

ЭВОЛЮЦИОННАЯ СТОХАСТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ДИНАМИКИ ПСИХОЭМОЦИОНАЛЬНЫХ СОСТОЯНИЙ ПРИ АФФЕКТИВНЫХ РАССТРОЙСТВАХ

Д.Д. Постнов

Экспериментальные исследования в области психиатрии показывают, что процесс смены психоэмоциональных состояний человека носит характер переключений между различными основными фазами (депрессия, норма, маниакальное состояние), параметры которого существенно различаются в норме и при аффективных расстройствах. К настоящему времени известны математические модели этого процесса, основанные на предположении о наличии собственной хаотической динамики. В данной работе предлагается альтернативный подход. Показано, что поведение модели, основанной на парадигме передемпфированного нелинейного осциллятора под воздействием внешнего шума, находится в хорошем соответствии с экспериментальными данными. Предложенная модель воспроизводит на качественном уровне как типичную реакцию на кратковременное одиночное воздействие, так и долговременный процесс развития биполярного аффективного расстройства.

Ключевые слова: Стохастическая модель, аффективные расстройства, психоэмоциональные состояния, парадигма передемпфированного нелинейного осциллятора.

Введение

Разработка математических моделей, воспроизводящих смену эмоциональных состояний в норме и при патологии остается экзотической областью приложения нелинейной динамики несмотря на то, что такие модели могут быть весьма востребованы нейрофизиологами и психиатрами. Особое место здесь занимают так называемые аффективные расстройства, при которых процесс смены эмоциональных состояний человека носит ярко выраженный переключательный характер. Среди существующих моделей в этой области можно выделить «модель биологических ритмов» и «модель возбуждения».

Модель биологических ритмов основана на данных 48-часового наблюдения циклов состояний у пациентов с биполярным расстройством и тенденции следования периодов возбуждения за периодами депрессии с некоторой периодичностью [1–4].

Высказывались предположения, что такая смена эмоциональных состояний является следствием некоторой ненормальности внутренних ритмов организма [2, 4–6].

Модель возбуждения (kindling model) основана на наблюдении увеличения частоты выраженных эпизодов болезни при развивающемся биполярном расстройстве. При развитой болезни такие эпизоды спонтанны, тогда как на начальной стадии они индуцированы стрессом [7, 8].

В то время как модель биологических ритмов основана на относительно кратковременных наблюдениях, модель возбуждения базируется на прослеживании многолетних данных о «сигнальных» событиях, таких как госпитализация или наиболее выраженные эпизоды болезни. Каждая из упомянутых моделей предлагает свою концептуальную основу для понимания эволюции биполярного аффективного расстройства. Однако ни одна из них не объясняет частую и нерегулярную смену эмоционального состояния пациентов, фиксируемую в ежедневных «отчетах настроения», полученных от амбулаторных больных. В работе [9] с помощью техники реконструкции динамических систем и анализа временных рядов был сделан вывод о наличии признаков хаотической динамики в смене настроения пациентов с развитым биполярным расстройством. Исходя из результатов [9], авторы работ [10–14] последовательно развивали подход математического моделирования этого процесса, основанный на предположении о наличии собственной хаотической динамики в процессе смены эмоциональных состояний.

Следует, однако, отметить, что современный уровень развития психиатрии и нейрофизиологии не позволяет однозначно указать причинно-следственные связи, ответственные за спонтанную смену эмоциональных состояний (хотя биохимические маркеры отдельных эмоций известны). Иными словами, с точки зрения моделирования, эмоциональная сфера человека представляет собой «черный ящик», генерирующий на выходе временную реализацию величины (эмоционального состояния), которая может быть измерена лишь приблизительно. В этих условиях для создания «настоящей» математической модели функционального или количественного уровня попросту нет необходимых данных. Остается лишь тем или иным способом подбирать модельные системы, поведение которых сходно с имеющимися экспериментальными данными. В рамках такого подхода в упомянутых выше работах [10–14] в качестве прототипа взята модель нейрона, ранее разработанная теми же авторами для других целей и «приспособленная» к данной задаче подбором подходящих значений параметров. Путем добавления положительной обратной связи удается воспроизвести и плавный переход от отдельных эпизодов к непрерывным изменениям состояния. Однако остается не ясным, насколько адекватен сделанный в [9] вывод о наличии хаотической динамики и, следовательно, насколько обоснованно использование в качестве базовой качественной модели уравнений нейроподобной системы со сложными нелинейностями.

