые и отвечают за мышление, речь и самоконтроль.

Этаж 1. Ромбовидный мозг (задний мозг)

Что сюда входит: Продолговатый мозг, мост, мозжечок.

За что отвечает: Базовое жизнеобеспечение. Дыхание, сердцебиение, давление, глотание, равновесие, автоматическая координация движений. Здесь находятся «заводские настройки», без которых организм просто не будет жить. Мозжечок — это встроенный «автопилот», который шлифует движения до плавности.

Этаж 2. Средний мозг

Что сюда входит: Крыша среднего мозга (четверохолмие), покрывка, чёрная субстанция, вентральная область покрывки.

За что отвечает: Экстренное реагирование на зрительные и слуховые стимулы (поворот головы на резкий звук или движение), первичная обработка боли, запуск движений и система вознаграждения. Здесь находятся «кнопки» дофа-

миновой мотивации и ГАМК-тормоза для движений.

Этаж 3. Промежуточный мозг

Что сюда входит: Таламус, гипоталамус, эпиталамус (эпифиз), субталамус.

За что отвечает: Таламус — главные ворота для всей сенсорной информации, поступающей в сознание (кроме обоняния). Гипоталамус — верховный диспетчер внутренней среды: голод, жажда, температура, циклы сна, гормональная регуляция. Здесь же находятся внутренние биологические часы (супрахиазматическое ядро).

Этаж 4. Конечный мозг (большие полушария)

Что сюда входит: Кора больших полушарий, базальные ганглии, лимбическая система (гиппокамп, миндалина), обонятельные структуры.

За что отвечает: Осознанное восприятие, речь, память, эмоции, принятие решений, планирование, произвольные движения. Это самый большой и самый «человеческий» этаж. Здесь информация обретает смысл, здесь рождаются мысли и хранятся воспоминания.

Важное уточнение: Этажи не работают по отдельности. Они непрерывно обмениваются сигналами по трём сквозным потокам, которые пронизывают всё здание снизу доверху и обратно.

2. Три сквозных потока

Любой осмысленный акт — увидеть чашку и взять её, услышать вопрос и ответить, почувствовать голод и пойти к холодильнику — включает согласованную работу трёх потоков.

Поток 1. Восходящий (сенсорный и памятный)

Направление: от органов чувств и внутренних сенсоров → вверх, к осознанию и памяти.

Что он делает: доставляет в мозг информацию о внешнем мире и состоянии тела, фильтрует её, выделяет важное и записывает в память.

Маршрут в общих чертах:

— **Сенсорные рецепторы** (глаза, уши, кожа, нос, язык, внутренние органы) превращают физические стимулы в электрические сигналы.

— **Стволовые и спинномозговые ядра** (первичные переключатели) принимают эти сигналы и передают их выше.

— **Таламус** (ворота сознания) сортирует информацию и

решает, что достойно внимания коры прямо сейчас. Почти вся сенсорная информация проходит через таламус (кроме обоняния — запахи идут напрямую в лимбическую систему).

— **Первичная сенсорная кора** (затылочная, височная, теменная) разбирает сигналы на простые признаки: края, цвета, частоты звуков, прикосновения.

— **Ассоциативная кора** (задняя теменная, височная) собирает признаки в целостные образы и придаёт им смысл: «это чашка», «это голос друга».

— **Лимбическая система** (миндалины, гиппокамп) оценивает эмоциональную важность («опасно? приятно?») и записывает событие в память, связывая все детали — где, когда, с кем и что я при этом чувствовал.

Итог работы потока: из хаоса сенсорных сигналов рождается осознанное восприятие: «Я вижу чашку горячего чая на столе, и это приятно».

Поток 2. Нисходящий (двигательный и волевой)

Направление: от высших центров принятия решений → вниз, к мышцам.

Что он делает: превращает намерение в действие. Вы-

бирает, какое движение совершить, запускает его, шлифует по ходу исполнения и контролирует, чтобы оно было точным и уместным.

Маршрут в общих чертах:

— **Префронтальная кора** (лобная доля) принимает решение: «Я хочу взять эту чашку». Здесь формируется намерение и удерживается цель.

