

УДК 616.89-008.441.13-036.87-036.66

## МОДЕЛИРОВАНИЕ И ПРОГНОЗИРОВАНИЕ РАСПРОСТРАНЕННОСТИ ЗАВИСИМОСТИ ОТ ПСИХОАКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ

**И.В. Линский<sup>#</sup>, Д.А. Толстолужский<sup>+</sup>, Е.А. Баранник<sup>+</sup>**

<sup>#</sup>ГУ "Институт неврологии, психиатрии и наркологии НАМН Украины", 61068, г. Харьков, ул. Академика Павлова, 46; E-mail: i\_linskiy@yahoo.com

<sup>+</sup>Харьковский национальный университет им. В.Н.Каразина, 61108, г. Харьков, пр. Курчатова, 31  
E-mail: barannik@pht.univer.kharkov.ua

Поступила в редакцию 5 сентября 2011

Принята 3 октября 2011

С использованием подходов популяционной экологии проведен анализ динамики распространения в Украине зависимости от психоактивных веществ. Предложена модифицированная модель Ферхюльста, позволяющая описывать и прогнозировать распространение зависимости от психоактивных веществ на основе имеющихся официальных данных медицинской статистики. Путем аппроксимации имеющихся статистических данных установлены численные параметры модели и сделаны выводы относительно максимально возможного числа больных алкоголизмом и наркоманией в Украине. Обсуждаются пути дальнейшего развития разработанной модели с учетом всех факторов, влияющих на процесс распространения зависимости от психоактивных веществ.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** психоактивные вещества, алкоголизм, наркомания, модель, прогноз.

## МОДЕЛЮВАННЯ І ПРОГНОЗУВАННЯ ПОШИРЕНОСТІ ЗАЛЕЖНОСТІ ВІД ПСИХОАКТИВНИХ РЕЧОВИН

**І.В. Лінський<sup>#</sup>, Д.О. Толстолужський<sup>+</sup>, Є.О. Баранник<sup>+</sup>**

<sup>#</sup>Державна установа "Інститут неврології, психіатрії та наркології НАМН України",  
61068, м. Харків, вул. Академіка Павлова, 46

<sup>+</sup>Харківський національний університет ім. В.Н.Каразіна, 61108, м. Харків, пр. Курчатова, 31

З використанням підходів популяційної екології проведений аналіз динаміки поширення в Україні залежності від психоактивних речовин. Запропонована модифікована модель Ферхюльста, що дозволяє описати та прогнозувати згадану вище динаміку на основі наявних офіційних даних медичної статистики. Шляхом аппроксимації статистичних даних винайдені кількісні параметри моделі та зроблені висновки щодо максимально можливої кількості хворих на алкоголізм і наркоманію в Україні. Обговорюються шляхи подальшого розвитку розробленої моделі з урахуванням усіх факторів, що впливають на процес поширення залежності від психоактивних речовин.

**КЛЮЧОВІ СЛОВА:** психоактивні речовини, алкоголізм, наркоманія, модель, прогноз.

## THE MODELING AND FORECASTING OF PREVALENCE OF DEPENDENCE ON PSYCHOACTIVE SUBSTANCES

**I.V. Linskiy<sup>#</sup>, D.A. Tolstoluzhskiy<sup>+</sup>, E.A. Barannik<sup>+</sup>**

<sup>#</sup>The State Institution "Institute of Neurology, Psychiatry and Narcology of National Academy of Medical Sciences of Ukraine", 61108, Kharkiv, Akademika Pavlova str., 46

<sup>+</sup>The Kharkiv National University named V.N.Karazin, 61108, Kharkiv, Kurchatov av., 31

Based upon the approaches of population ecology the analysis of dynamics of proliferation of substance abuse in Ukraine was carried out. It is offered the modified model of Verhulst allowing to describe and predict mentioned above dynamics on the basis of available official data of medical statistics. By approximation of available statistical data numerical parameters of model are established and conclusions concerning the greatest possible number of alcohol and drugs addicted persons in Ukraine are drawn. Ways of the further development of the developed model taking into account all factors influencing process of proliferation of substance abuse are discussed.

**KEYWORDS:** psychoactive substances, alcoholism, drug addiction, model, forecast.

Многочисленные исследования свидетельствуют о дальнейшем развитии эпидемии зависимости от психоактивных веществ в Украине [1,2]. Появляются неизвестные

ранее виды наркомании и токсикомании, что связано, например, с появлением новых лекарственных препаратов. В то же время эффективное противодействие эпидемии зависимости от психоактивных веществ невозможно без оперативной информации и количественных данных о ее интенсивности и основных действующих факторах.