В данной работе предложен альтернативный подход к описанию данных по смене динамики эмоциональных состояний. Модель, основанная на парадигме затухающего нелинейного осциллятора под воздействием внешнего шума, воспроизводит характерный вид экспериментальных временных реализаций, а также вид зависимости корреляционной размерности от размерности пространства вло-

жения, полученный в [9]. Помимо статистических характеристик процесса смены эмоциональных состояний, предложенная модель воспроизводит на качественном уровне как типичную реакцию психики на сильное кратковременное воздействие, так и долговременный процесс развития биполярного аффективного расстройства.

1. Модель

Описанная ниже модель основана на следующих предположениях.

- Существует некая норма, к которой стремится эмоциональное состояние в отсутствие каких-либо влияний.

- Внешние (окружающая среда) и внутренние (нервная деятельность) факторы постоянно воздействуют на текущее состояние, вызывая его сдвиг в сторону положительных либо отрицательных эмоций.

- В отсутствие патологии крайние (аффективные) состояния обладают конечным временем жизни, завершаясь возвратом к нормальному состоянию.

На языке физики перечисленным выше предположениям хорошо соответствует модель некоей частицы, представляющей текущее эмоциональное состояние, которая движется в рельефе, описываемом потенциальной функцией $E(x)$

$$\frac{dx}{dt} = -\frac{\partial E}{\partial x} + \eta(t), \quad (1)$$

где $\eta(t)$ описывает суммарное (внешнее и внутреннее) эмоциональное воздействие, носящее шумоподобный характер. Подобного рода модели в виде бистабильного передемпфированного осциллятора под воздействием шума часто рассматривались применительно к исследованию эффекта стохастического резонанса [15, 16]. В данном случае потенциальная функция $E(x)$ имеет более сложный вид, она представлена в виде произведения трех функций

$$E(x) = U_n(x)U_+(x)U_-(x), \quad (2)$$

где $U_n(x)$ определяет вид $E(x)$ в области нормы ($|x| < 1$), а $U_+(x)$ и $U_-(x)$ отвечают за вид $E(x)$ вблизи значений $x \approx +1$ и $x \approx -1$, соответствующих позитивному и негативному эмоциональным состояниям.

Для упомянутых трех функций использовано следующее модельное представление:

$$U_n(x) = ax^2 + b, \quad (3)$$

$$U_- = 1 - y_- e^{-5(1.01 - y_-^2)(x+d)^2}, \quad (4)$$

$$U_+ = 1 - y_+ e^{-5(1.01 - y_+^2)(x-d)^2}. \quad (5)$$

Здесь a и b определяют форму $U_n(x)$; y_- и y_+ задают рельеф боковых областей, представляющих аффективные состояния (посредством U_- и U_+ , соответственно); d устанавливает положение этих областей относительно центральной.

На рис. 1 приведены графики $E(x)$ для различных значений $y = y_+ = y_-$. Как можно видеть, при $y = 0.5$ потенциальная функция имеет две полочки при $x \approx +1$ и $x \approx -1$. Очевидно, частица при выбросе в эти области проведет в них некоторое время, так как скорость релаксации к центральному состоянию мала, но затем вернется в центр. Такая динамика модели соотносится с нормальной реакцией эмоционального состояния человека на сильные кратковременные воздействия, приводящие к временному эмоциональному подъему или спаду.

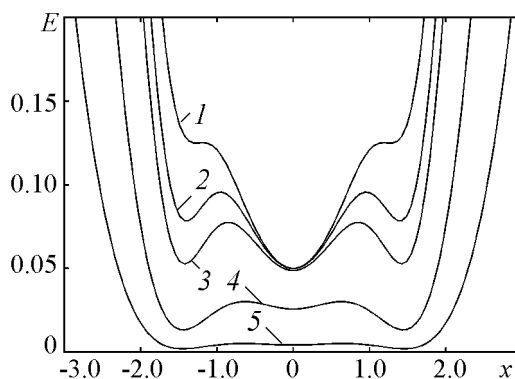


Рис. 1. Графики потенциальной функции $E(x)$ при различных значениях $y = y_+ = y_-$. Значения y для кривых 1, ... 5 равны 0.5, 0.7, 0.8, 0.95 и 0.99, соответственно