— **Базальные ганглии** (стриатум, бледный шар, чёрная субстанция) работают как фильтр: «Одобряю это движение, блокирую все остальные». Они снимают ГАМК-тормоз с нужной программы и оставляют под замком конкурирующие.

— **Моторная и премоторная кора** разрабатывают конкретный план: какие мышцы, в какой последовательности, с какой силой.

— **Мозжечок** получает копию плана и непрерывно сверяет его с тем, что реально происходит (обратная связь от мышц и органов чувств). Если есть ошибка, он мгновенно отправляет поправки обратно в моторную кору.

— **Стволовые и спинномозговые двигательные ядра** получают финальную команду и передают её мотонейронам, а те — мышцам.

— **Мышцы** сокращаются, и рука движется к чашке.

Итог работы потока: намерение превращается в плав-

ное, точное движение, которое постоянно корректируется в реальном времени.

Поток 3. Энергетический и модуляторный (настройка всей системы)

Направление: от ствола и гипоталамуса → диффузно, во все этажи мозга и тела.

Что он делает: управляет общим состоянием мозга и организма. Определяет, бодрствуем мы или спим, спокойны или встревожены, голодны или сыты, сосредоточены или рассеяны. Он не передаёт содержание информации, а настраивает «громкость» и «тембр» работы всех остальных систем.

Главные узлы и их роль:

— **Ретикулярная формация ствола:** включает и поддерживает бодрствование и сознание. Без неё кора «засыпает». Также управляет дыханием, давлением и базовыми рефлексам.

— **Моноаминовые и холинергические ядра ствола и базального переднего мозга:**

— *Голубое пятно (норадреналин):* Режим «сканирования угроз», бдительность, реакция на новизну.

— *Чёрная субстанция и VTA (дофамин):* Мотивация,

ожидание награды, «топливо» для движений и обучения.

— *Ядра шва (серотонин)*: Эмоциональный фон, терпение, самоконтроль, циклы сна.

— *Базальное ядро Мейнерта (ацетилхолин)*: Внимание, пластичность, способность учиться.

— **Гипоталамус**: Верховный регулятор внутренней среды (гомеостаз). Контролирует голод, жажду, температуру, водный баланс. Управляет гормональной системой через гипофиз. Задаёт циркадные ритмы (сон — бодрствование) через супрахиазматическое ядро. Запускает стресс-ответ через выброс кортизола.

Итог работы потока: Мозг находится в правильном режиме для текущей ситуации: бодрствует при опасности, успокаивается в безопасности, ищет пищу при голоде, фокусируется на важной задаче.

3. Пример: как работают три потока вместе

Представьте, что вы идёте по улице и видите, как на встречу бежит знакомая собака.

— **Восходящий поток:** свет, отражённый от собаки, попадает на сетчатку → сигнал идёт через таламус в зрительную кору, где распознаются контуры, цвет, движение → ассоциативная кора опознаёт объект как «собака» и «знакомая» → гиппокамп подгружает воспоминание: «Это Дружок, он дружелюбный» → миндалины ставят эмоциональную оценку: «Опасности нет, это приятно».

— **Энергетический поток:** норадреналин чуть повышает бдительность (новый стимул), дофамин создаёт предвкушение удовольствия от встречи, ацетилхолин обостряет внимание к собаке.

— **Нисходящий поток:** префронтальная кора принимает решение: «Хочу погладить собаку» → базальные ганглии одобряют программу и снимают тормоз с моторной коры → моторная кора составляет план: наклониться, вытянуть руку, раскрыть ладонь → мозжечок корректирует траекторию по ходу движения → сигнал уходит в спинной мозг и к мышцам → вы гладите собаку.

Всё это происходит за доли секунды, и вы не осознаёте от-

дельные этапы. Но теперь вы знаете, что за этим кажущимся простым действием стоит согласованная работа трёх потоков, охватывающая все четыре этажа мозга.

4. Что дальше?

Это был Уровень 1 — вид со спутника. Вы узнали, какие есть этажи и магистрали. Теперь, когда вы будете спускаться на Уровень 2 («Функциональные станции») и Уровень 3 («Микросхемы и нейрохимия»), вы всегда сможете мысленно вернуться к этой карте и понять, в каком именно потоке и на каком этапе работает та или иная структура.

Главное, что нужно запомнить с этого уровня:

— Мозг — это система потоков, а не склад деталей.