Эпидемиологические аспекты зависимости от психоактивных веществ интенсивно исследуются во всем мире [3-9] прежде всего с точки зрения ситуации, которая объективно складывается в стране в данный момент времени. Значительно меньше работ посвящено анализу динамики процесса, что связано в значительной мере с разнородностью и ненадежностью источников информации о заболеваемости и степени распространения зависимости. Достоверные сведения об этих параметрах могут быть получены только в процессе прямого контакта исследователя или лечащего врача с больным. Необходимым условием для масштабных систематических исследований является развитая наркологическая служба, которая не только оказывает помощь больным, но и осуществляет квалифицированное наблюдение за ситуацией. Такой системы наблюдения и достоверных статистических данных о распространении зависимости от психоактивных веществ нет практически ни в одной стране мира, кроме Украины.

Целью настоящей работы является разработка модели, позволяющей прогнозировать распространение зависимости от психоактивных веществ на основе анализа имеющихся официальных данных медицинской статистики.

### **МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ**

В процессе построения модели распространения зависимости от психоактивных веществ использовались результаты реконструкции реальной заболеваемости и распространенности алкогольной зависимости и наркоманий [10-12], проведенной на основе данных официальной медицинской статистики МЗ Украины за последние три десятилетия. Использован также метод выборочных эпидемиологических исследований путем непосредственного медицинского обследования в комплексе с изучением результатов анкетирования (при наличии информированного согласия обследуемого больного). Аппроксимация расчетных параметров предложенной модели выполнялась методом наименьших среднеквадратических отклонений с помощью пакета прикладных программ Origin 7.0 (OriginLab Corporation, Northampton, MA, USA).

### **РЕЗУЛЬТАТЫ**

#### **Модель распространения зависимости от психоактивных веществ**

Развитие эпидемии зависимости от психоактивных веществ (алкоголя, наркотиков и т.д.) можно рассматривать как частный случай развития некоторой популяции. Каждый зависимый от психоактивных веществ больной на протяжении своей жизни рекрутирует определенное количество новых потребителей алкоголя или наркотиков, что является эквивалентом размножения в моделях популяционной экологии. С другой стороны, существуют обстоятельства, которые ограничивают увеличение численности такой популяции. К ним относятся меры государства, направленные на профилактику состояний зависимости, лечение больных и его качество, смертность среди заболевших, борьба с незаконным оборотом наркотиков и продажей алкоголя несовершеннолетним, другие административные и экономические меры, которые присущи данному социуму и сопровождают процесс распространения эпидемии зависимости.

Поэтому была выдвинута гипотеза о том, что для описания распространения эпидемии распространения зависимости от психоактивных веществ можно использовать известные математические модели популяционной экологии [13,14].

Наиболее простой из них является модель Ферхюльста, согласно которой динамика развития эпидемии, т.е. скорость увеличения численности больных, описывается дифференциальным уравнением:

$$\frac{dn_1}{dt} = mn_1(K - n_1) - r_A n_1, \quad (1)$$

где  $n_1$  - количество больных в данный момент времени,  $dn_1/dt$  - скорость возрастания числа больных,  $m > 0$  - скорость, с которой больной «инфицирует» окружение,  $K$  - максимально возможное количество людей, которые могут заболеть в отсутствие противодействующих факторов, ограничивающих заболеваемость, и  $r_A > 0$  - скорость уменьшения количества больных в результате действия ограничивающих факторов.

В соответствии с (1) классическая модель Ферхюльста содержит три независимых параметра, которые полностью описывают динамику процесса. В то же время действие второго слагаемого в правой части (1) сводится лишь к перенормировке максимального числа потенциальных больных, поскольку уравнение (1) можно записать в виде

$$\frac{dn_1}{dt} = mn_1(K_{\max} - n_1). \quad (2)$$

В результате независимых параметров оказывается всего два, а стационарному решению уравнения (1), при котором  $dn_1/dt = 0$  (прекращение распространения заболеваемости и стабилизация числа больных), соответствует максимально возможное количество больных, равное

$$K_{\max} = K - \frac{r_A}{m_1}. \quad (3)$$

Нелинейное дифференциальное уравнение (1) имеет аналитическое решение вида:

$$n_1(t) = \frac{K_{\max} n_1(0) \exp(m_1 K_{\max} t)}{K_{\max} + n_1(0)[\exp(m_1 K_{\max} t) - 1]}, \quad (4)$$

где  $n_1(0)$  - количество больных в начале активной фазы развития эпидемии. В соответствии с (4) с течением времени количество больных приближается к своему максимальному значению (3)

В процессе расчетов было установлено, что наилучшая аппроксимация параметров модели достигается с помощью более общего по сравнению с (1) и (2) уравнения

$$\frac{dn_1}{dt} = mn_1(K_{\max} - n_1) + \left( \frac{dn_1}{dt} \right)_0, \quad (5)$$

где  $(dn_1/dt)_0$  - постоянная величина, которая также является параметром модели. Из уравнения (5) видно, что эта величина описывает скорость заболеваемости при  $n_1 = 0$ . По знаку величины  $(dn_1/dt)_0$  можно достаточно корректно определить начало активной фазы процесса распространения заболеваемости, которую, собственно, и следует характеризовать определением «эпидемия».