В клинической практике одним из характерных симптомов развития аффективного расстройства считается самоподдерживающееся состояние (например, депрессивное) в ответ на разовый эмоциональный «толчок». В рамках модели это означает наличие локального минимума потенциальной функции $E(x)$ в области $x \approx +1$ и/или $x \approx -1$. Как можно видеть из рис. 1, это условие выполняется при $y \geq 0.5$. Другой характерной особенностью аффективных расстройств является их выраженная эволюция с течением времени: на начальном этапе болезни частота и длительность эпизодов аффективных состояний возрастают, а при развитом аффективном расстройстве психика больного практически не возвращается к норме, постоянно переключаясь между аффективными состояниями. На языке модельного описания такому изменению эмоциональной сферы должна соответствовать эволюция вида потенциальной функции $E(x)$, управляемая предысторией изменения самого состояния $x(t)$. С этой целью в модель добавлены уравнения, задающие медленное изменение величин y_+ и y_- в зависимости от временной реализации x

$$\frac{dy_i}{dt} = \alpha_i \Theta(x)(1.2 - y_i) - \beta_i y_i, \quad i = +, -, \quad (6)$$

$$\Theta(x) = \frac{1}{2}(1 + \tanh(10|x| - 1)). \quad (7)$$

В этих уравнениях рост или спад y_+ и y_- управляется величиной $\Theta(x)$, которая принимает значения, близкие к единице, когда x достигает значений, соответствующих аффективным состояниям $x \approx +1$ или $x \approx -1$. Параметры α_i и β_i задают значения скорости роста и спада y_+ и y_- . Поскольку при биполярном аффективном расстройстве (в отличие от, например, клинической депрессии) позитивное и негативное аффективные состояния примерно равновероятны, в дальнейшем положим $\alpha_- = \alpha_+ = \alpha$ и $\beta_- = \beta_+ = \beta$. Соотношение α и β устанавливает баланс роста и релаксации y_+ и y_- в ответ на изменение x и, таким образом, моделирует степень устойчивости эмоциональной сферы. При росте значения β или уменьшении α устойчивость возрастает, а эволюция формы потенциальной функции $E(x)$ в ответ на воздействующие факторы в виде $\eta(t)$ замедляется.

Внутреннее и внешнее воздействие на эмоциональную сферу представлено шумовой добавкой $\eta(t)$. Детальное обоснование требуемых характеристик $\eta(t)$ представляет собой отдельную задачу, которая выходит за рамки данной работы. Ниже использовано упрощенное представление, основанное на следующих соображениях.

- Процесс должен обладать конечным временем корреляции, так как требуется некоторое время для, например, распознавания внешнего воздействия.

- Помимо случайной составляющей имеют место ритмические компоненты. Например, известны сезонные обострения у больных, эмоциональный фон у многих еженедельно выше перед выходными и ниже в понедельник, утренние часы у одних людей – самые продуктивные, а у других – наоборот, и т.д.

В соответствии с вышесказанным, для $\eta(t)$ была использована модель цветного шума (процесс Орнштейна–Уленбека) [17] с добавленными периодическими функциями

$$\varepsilon \frac{d\eta}{dt} = D\xi(t) - \eta + \sum_j A_j \sin\left(\frac{2\pi}{T_j}t\right), \quad j = s, w, d. \quad (8)$$

Здесь ε определяет время корреляции, а D – задает интенсивность шума. Вклад ритмических составляющих представлен суммой синусоидальных функций с различными периодами T_j и амплитудами A_j , индексы s, w и d обозначают сезонный, недельный и дневной ритмы, соответственно.

Типичный набор значений управляющих параметров модели (1)–(8) для описанных ниже результатов вычислительного эксперимента следующий: $a = 0.1$; $b = 0.05$; $d = 1.5$; $\alpha_i = 0.0005$; $\beta_i = 0.00005$; $T_d = 14.4$; $T_w = 70.8$; $T_s = 5256.0$; $\varepsilon = 0.01$; $D = 17$.

2. Результаты

2.1. Сопоставление с экспериментальными данными. Подбор вида модели (1)–(8) изначально осуществлялся с оглядкой на известные экспериментальные результаты. Однако само по себе это не гарантирует, что конкретный вид временной реализации, а тем более – ее статистические характеристики будут соответствовать экспериментальным данным. На рис. 2 результаты вычислительного эксперимента сопоставляются с фрагментами экспериментально записанных временных реализаций, вид которых характерен для больных биполярным аффективным расстройством (справа вверху) и группы контроля (справа внизу). В левой колонке приведены временные реализации переменной x модели (1)–(8), полученные при фиксированных значениях $y = 0.99$ (вверху) и $y = 0.5$ (внизу). Как можно видеть, поведение модели действительно воспроизводит характерный вид временной реализации. По этому рисунку можно также оценить соответствие между безразмерным временем модели и реальным временем. Такая оценка дает: $\Delta t = 1.0 \sim 1$ час, при этом эквивалентная длительность приведенных на рис. 2 слева временных реализаций составляет примерно год и два месяца.