— Есть восходящий поток (восприятие и память), нисходящий поток (воля и движение) и энергетический поток (настройка режимов).

— Все четыре этажа мозга участвуют в каждом осмысленном действии.

При следующем чтении, после освоения Уровней 2 и 3, вы вернётесь к этой карте и увидите за каждой строчкой не просто слова, а конкретные нейронные цепи и химические сигналы. Именно это глубокое понимание и есть цель нашего справочника.

УРОВЕНЬ 2.

ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ СТАНЦИИ

Часть 2.1. Восходящий поток: от рецепторов к восприятию

Восходящий поток — это путь информации от органов чувств к осознанному восприятию. Сигнал движется снизу вверх: рецепторы → стволовые/спинальные ядра → **таламус** → **сенсорная кора**. Две главные станции, которые мы сейчас рассмотрим, — это таламус (ворота сознания) и первичная сенсорная кора (место, где сигнал становится ощущением).

1. ТАЛАМУС (Thalamus)

Глобальная роль в потоке:

Таламус — это «главные ворота» между внешним миром и корой больших полушарий. Почти вся сенсорная информация (зрение, слух, прикосновения, вкус) перед тем, как попасть в сознание, обязательно проходит через таламус. Он не просто пропускает сигналы, а фильтрует их: решает, что достойно внимания коры прямо сейчас, а что можно забло-

кировать.

Анкета «Что делает / Чего не делает»:

Что делает:

— Принимает сенсорные сигналы от органов чувств (кроме обоняния — запахи идут напрямую в лимбическую систему).

— Сортирует и фильтрует эти сигналы, усиливая важные и подавляя фоновые.

— Передаёт отфильтрованную информацию в соответствующие зоны коры для осознанного восприятия.

— Переключает режимы работы мозга: во время бодрствования — точная передача данных; во сне — блокировка внешних сигналов и генерация собственных ритмов.

Чего не делает:

— Не интерпретирует информацию, не придаёт ей смысл (это делает кора).

— Не принимает решений о движениях (это базальные ганглии и моторная кора).

— Не создаёт эмоции (это лимбическая система), хотя участвует в их регуляции.

Ключевые входы и выходы (коннектом):

— *Входы:* Сенсорные ядра ствола и спинного мозга передают в таламус сигналы через глутаматергические (возбуждающие) тракты: медиальная петля (прикосновения от те-

ла), тройничная петля (прикосновения от лица), зрительный тракт (от сетчатки), слуховой путь (от улитковых ядер). Кроме того, таламус получает управляющие сигналы от ретикулярной формации ствола (ацетилхолин, норадреналин) и от самой коры (обратная связь).

— *Выходы*: Таламокортикальные проекции (глутамат) направляются в строго определённые участки коры: VPL/VPM → соматосенсорная кора; LGB → зрительная кора; MGB → слуховая кора; VA/VL → моторная кора; MD → префронтальная кора. Отдельно — ретикулярное ядро таламуса (TRN) не отправляет сигналы в кору, а тормозит сам таламус, работая как «регулятор громкости».

Связь с Уровнем 3:

На микроуровне таламус — это не просто реле. Каждое его ядро состоит из глутаматергических нейронов, которые могут работать в двух режимах: *тоническом* (точная передача одиночных импульсов в бодрствовании) и *пачечном* (ритмические всплески во сне, создающие сонные веретёна). Переключение между режимами зависит от кальциевых каналов Т-типа и торможения от ГАМК-нейронов ретикулярного ядра. Именно эта микросхема объясняет, почему во сне мы не слышим и не видим внешний мир, даже если глаза открыты.

2. ПЕРВИЧНАЯ СЕНСОРНАЯ КОРА (Соматосенсорная, Слуховая, Зрительная)

Глобальная роль в потоке:

Первичная сенсорная кора — это пункт назначения для восходящего потока. Здесь сигнал впервые становится осознанным ощущением: прикосновение к коже превращается в чувство давления, звуковая волна — в тон определённой высоты, световой узор — в край или угол. Без первичной коры сенсорная информация остаётся бессознательной, как это бывает во сне под наркозом.