Действительно, при  $(dn_1/dt)_0 < 0$  кривая зависимости прироста от числа больных лежит ниже классической параболической кривой Ферхюльста, для которой  $(dn_1/dt)_0 = 0$ . В результате активная фаза начинается только тогда, когда число больных  $n_1$  достигает некоторого значения

$$n_{1\min} = \frac{1}{2} K_{\max} - \sqrt{\frac{1}{4} K_{\max}^2 + \frac{1}{m} \left( \frac{dn_1}{dt} \right)_0}, \quad (6)$$

после чего процесс развивается в соответствии с моделью Ферхюльста. Таким образом, в этом случае имеет место некоторый латентный период развития эпидемии, так что начало регистрации данных о числе больных предшествует началу активной фазы. При этом максимально возможное количество больных уменьшается:

$$n_{1\max} = \frac{1}{2} K_{\max} + \sqrt{\frac{1}{4} K_{\max}^2 + \frac{1}{m} \left( \frac{dn_1}{dt} \right)_0}. \quad (7)$$

При  $(dn_1/dt)_0 > 0$  кривая зависимости прироста числа больных от их текущей численности лежит выше классической параболы Ферхюльста. В результате активная фаза сразу характеризуется отличной от нуля скоростью распространения эпидемии  $(dn_1/dt)_0$ , что в классической модели Ферхюльста возможно лишь при наличии определенного количества уже заболевших. Такая ситуация может возникать вследствие запаздывания с началом регистрации эпидемических больных. Об этом свидетельствует отрицательность величины  $n_{1\min} < 0$ , в то время как максимально возможное количество больных возрастает по сравнению с  $K_{\max}$ .

Аналогично (2), уравнение (5) представляет собой нелинейное дифференциальное уравнение первого порядка, которое решается методом разделения переменных:

$$n_1(t) = \frac{n_{1\max} (n_1(0) - n_{1\min}) - n_{1\min} (n_1(0) - n_{1\max}) e^{-(n_{1\max} - n_{1\min})mt}}{n_1(0) - n_{1\min} - (n_1(0) - n_{1\max}) e^{-(n_{1\max} - n_{1\min})mt}}. \quad (8)$$

В соответствии с (8), с течением времени количество больных приближается к новому максимальному значению (7), причем характер возрастания остается таким же монотонным, как и для решения (4).

Достаточно простая модификация классической модели Ферхюльста позволяет в некоторых случаях описать и немонотонный характер динамики развития эпидемии. Действительно, если в некоторый момент времени  $t_0$  изменяется такой параметр модели, как максимально возможное количество больных  $n_{1\max}$ , то решение уравнения (5) при  $t \geq t_0$  приобретает вид

$$n_1(t) = \frac{n'_{1\max} (n_1(t_0) - n'_{1\min}) - n_{1\min} (n_1(t_0) - n'_{1\max}) e^{-(n'_{1\max} - n'_{1\min})m(t-t_0)}}{n_1(t_0) - n'_{1\min} - (n_1(t_0) - n'_{1\max}) e^{-(n'_{1\max} - n'_{1\min})m(t-t_0)}}. \quad (9)$$

где  $n'_{1\max}$  и  $n'_{1\min}$  - новые значения параметров модели, а величина начальной численности больных  $n_1(t_0)$  определяется решением уравнения (8).

Как показано на Рис. 1, в зависимости от соотношения величин  $n_{1\max}$ ,  $n'_{1\max}$  и  $n_1(t_0)$  в общем случае динамика распространения эпидемии может иметь как монотонный, так и немонотонный характер. Если выполняется неравенство  $n'_{1\max} > n_{1\max}$ , то при  $t \geq t_0$  распространение эпидемии ускоряется, а соответствующая кривая 2 лежит выше классической кривой 1. Динамика распространения эпидемии остается монотонно возрастающей (кривая 3) и при  $n'_{1\max} < n_{1\max}$ , если величина нового максимума потенциально больных велика по сравнению с их начальной численностью:  $n'_{1\max} > n_1(t_0)$ . Наконец, при выполнении обратного неравенства  $n'_{1\max} < n_1(t_0)$  (кривая 4) после момента времени  $t_0$  может начаться уменьшения числа больных.