В работе [9] центральный вывод о наличии признаков детерминированного хаоса в динамике эмоционального состояния больных сделан на основании оценки

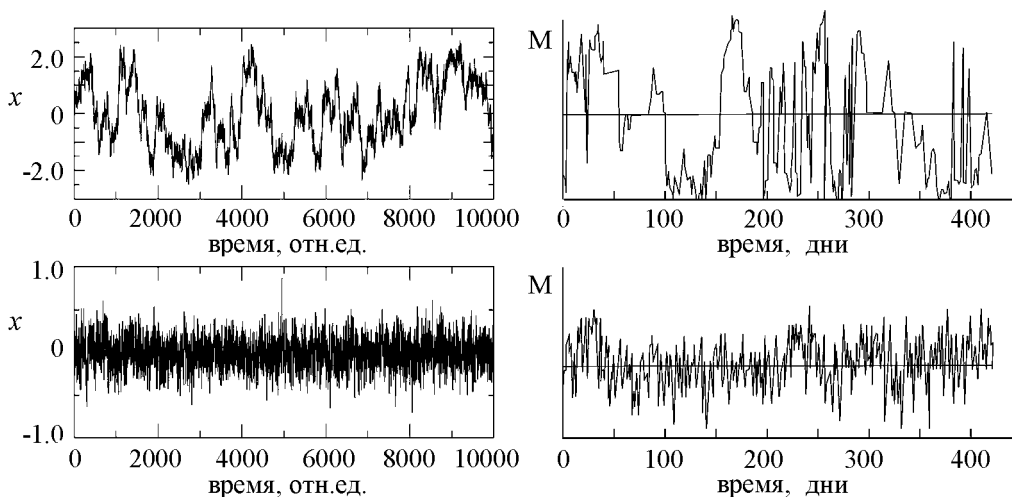


Рис. 2. Сопоставление поведения модели (1)–(8) (левая колонка) и экспериментальных данных по динамике эмоциональных состояний у больных биполярным аффективным расстройством (верхний правый график) и здоровых (нижний правый график). Графики экспериментальных данных – зависимость состояния M (mood) от времени в днях – построены на основе результатов А.Gottchalk [9]

размерности пространства вложения реконструированного хаотического аттрактора [16, 18]. Реконструкция производилась методом, основанным на теореме Такенса, путем выборки N точек, разделенных заданным временным интервалом. Далее рассчитывалась корреляционная размерность $D_{\text{корр}}$ реконструированного участка траектории в фазовом пространстве размерности N . Наконец, строился график зависимости $D_{\text{корр}}$ от N , по которому делался вывод о наличии или отсутствии детерминированной составляющей, соответствующей конечномерному аттрактору.

Вышеописанная процедура была повторена применительно к временным реализациям нашей модели. Полученные результаты приведены на рис. 3, где также воспроизведен вид кривых из [9] для сопоставления. Как можно видеть, имеет место не только качественное, но и неплохое количественное совпадение результатов. А именно, нижняя пунктирная кривая, описывающая результаты [9] для больных с биполярным аффективным расстройством, и кривая 1 демонстрируют насыщение на уровне $D_{\text{корр}} \approx 4$, в то время как пунктирная кривая, соответствующая группе контроля, и кривая 2 проходят значительно выше, не достигая насыщения.

Формально наличие участка насыщения свидетельствует о присутствии конечномерной динамики, то есть о детерминированном характере системы, породившей анализируемую временную реализацию. Однако, как можно видеть, нелинейный пе-

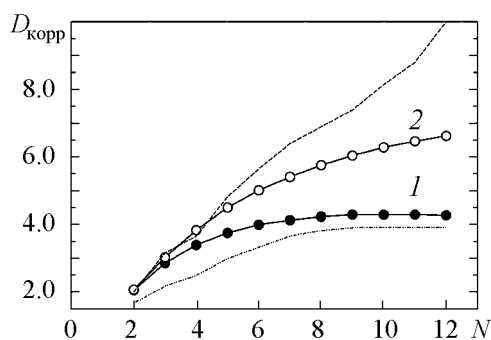


Рис. 3. Зависимость оценки корреляционной размерности $D_{\text{корр}}$ от размерности пространства вложения N для временной реализации модели. Кривые 1 и 2 получены при $y = 0.99$ и $y = 0.5$, соответственно. Пунктиром для сравнения даны результаты из [9]

редемпфированный осциллятор под воздействием шума дает тот же результат, не имея автоколебательных свойств! Таким образом, гипотеза о хаотическом характере смены состояний при биполярном аффективном расстройстве, высказанная в [9] и использованная как основа для моделирования в [10–14], не имеет под собой достаточных оснований.