Анкета «Что делает / Чего не делает»:

Что делает:

— Принимает «сырую» информацию от таламуса и разбирает её на простейшие признаки: для зрения — линии под разными углами, цвета, движение; для слуха — частоты и громкость; для осязания — тип прикосновения и его место на теле.

— Создаёт точные топографические карты: зрительная кора — ретинотопическая карта (соседние точки сетчатки передаются на соседние участки V1); слуховая кора — тоно-топическая карта (низкие звуки — в одном месте, высокие — в другом); соматосенсорная кора — карта тела (гомунку-

лус Пенфилда).

— Передаёт разобранные признаки дальше — во вторичную и ассоциативную кору, где из них соберётся целостный образ.

Чего не делает:

— Не узнаёт объекты (это височная кора, зона V4, веретенообразная извилина).

— Не планирует действия в ответ на увиденное (это лобная кора).

— Не придаёт эмоциональную окраску ощущениям (это миндалины и орбитофронтальная кора).

Ключевые входы и выходы (коннектом):

— *Соматосенсорная кора (S1, поля 3, 1, 2):* Вход — VPL/VRM таламуса (глутамат). Выходы — вторичная соматосенсорная кора (S2), задняя теменная кора (поля 5, 7), моторная кора (для рефлекторной правки движений).

— *Слуховая кора (A1, поле 41, извилина Гешля):* Вход — вентральное MGB таламуса (глутамат). Выходы — вторичная слуховая кора (поле 42), зона Вернике (поле 22), лобная кора.

— *Зрительная кора (V1, поле 17):* Вход — LGN таламуса (глутамат). Выходы — V2, V4, V5/MT, откуда информация расходится по вентральному («что это?») и дорсальному («где это?») путям.

Связь с Уровнем 3:

На микроуровне вся первичная кора устроена по единому 6-слойному принципу. Главный входной слой — IV: именно сюда приходят аксоны из таламуса. Слои II/III передают обработанные признаки в другие зоны коры. Слой V посылает сигналы вниз, к подкорковым структурам. Тормозные ГАМК-интернейроны (особенно парвальбуминовые) формируют избирательность нейронов: например, нейрон V1, реагирующий на вертикальную линию, молчит при горизонтальной — это результат точного торможения от соседних колонок. Без этой микроархитектуры кора была бы просто шумящим усилителем, а не анализатором.

Часть 2.2. Восходящий поток: память, эмоции и оценка значимости

Информация от органов чувств прошла через таламус и первичную кору, где её разобрали на простые признаки. Теперь мозгу нужно понять: **важно ли это?** Стоит ли запоминать? Вызывает ли это страх, радость или желание?

Здесь в работу вступают три ключевые станции — **гиппокамп** (запись памяти), **миндалина** (эмоциональная оценка) и **базальный передний мозг** (включение записи и пластичности).

1. ГИППОКАМПОВА ФОРМАЦИЯ (Hippocampal formation)

Глобальная роль в потоке:

Гиппокамп — это «архивариус» мозга. Он не хранит воспоминания навсегда, но без него невозможно записать новый эпизод жизни. Он связывает разрозненные детали (запах, звук, место, время, эмоцию) в единое целое и временно удерживает эту связь, пока кора не усвоит её на постоянное хранение. Кроме того, гиппокамп — это внутренняя GPS-система, которая строит карту окружающего пространства.

Анкета «Что делает / Чего не делает»:

Что делает:

— Записывает новую эпизодическую память (события, которые произошли с вами лично, с привязкой к месту и времени).

— Связывает разрозненные сенсорные фрагменты (лицо, голос, запах кофе, место встречи) в одну целостную сцену.

— Отделяет похожие воспоминания друг от друга, чтобы они не перемешивались (pattern separation — разделение паттернов).

— По одной детали восстанавливает всю картину (pattern completion — завершение паттерна).

— Строит когнитивную карту пространства: где что находится, как пройти из точки А в точку Б.

Чего не делает:

— Не хранит воспоминания вечно — со временем они «переезжают» в кору (консолидация памяти).

— Не принимает эмоциональных решений (это миндалина), но фиксирует, какая эмоция сопровождала событие.

— Не управляет движениями и не планирует действия — только поставяет контекст для принятия решений.