### Распространение зависимости от алкоголя и наркотиков в Украине в течение 1976 - 2010 годов

На Рис.2 представлена абсолютная и относительная (на 100 тыс. населения) распространенность зависимости от психоактивных веществ в Украине на протяжении последних 40 лет. Как видно из рисунка, максимум как абсолютной, так и относительной распространенности психических и поведенческих расстройств

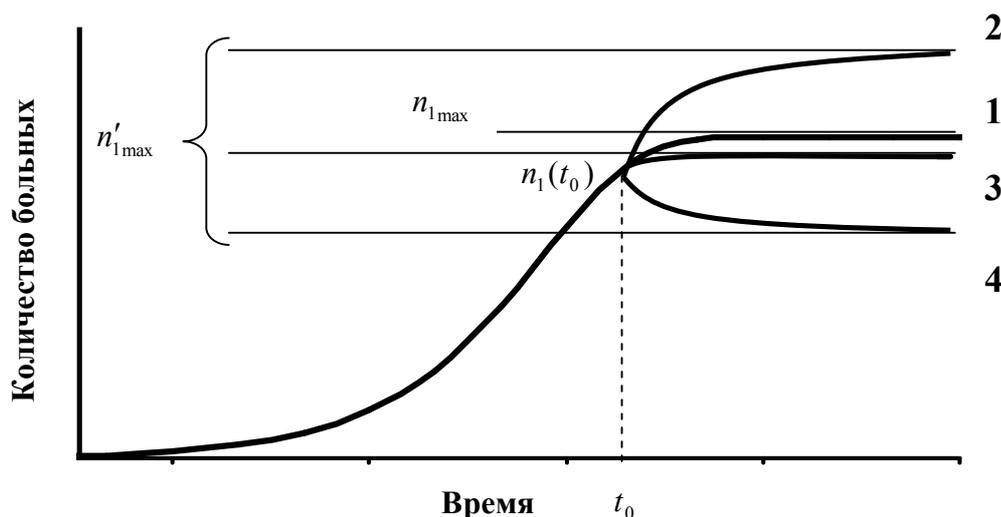


Рис. 1. Зависимость количества больных от времени при монотонной (кривые 1-3) и немонотонной (кривая 4) динамике развития эпидемии.

вследствие употребления психоактивных веществ наблюдался в 1985 году, после чего количество больных начало уменьшаться. Даже увеличение распространенности новых видов зависимости — нарко-токсикоманий, не смогло компенсировать уменьшения распространенности алкоголизма. Такое немонотонное поведение качественно хорошо согласуется, очевидно, с модифицированной моделью Ферхюльста (кривая 4 на рис.1). В относительных величинах распространенность зависимости от психоактивных веществ начиная с 1992 года возобновила медленный рост (с учетом уменьшения численности населения), который тем не менее прекратился после 2005 года.

Из уравнения (5) следует, что прирост числа больных  $\Delta n_1$  за единицу времени, например за год, зависит от текущего количества больных параболически. Поэтому параметры процесса распространения зависимости от психоактивных веществ рассчитывались путем наилучшей аппроксимации этой зависимости в соответствии с имеющимися статистическими данными. Текущий ежегодный прирост числа больных  $\Delta n_1$  определялся как разница между числом больных в текущем и предыдущем годах.

Зависимость приращения числа больных алкоголизмом и наркоманией от текущей распространенности этих заболеваний в Украине на протяжении 1971-2010гг. показаны на Рис. 3 и 4 соответственно. Как видно из рисунка, процесс распространения алкоголизма хорошо аппроксимируется классической моделью Ферхюльста (показатель достоверности аппроксимации  $R^2 = 0,9346$ ) с момента начала наблюдений до момента достижения некоторого максимального числа больных в 1985 году. В соответствии с данными аппроксимации, величина  $(dn_1/dt)_0 < 0$ , поэтому возрастание числа больных началось только в 60-х годах прошлого столетия с уровня относительно небольшой