В рамках данной работы главный вывод из описанных выше результатов заключается в том, что предложенная модель (1)–(8) успешно воспроизводит доступные экспериментальные данные и потому, как минимум, имеет право на существование.

2.2. Реакция на кратковременный стимул. На рис. 4 приведены два набора временных реализаций, соответствующих разным начальным значениям $y = 0.48$ (*б*) и $y = 0.5$ (*в*). На рис. 4, *а* приведен типичный вид временной реализации шумового воздействия $\eta(t)$. В момент времени $t = 300$, отмеченный на рисунке стрелкой, к $\eta(t)$ добавлялся короткий импульс отрицательной полярности, достаточно сильный для того, чтобы перебросить x в отрицательную область $x \approx -1.5$. Как можно видеть из рис. 4, *б*, в случае $y = 0.48$ все временные реализации x возвращаются в область $x \approx 0$ через примерно одинаковое время, около 30 безразмерных единиц. В случае же $y = 0.5$ (рис. 4, *в*) время пребывания x в отрицательной области существенно больше и характеризуется значительным разбросом.

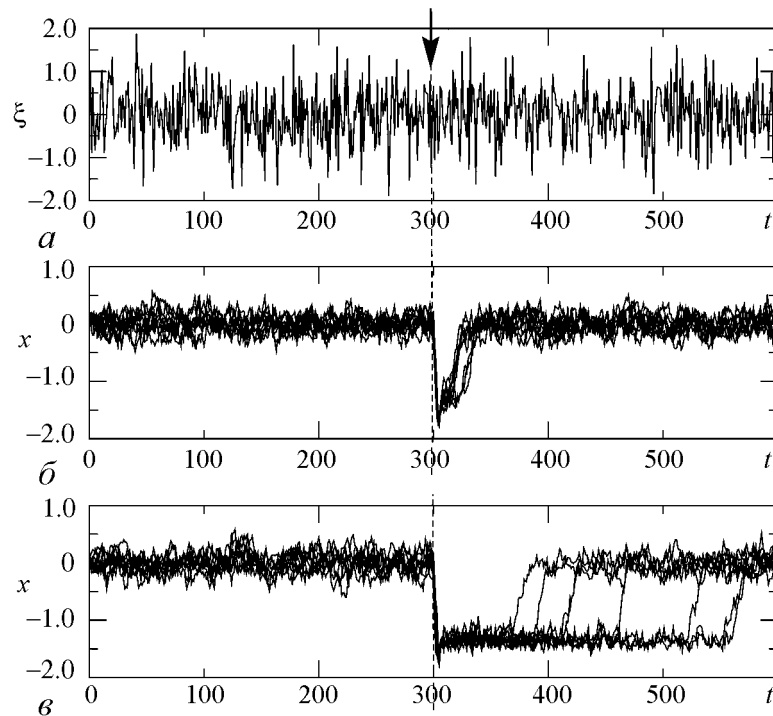


Рис. 4. Реакция модельной системы на короткий импульс внешнего воздействия (момент воздействия указан стрелкой): *а* – пример временной реализации воздействующего шума; *б* и *в* – наложенные графики для 8 откликов системы при $y = 0.48$ и $y = 0.5$, соответственно

Причина наблюдаемых различий следующая: при $y = 0.48$ полочки потенциальной функции $E(x)$ положительной и отрицательной области выражены слабо, и траектория успевает вернуться в центральную часть потенциала прежде, чем значение y начнет меняться вследствие положительной обратной связи, «запускающей» эволюцию потенциала. В случае $y = 0.5$ наличие горизонтального участка в $x \approx -1.5$ (кривая 1 на рис. 1) делает время пребывания x в этой области зависимым, прежде всего, от конкретной реализации шума. При этом, чем больше времени проводит x в этой области, тем глубже становится потенциальная яма вследствие роста y . Скорость эволюции потенциала мала, и шум успевает вытолкнуть траекторию обратно в область нормы до того, как потенциальная яма существенно углубится, однако этого достаточно для того, чтобы обеспечить значительный разброс времен пребывания, наблюдаемый на рис. 4, в.