Ключевые входы и выходы (коннектом):

— *Входы:* Гиппокамп получает уже обработанную сенсорную информацию от **энторинальной коры** (главные вход-

ные ворота гиппокампа). Энторинальная кора, в свою очередь, собирает сигналы от височной, теменной и лобной ассоциативной коры — то есть сводку о текущем моменте. Дополнительно гиппокамп получает модулирующие сигналы от **медиальной перегородки** (тета-ритм) и от миндалины (эмоциональная значимость).

— *Выходы:* Обработанная информация через **субикулум** (подставку гиппокампа) уходит обратно в энторинальную кору, а оттуда — в ассоциативную кору, миндалину, гипоталамус и прилежащее ядро. Также гиппокамп отправляет сигналы через **свод (fornix)** к мамиллярным телам гипоталамуса, которые замыкают круг Пейпеса (лимбическая петля памяти).

Связь с Уровнем 3:

На микроуровне гиппокамп — это цепочка из нескольких полей (зубчатая извилина → СА3 → СА1 → субикулум), каждое из которых работает на глутамате и имеет свою специализацию. Зубчатая извилина разделяет похожие воспоминания, СА3 восстанавливает целое по фрагменту, СА1 сравнивает ожидание с реальностью. Вся эта цепь способна к быстрой пластичности благодаря NMDA-рецепторам, а тета-ритм от медиальной перегородки синхронизирует её работу, открывая временные окна для записи информации.

2. МИНДАЛИНА (Amygdala)

Глобальная роль в потоке:

Миндалина — это «эмоциональная сигнализация» мозга. Она мгновенно оценивает входящую информацию по шкале «опасно — безопасно — важно — неважно» и запускает телесные реакции (сердцебиение, напряжение мышц, выброс гормонов стресса) ещё *до того*, как вы осознали, что происходит. Она же отвечает за запоминание эмоционально окрашенных событий: чем сильнее эмоция, тем ярче воспоминание.

Анкета «Что делает / Чего не делает»:

Что делает:

— Мгновенно (за миллисекунды) оценивает угрозу по грубым сенсорным признакам (резкий звук, быстрое приближение объекта, выражение страха на лице).

— Запускает каскад защитных реакций через гипоталамус и ствол мозга: учащение пульса, выброс адреналина и кортизола, замирание или бегство.

— Усиливает запоминание эмоционально значимых событий (страх, радость, отвращение), модулируя работу гиппокампа.

— Распознаёт базовые эмоции на лицах (страх, гнев, отвращение) и в голосе.

— Участвует в формировании условных рефлексов страха (научился бояться собаку после одного укуса).

Чего не делает:

— Не анализирует ситуацию логически (это префронтальная кора).

— Не хранит подробные воспоминания — только эмоциональную метку, которую «приклеивает» к гиппокампальной записи.

— Не управляет движениями напрямую, а только готовит тело к действию через вегетативные и гормональные пути.

Ключевые входы и выходы (коннектом):

— *Входы:* получает сенсорную информацию по двум путям: **быстрый «грубый» путь** — напрямую от сенсорных ядер таламуса (глутамат), позволяет реагировать *до* осознания; **медленный «точный» путь** — от сенсорной коры (глутамат), даёт детальную оценку. Также миндалина получает контекстную информацию от гиппокампа и тормозные сигналы от префронтальной коры (vmPFC), которая может «успокоить» миндалину после логической оценки.

— *Выходы:* центральное ядро миндалины отправляет глутаматергические сигналы в гипоталамус (запуск стресс-ответа), PAG (оборонительное поведение), ядра ствола (вегетативные реакции) и базальный передний мозг (активация коры). Базолатеральный комплекс проецируется в прилежащее ядро (мотивация) и префронтальную кору (эмоциональная

оценка контекста).

Связь с Уровнем 3:

На микроуровне миндалины состоит из нескольких ядер. Ключевой механизм условного страха — пластичность в латеральном ядре: многократное сочетание нейтрального стимула (звук) с болевым (удар током) усиливает глутаматергические синапсы через NMDA-рецепторы. После обучения один лишь звук вызывает страх. Торможение от префронтальной коры (через ГАМК-интернейроны миндалины) позволяет «угасить» этот страх, если опасность миновала.