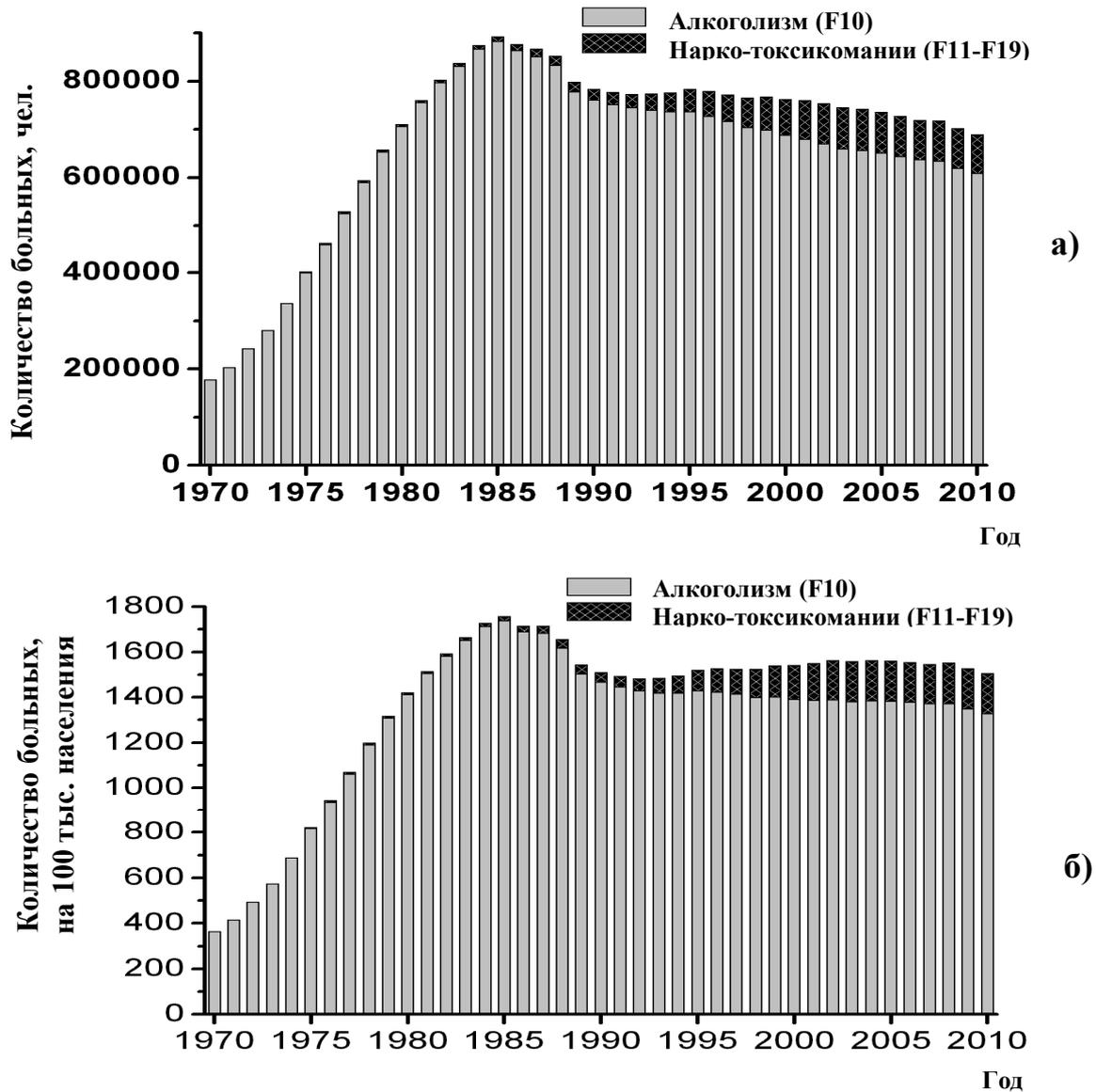
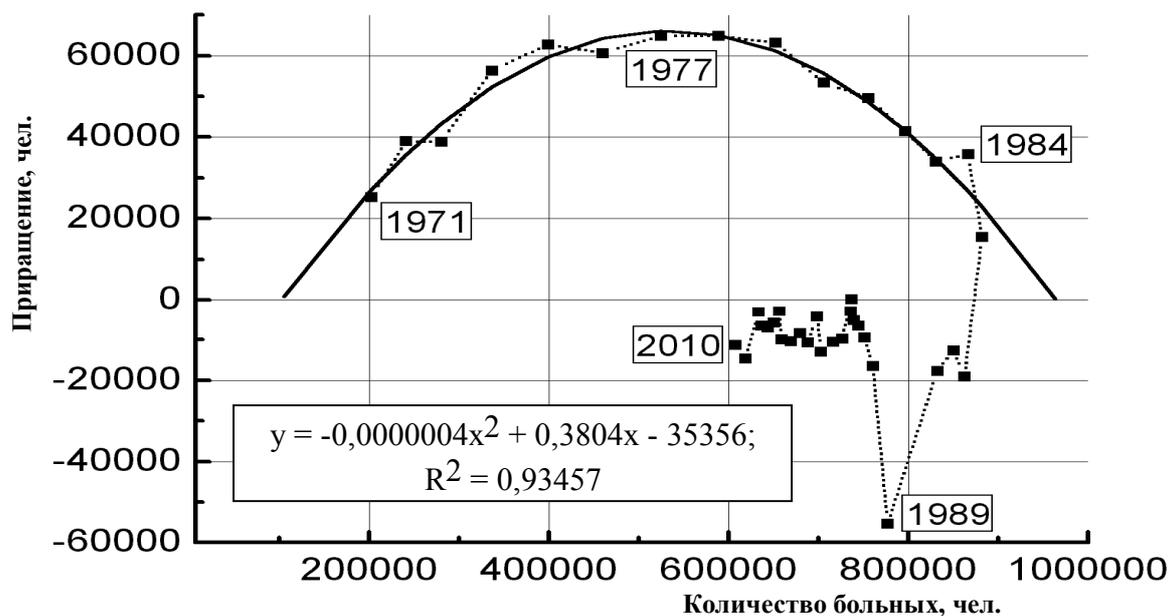