Применительно к динамике эмоциональных состояний, описанное выше поведение модели воспроизводит различные типы реакции на негативно окрашенные события. Как уже упоминалось выше, одним из самых ранних симптомов развития биполярного аффективного расстройства является «залипание» эмоционального состояния в отрицательной области в результате некоего негативно окрашенного события, в то время как здоровый человек восстанавливает нормальный эмоциональный фон относительно быстро.

2.3. Индуцированная шумом эволюция потенциала. В данном разделе иллюстрируется поведение модели на больших временах, когда медленная эволюция потенциальной функции $E(x)$ является определяющим фактором. На рис. 5, а и б

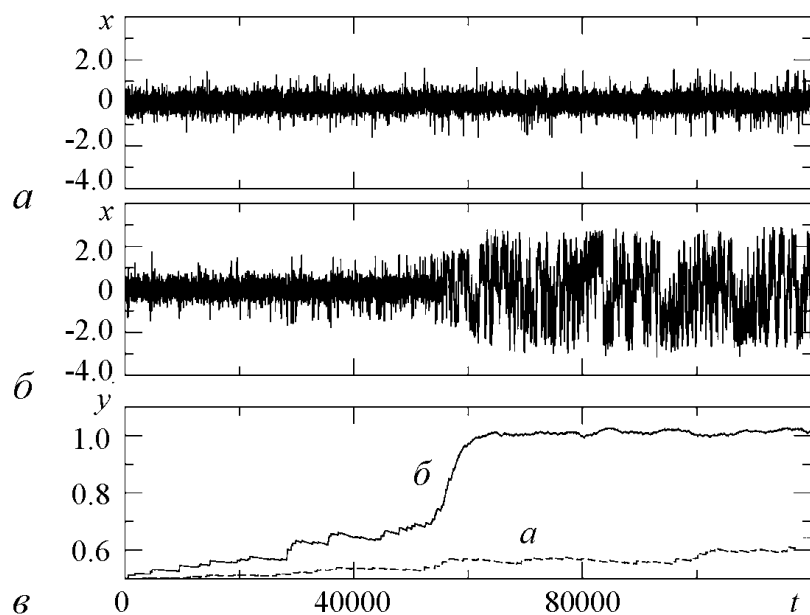


Рис. 5. Два примера поведения модельной системы на больших временах при одних и тех же значениях параметров для двух различных временных реализаций шума: а – значимой эволюции потенциальной функции E не произошло; б – система эволюционировала, на больших временах E имеет два минимума. На панели в показаны соответствующие графики переменной y

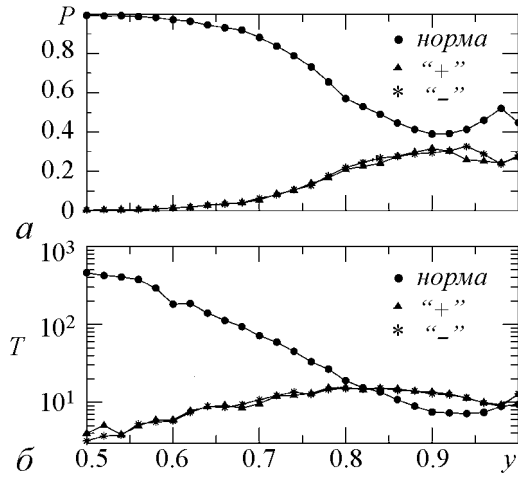


Рис. 6. Статистические характеристики процесса переключений в системе при различных значениях y : графики вероятности нахождения (а) и среднего времени пребывания (\bar{t}) в каждом из трех основных состояний (обозначены как «норма», «+» и «-»)

приведены две типичные временные реализации переменной x модели при одних и тех же значениях управляющих параметров, включая интенсивность шума D . Как можно видеть, в случае (а) качественных изменений в динамике не происходит: переменная x принимает значения в интервале $[-1; +1]$ с редкими и короткими выбросами в области более положительных и более отрицательных значений. Процесс в целом выглядит стационарным. Картина на рис. 5, б существенно иная. На временах $t \approx 6000$ график для x принимает вид, характерный для бистабильной системы, а в области $t \approx 9000$ становится еще более нерегулярным.

Два варианта поведения модели по типу рис. 5, а или рис. 5, б сменяют друг друга случайным образом при повторении вычислительного эксперимента, реализуясь в зависимости от конкретных значений временного ряда шумового сигнала. Строго говоря, варьируется лишь длительность переходного периода до начала эволюции модели в режим бистабильности. Однако, с учетом принципиальной конечности во времени моделируемого процесса (ограниченная продолжительность жизни), можно говорить о двух вариантах исхода: патологическое (бистабильное) состояние либо возникнет, либо не возникнет в течение фиксированного промежутка времени. С учетом приведенной выше оценки масштаба безразмерного времени модели, рисунку 5 соответствует временной интервал чуть менее 14 лет.