3. БАЗАЛЬНЫЙ ПЕРЕДНИЙ МОЗГ (Basal forebrain)

Глобальная роль в потоке:

Базальный передний мозг — это «химическая батарейка» коры и гиппокампа. Он не обрабатывает содержание информации, но решает, насколько внимательно мозг будет её обрабатывать и насколько легко она запишется в память. Его нейроны выделяют *ацетилхолин* — вещество, которое переводит кору в режим высокой пластичности и фокусировки. Без него мы не можем удерживать внимание и формировать новые воспоминания.

Анкета «Что делает / Чего не делает»:

Что делает:

— Активирует кору больших полушарий, повышая её готовность к обработке информации (внимание и бодрствование).

— Включает режим пластичности: под действием ацетилхолина кора и гиппокамп легче меняют силу синапсов, что необходимо для обучения.

— Генерирует тета-ритм (4—8 Гц) в гиппокампе через медиальные ядра перегородки — этот ритм является «несущей частотой» для записи памяти.

— Участвует в переходе от сна к бодрствованию и в поддержании осознанного состояния.

Чего не делает:

— Не анализирует, что именно вы видите или слышите (это кора).

— Не записывает память самостоятельно, а только создаёт условия для записи.

— Не генерирует эмоции, но усиливает реакцию коры на эмоционально значимые стимулы.

Ключевые входы и выходы (коннектом):

— *Входы:* получает сигналы от ретикулярной формации ствола (глутамат, норадреналин, серотонин), от миндалины (эмоциональная значимость) и от гипоталамуса (гомеостатическое состояние — голод, жажда). Эти входы сообщают, стоит ли сейчас включать режим повышенного внимания.

— *Выходы:* базальное ядро Мейнерта отправляет холинергические волокна диффузно во всю кору (ацетилхолин). Медиальные ядра перегородки отправляют холинергические и ГАМК-ергические волокна в гиппокамп, генерируя тета-ритм и активируя запись памяти.

Связь с Уровнем 3:

На микроуровне нейроны базального ядра Мейнерта — это крупные холинергические клетки, чьи аксоны выделяют ацетилхолин объёмно, модулируя целые области коры. Ацетилхолин усиливает отношение «сигнал/шум» в коре, подавляя фоновую активность и выделяя значимые стимулы. В гиппокампе ГАМК-нейроны медиальной перегородки тормозят тормозные интернейроны, вызывая ритмическое растормаживание пирамид — тот самый тета-ритм, без которого невозможна долговременная потенция (LTP) и, следовательно, обучение. Дегенерация этих нейронов при болезни Альцгеймера лишает кору ацетилхолина и объясняет раннюю потерю памяти и внимания.

Часть 2.3. Нисходящий поток: от воли к действию

Нисходящий поток — это путь от мысли или желания к реальному движению. Вы решили взять чашку, встать со стула или произнести слово — и теперь мозг должен превратить это намерение в точную последовательность сокращений сотен мышц. В этом потоке работают три главные станции: **моторная и премоторная кора** (разработка и запуск плана), **базальные ганглии** (фильтр — одобрить или отклонить план) и **мозжечок** (шлифовка движений до плавности и точности).

1. МОТОРНАЯ И ПРЕМОТОРНАЯ КОРА (Первичная моторная кора, Премоторная кора, SMA)

Глобальная роль в потоке:

Моторная кора — это «исполнительный директор» движений. Она получает готовое решение от префронтальной коры (что делать) и превращает его в конкретную программу: какие мышцы, в каком порядке и с какой силой должны сократиться. Первичная моторная кора отдаёт финальную команду мышцам. Премоторная кора и дополнительная

моторная область (SMA) готовят программу — одну на основе внешних сигналов (поймать мяч), другую — на основе внутренней памяти (начать танец).

Анкета «Что делает / Чего не делает»:

Что делает:

— Превращает абстрактное намерение («взять чашку») в конкретный набор команд: вытянуть руку, раскрыть пальцы, сжать, поднести ко рту.

— Кодировывает направление, силу и скорость движений.

— Хранит и запускает выученные двигательные программы (езда на велосипеде, игра на инструменте, письмо).

— Получает обратную связь от мозжечка и базальных ганглиев для коррекции движений в реальном времени.