Рис.2 Динамика (а) абсолютной и (б) относительной (на 100 тыс. населения) распространенности в Украине зависимости от психоактивных веществ и ее важнейшие составляющие на протяжении 1970-2010 гг. Здесь и далее в скобках даются шифры психических и поведенческих расстройств в соответствии с МКБ-10.

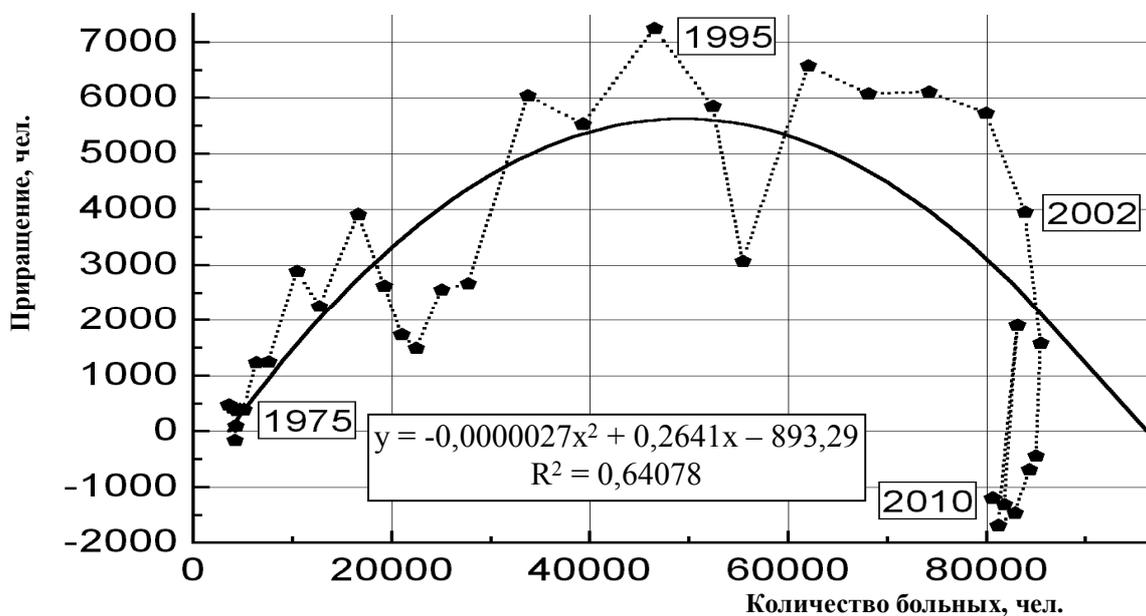
популяции  $n_{1\min} = 100$  тыс.чел. Максимальная распространенность в 881745 больных была зарегистрирована в 1985 году и составила 91,4 % от теоретического предела  $n_{1\max} = 964540$  тыс. чел.

Анализ динамики эпидемиологических показателей распространения алкоголизма показывает, что все административно-территориальные единицы Украины достигли максимального уровня еще в 80-х годах прошлого столетия и теперь находятся в стадии стабилизации процесса с тенденцией обратного развития. Вычисленные в процессе аппроксимации параметры для каждой административно-территориальной единицы Украины приведены в Таблице 1.



Обозначения:   
 ---■--- статистические данные   
 ————— кривая параболической аппроксимации

Рис. 3. Ежегодное приращение числа больных алкоголизмом в Украине на протяжении 1971-2010 гг. (аппроксимированы данные за 1971-1985 гг.).