Рис. 6 позволяет понять, как меняется динамика модели при росте y в терминах динамики трех состояний. На верхней панели рисунка приведены графики вероятности нахождения в состояниях «+», «-» или «норма», а на нижней панели – график для среднего времени пребывания T в каждом из состояний. Как можно видеть, при малых y время пребывания в состоянии нормы более чем на порядок превышает T_- и T_+ , которые, однако, остаются конечными и при $y = 0$ имеют значение ≈ 3.0 . В то же время, вероятность пребывания в этих состояниях при $y = 0$ стремится к нулю.

По мере роста y как среднее время пребывания, так и вероятность нахождения в состоянии нормы снижаются. При $y \approx 0.83$ среднее время пребывания во всех трех состояниях становится равным $T \approx 16$, в то время как вероятности пребывания в этих состояниях находятся в соотношении $P_n = 2P_- = 2P_+ = 0.5$. Данный режим соответствует ситуации, когда глубина всех трех минимумов потенциала одинакова, в чем можно убедиться, обратившись к рис. 1. При $y = 0.9$ вероятность нахождения в центральной области принимает минимальное значение, а при больших y – вновь несколько растет. Это можно объяснить тем, что высота потенциальных

барьеров при таких значениях y существенно снижается, что эквивалентно увеличению интенсивности шума. Именно поэтому при $y \rightarrow 1$ времена пребывания во всех трех состояниях сравниваются, а вероятности вновь приходят к соотношению $P_n = 2P_- = 2P_+$.

Заключение

В рамках данной работы предложена модель динамики психоэмоциональных состояний, основанная на несколько иных исходных предположениях, чем в известных автору публикациях по данной тематике. А именно, вместо автоколебательной системы со сложной внутренней динамикой, за основу была взята модель передемпфированного нелинейного осциллятора, потенциал которого способен видоизменяться в зависимости от предшествующих значений фазовой переменной, на качественном уровне описывающей психоэмоциональное состояние. Это состояние, в свою очередь, меняется под воздействием внешнего шумоподобного сигнала, представляющего суммарное воздействие как внешних (природных и социальных), так и внутренних (психическая активность) факторов. При всей своей упрощенности, наша модель оказалась способна воспроизвести наиболее важные характеристики экспериментальных данных, а именно, различия в размерности вложения реконструированного аттрактора для случаев нормы и патологии. Наблюдаемое в вычислительном эксперименте поведение модели качественно соответствует представлениям о реакции психоэмоциональной сферы человека на кратковременное воздействие значительной силы. На больших интервалах времени с определенной степенью вероятности наблюдается процесс эволюции потенциала, который, особенно на начальном этапе, обладает признаками положительной обратной связи: пребывание в аффективных состояниях увеличивает вероятность их появления в дальнейшем. Этот факт также хорошо согласуется с клиническими данными.

Предложенная модель представляется полезным инструментом, позволяющим путем простых предположений о форме и характере эволюции потенциальной функции воспроизводить различные клинически значимые ситуации и, тем самым, способствовать лучшему пониманию динамических аспектов аффективных расстройств. Исследование воздействия на динамику такой системы ритмических составляющих в составе шумового сигнала интересно и в физическом плане и представляет собой интересную задачу на будущее.

Автор выражает благодарность профессору Н. Braun (Marburg, Germany) за полезные обсуждения в ходе работы и проявленный к ней интерес, а также профессору Д.Э. Постнову (Саратовский госуниверситет) за ценные предложения и помощь в работе над рукописью.

Библиографический список

1. Jenner F.A., Gjessing L.R., Cox J.R., Davies-Jones A., Hullin R., Hanna S. A manic depressive psychotic with a persistent forty-eight hour cycle // Br. J. Psychiatry. 1967. Vol. 113. P. 895.
2. Wehr T.A., Goodwin F.K. Rapid cycling in manic depressives included by tricyclic antidepressants // Arch. Gen. Psychiatry. 1979. Vol. 36. P. 555.