— Отправляет финальную команду через кортикоспинальный тракт прямо к мотонейронам спинного мозга (для точных движений пальцев) или через стволовые центры (для ходьбы, позы).

Чего не делает:

— Не принимает решение, *стоит ли* действовать (это префронтальная кора и базальные ганглии).

— Не оценивает эмоциональные последствия действия (это орбитофронтальная кора).

— Не обеспечивает плавность и координацию — это задача мозжечка.

Ключевые входы и выходы (коннектом):

— *Первичная моторная кора (M1, поле 4):*

— *Входы:* премоторная кора и SMA (план движения), соматосенсорная кора (обратная связь от кожи и мышц), таламус (VL — сигналы от мозжечка, VA — сигналы от базальных ганглиев).

— *Выходы:* кортикоспинальный тракт (глутамат) напрямую к мотонейронам спинного мозга и к стволовым двигательным ядрам. Это единственная зона коры, способная напрямую управлять движениями пальцев.

— *Премоторная кора и SMA (поле 6):*

— *Входы:* задняя теменная кора (зрительно-пространственная информация — «где мяч»), префронтальная кора (намерение).

— *Выходы:* в первичную моторную кору и в базальные ганглии для фильтрации и одобрения плана.

Связь с Уровнем 3:

На микроуровне первичная моторная кора — это агранулярная зона (почти без слоя IV, принимающего сенсорные входы), зато с колоссально развитым слоем V, содержащим гигантские клетки Беца. Их аксоны — самые быстрые и толстые в нервной системе, что позволяет передавать команды мышцам с минимальной задержкой. Популяционное кодирование: конкретное движение задаётся не одним нейроном, а суммарной активностью целой группы, что обеспечивает

плавность и устойчивость к помехам. Тормозные ГАМК-интернейроны не дают возбуждению расползаться на соседние мышечные группы.

2. БАЗАЛЬНЫЕ ГАНГЛИИ (Стриатум, Бледный шар, Субталамическое ядро, Чёрная субстанция)

Глобальная роль в потоке:

Базальные ганглии — это «фильтр решений». Префронтальная кора придумала действие, моторная кора готова его исполнить, но именно базальные ганглии решают: *одобрить* или *заблокировать*? Они тормозят все возможные движения, а затем избирательно снимают торможение только с того, которое нужно. Это предотвращает хаотичную активность и позволяет выбрать одно действие из множества конкурирующих вариантов.

Анкета «Что делает / Чего не делает»:

Что делает:

— В покое жёстко блокирует таламус, не позволяя моторным программам запускаться самопроизвольно (ГАМК-замок).

— По команде от коры выборочно «растормаживает» нужное движение, оставляя остальные заблокированными.

— Фильтрует не только движения, но и когнитивные про-

граммы (выбор стратегии, переключение внимания).

— Закрепляет выученные автоматизмы (привычки), переводя их из осознанных в автоматические.

— Запускает движение через дофаминовый сигнал: «Сделай это! Это принесёт пользу».

Чего не делает:

— Не придумывает движения — план приходит из коры.

— Не шлифует траекторию и не координирует мышцы — это мозжечок.

— Не отдаёт финальную команду мышцам — это моторная кора.

Ключевые входы и выходы (коннектом):

— *Входы (вся система):* мощный глутаматергический вход от **всей коры** (лобной, теменной, височной) приходит в **стриатум** (хвостатое ядро, путамен, прилежащее ядро). Дофаминовый вход от **компактной части чёрной субстанции (SNc)** модулирует баланс — это химический сигнал «ценности» и «ожидаемой награды».

— *Выходы:* **внутренний бледный шар (GPi)** и **ретикулярная часть чёрной субстанции (SNr)** посылают ГАМК-ергическое торможение на таламус (VA/VL, MD). Движение происходит, когда это торможение снимается (растормаживание).

Конец ознакомительного фрагмента.

Текст предоставлен ООО «Литрес».

Прочитайте эту книгу целиком, [купив полную легальную версию](#) на Литрес.

Безопасно оплатить книгу можно банковской картой Visa, MasterCard, Maestro, со счета мобильного телефона, с платежного терминала, в салоне МТС или Связной, через PayPal, WebMoney, Яндекс.Деньги, QIWI Кошелек, бонусными картами или другим удобным Вам способом.