Обозначения:   
 ---■--- статистические данные   
 ————— кривая параболической аппроксимации

Рис. 4. Ежегодное приращение числа больных наркоманий в Украине на протяжении 1976-2010 гг. (аппроксимированы данные за 1976-2005 гг.).

Таблица 1

Административно-территориальная единица	$-m$ , 1/чел.·год	$\left(\frac{dn_1}{dt}\right)_0$ , чел/год	$n_{1\max}$ , чел.	Наибольшая зарегистрированная распространенность, чел.
Украина	0,0000004	-35356,0	964540	881745
АР Крым	0,0000060	-2321,9	44478	36699
Винницкая обл.	0,0000090	-1930,8	39117	36322
Волынская обл.	0,0000300	-665,2	16667	16034
Днепропетровская обл.	0,0000030	-3757,5	89245	71195
Донецкая обл.	0,0000040	-4494,6	99709	95948
Житомирская обл.	0,0000200	-2144,4	29910	28352
Закарпатская обл.	0,0000059	470,3	24069	18477
Запорожская обл.	0,0000090	-1583,5	40000	36725
Ивано-Франковская обл.	0,0000300	-833,3	16165	19155
Киевская обл.	0,0000058	-220,2	47739	43604
Кировоградская обл.	0,0000080	-61,4	27254	21695
Луганская обл.	0,0000100	-6465,9	50250	50257
Львовская обл.	0,0000100	-778,8	38453	38112
Николаевская обл.	0,0000300	-1543,6	21919	21668
Одесская обл.	0,0000200	-471,3	38648	42165
Полтавская обл.	0,0000055	-417,3	42927	35625
Ровненская обл.	0,0000200	-611,2	17458	15787
Сумская обл.	0,0000200	-964,8	25848	24922
Тернопольская обл.	0,0000200	-1312,9	21375	19530
Харьковская обл.	0,0000027	216,8	78774	64862
Херсонская обл.	0,0000100	-2358,1	28910	24958
Хмельницкая обл.	0,0000092	1128,0	26038	25417
Черкасская обл.	0,0000060	-1204,2	38024	30219
Черновицкая обл.	0,0000500	-1051,7	10864	12046
Черниговская обл.	0,0000100	-3044,2	32560	30843
г. Киев	0,0000100	-5018,5	36691	36038
г. Севастополь	0,0001300	-1678,2	5786	5691

Процесс распространение наркоманий в Украине на протяжении 1971-2010гг. (Рис.4) также достаточно хорошо описывается моделью Ферхюльста, однако качество аппроксимации с показателем достоверности  $R^2 = 0,64078$  ниже, чем качество аппроксимации распространенности алкоголизма. Результаты расчетов свидетельствуют о наличии в начале эпидемии стабильной популяции больных, численность которой составляла величину порядка 4-5 тыс.чел.

Исходя из результатов аппроксимации, потенциально популяция больных наркотоксикоманией в Украине может достичь максимума  $n_{1\max} = 96350$  чел. В действительности в 2003г. количество больных наркотоксикоманией достигло 85448 чел., что составляет около 88,7% от теоретического значения  $n_{1\max}$ , после чего численность больных начала уменьшаться. За некоторым исключением эта тенденция присуща и отдельным регионам Украины. Соответствующие параметры для каждой административно-территориальной единицы Украины приведены в Таблице 2.

Таблица 2

Административно-территориальная единица	$-m$ , 1/чел.·год	$\left(\frac{dn_1}{dt}\right)_0$ , чел/год	$n_{1\max}$ , чел.	Наибольшая зарегистрированная распространенность, чел.
Украина	0,000003	-893,29	96350	85448
АР Крым	0,00007	-144,03	4792	4462
Винницкая обл.	0,00018	-8,91233	1469	1210
Волынская обл.	0,00014	-4,28751	2083	1857
Днепропетровская обл.	0,00001	55,16613	16236	15866
Донецкая обл.	0,00002	-41,096	11148	10633
Житомирская обл.	0,00015	-10,56	1946	1625
Закарпатская обл.	0,00239	-13,905	262	253
Запорожская обл.	0,00006	-38,042	5992	6028
Ивано-Франковская обл.	-0,00006	12,19966	*	915
Киевская обл.	0,00013	-0,55131	1621	1530
Кировоградская обл.	0,00007	-9,256	3404	2989
Луганская обл.	0,00004	-10,251	6166	5717
Львовская обл.	0,00011	-5,06	1388	1158
Николаевская обл.	0,00004	0	5037	4411
Одесская обл.	0,00004	-259,75	9150	8512
Полтавская обл.	0,00008	-10,213	3119	2764
Ровненская обл.	0,00016	-4,176	1537	1247
Сумская обл.	0,0002	-3,106	1328	1235
Тернопольская обл.	0,00014	0,744	952	555
Харьковская обл.	0,0002	-43,008	1675	2423
Херсонская обл.	0,00007	-12,7095	3382	2658
Хмельницкая обл.	0,0001	-13,98765	3501	2339
Черкасская обл.	0,00013	-4,4677	2072	1934
Черновицкая обл.	0,0003	-17,079	957	805
Черниговская обл.	0,00013	-10,76241	2226	2112
г. Киев	0,00001	-49,661	18619	8844
г. Севастополь	0,00003	-100,1136	10953	9555