3. *Kukopulus A., Reginaldi D., Laddomada P., Floris G., Serra G., Tondo L.* Course of the manic-depressive cycle and changes caused by treatment // *Pharmacopsychiatry*. 1980. Vol. 13. P. 156.
4. *Wehr T.A., Goodwin F.K., Wirz-Justice A., Breitmaier J., Craig C.* 48-hour sleep-wake cycles in manic-depressive illness: naturalistic observations and sleep deprivation experiments // *Arch. Gen. Psychiatry*. 1982. Vol. 39. P. 559.
5. *Wehr T.A., Sack D., Rosenthal N., Duncan W., Gillin J.C.* Circadian rhythm disturbances in manic-depressive illness // *Fed. Proc.* 1983. Vol. 42. P. 2809.
6. *Lewy A.J., Wehr T.A., Goodwin F.K., Newsome D.A., Rosenthal N.E.* Manic depressive patients may be supersensitive to light // *Lancet*, 1981, i: 383–384.
7. *Post R.M., Rubinow D.R., Ballenger J.C.* Conditioning, sensitization, and the longitudinal course of affective illness // *Br. J. Psychiatry*. 1986. Vol. 149. P. 191.
8. *Post R.M., Rubinow D.R., Ballenger J.C.* Conditioning, sensitization, and kindling: implications for the course of affective illness // *Neurobiology of Mood Disorders*, Baltimore, Md: Williams and Wilkins. 1985. P. 432.
9. *Gottchalk A., Bauer M.S., Whybrow P.C.* Evidence of chaotic mood variation in bipolar disorder // *Arch. Gen. Psychiatry*. 1995. Vol. 52. P. 947.
10. *Huber M.T., Braun H.A., and Krieg J.C.* Consequences of deterministic and random dynamics for the course of affective disorders // *Biol. Psychiatry*. 1999. Vol. 46. P. 256.
11. *Huber M.T., Braun H.A., and Krieg J.C.* Effects of noise on Different Disease States of Recurrent Affective Disorders // *Biol. Psychiatry*. 2000. Vol. 47. P. 634.
12. *Huber M.T., Braun H.A., and Krieg J.C.* On the impact of episode sensitization on the course of recurrent affective disorders // *Journal of Psychiatric Research*. 2001. Vol. 35. P. 49.
13. *Huber M.T., Braun H.A., Voigt K., and Krieg J.C.* Some computational aspects of the kindling model for neuropsychiatric disorders // *Neurocomputing*. 2001. Vol. 38. P. 1297.
14. *Huber M.T., Braun H.A., and Krieg J.C.* On episode sensitization in recurrent affective disorders: the role of noise // *Neuropsychopharmacology*. 2003. Vol. 28. S.13.
15. *Анищенко В.С., Астахов В.В., Вадивасова Т.Е., Нейман А.Б. и др.* Нелинейные эффекты в хаотических и стохастических системах. Москва; Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2003. 529 с.
16. *Анищенко В.С., Вадивасова Т.Е., Астахов В.В.* Нелинейная динамика хаотических и стохастических систем. Саратов: Изд-во Саратов. ун-та, 1999. 387 с.
17. *Гардинер К.В.* Стохастические методы в естественных науках. М.: Мир, 1986. 512 с.
18. *Безручко Б.П., Смирнов Д.А.* Математическое моделирование и хаотические временные ряды. Саратов: Изд-во ГосУНЦ «Колледж», 2005. 319 с.

*Саратовский государственный
университет им. Н.Г. Чернышевского*

Поступила в редакцию 9.12.2009

EVOLUTIONARY STOCHASTIC MODEL OF DYNAMICS OF PSYCHO-EMOTIONAL STATES IN AFFECTIVE DISORDERS

D.D. Postnov

Experimental researches in the field of psychiatry show that variation of psycho-emotional states in humans resembles switching process between the various major phases (depressed, normal, manic state). The parameters of such switching process significantly differ in normal state and in affective disorders. To date, the known mathematical models of this process, are based on the assumption of presence of internal chaotic dynamics. We suggest an alternative approach and show that the behavior of a model based on the paradigm of an overdamped nonlinear oscillator under the influence of external noise, is in a good agreement with experimental data. The proposed model reproduced at qualitative level both typical reaction to short-term single influence, and long-term development of bipolar affective disorder.

Keywords: Stochastic model, affective disorders, psycho-emotional states, paradigm of an overdamped nonlinear oscillator.



Postnov Дмитрий Дмитриевич – родился в 1990 году в Саратове, на данный момент является студентом физического факультета Саратовского государственного университета. Занимается научной работой в области применения нелинейной динамики в биофизике и моделирования биофизических систем.

410012 Саратов, ул. Астраханская, 83
Саратовский государственный университет им. Н.Г. Чернышевского
E-mail: postnovdima@gmail.com