### ОБСУЖДЕНИЕ

Важной характеристикой любого метода прогнозирования является его устойчивость к дефициту статистических данных, т.е. зависимость аппроксимируемых параметров от величины статистической выборки. С этой точки зрения устойчивость проведенного прогноза, например, величины  $n_{1\max}$ , оказывается весьма хорошей по крайней мере для определенного промежутка времени. В частности, величина  $n_{1\max}$ , а значит, и прогнозируемое текущее значение распространенности эпидемии, отличается не более чем на 10% для прогнозов, сделанных с использованием данных для интервалов времени 1971-1978гг. и 1971-1986гг.

Это означает, что глубина прогноза (или интервал времени в будущем, на котором возможно его корректное применение) в 1978 году составляла 8 лет вплоть до 1986 года. Понятно, что устойчивость и глубина прогноза распространения наркоманий оказываются несколько хуже, что связано с меньшей абсолютной численностью

больных наркоманией и, соответственно, с большим влиянием случайных флуктуаций статистических эпидемиологических показателей на значения параметров модели.

Резкое уменьшение ежегодного приращения числа больных алкоголизмом после 1985г. свидетельствует, очевидно, об изменении некоторых базовых социально-экономических факторов. Во-первых, 1985-1989г.г. – это период интенсивного развития кооперативного движения в стране, когда большое количество людей получило возможность заниматься самостоятельной экономической деятельностью. Во-вторых, именно в эти годы имела место известная антиалкогольная компания. В-третьих, с начала 90-х годов прошлого столетия началось абсолютное уменьшение населения страны (депопуляция, продолжающаяся и в настоящее время), что естественным образом сопровождалось уменьшением максимально возможного числа людей, склонных к зависимости от любых психоактивных веществ. И в-четвертых, именно в это время началось стремительное развитие эпидемии наркоманий, что привело к переключению некоторой части потенциальных потребителей алкоголя на употребление других психоактивных веществ. Эти факторы в совокупности и привели к изменению параметров рассматриваемой модели Ферхюльста.

Проведенный анализ динамики эпидемиологических показателей показывает, что в настоящее подавляющее большинство административно-территориальных единиц Украины либо еще только приближается к прогнозируемому максимальному уровню распространения наркоманий, либо уже демонстрирует обратное развитие, так и не достигнув его. Относительно далекой от стабилизации остается ситуация только в Кировоградской, Луганской, Ровненской и Тернопольской областях, а также в г.Киев. Что касается Ивано-Франковской области и г.Севастополя, то в этих административно-территориальных единицах ввиду больших статистических флуктуаций эпидемиологических данных сделать достоверный прогноз с помощью модели Ферхюльста весьма сложно. Тем не менее, аналогично развитию эпидемии алкоголизма, которая в своем развитии продвинулась значительно дальше, можно предположить, что теоретический предел в распространении эпидемии наркоманий в целом по Украине даже с учетом этих регионов достигнут не будет.

## ВЫВОДЫ

Классическая модель Ферхюльста с постоянными во времени параметрами может быть использована для математического описания (а значит и прогнозирования) только того периода распространения зависимости от алкоголя и других психоактивных веществ, который характеризуется относительно стабильным характером развития общества. Более того, при малой статистике процесса, которая характерна для отдельных регионов, динамика распространения заболеваемости может оказаться такой, что ее вообще невозможно описать с помощью классического уравнения Ферхюльста.

Тем не менее это не означает, что простая модель Ферхюльста неактуальна, поскольку параметры уравнения Ферхюльста имеют достаточно прозрачный смысл и в принципе могут адекватно отобразить все действующие факторы при развитии любой эпидемии. Для ее корректного применения необходимо учитывать возможное изменение некоторых базовых условий и общественных реалий, отображая эти изменения в параметрах модели. В частности, полученное решение для модифицированной модели Ферхюльста качественно соответствует той ситуации с эпидемией алкоголизма в Украине, которая сложилась после 1985г. Поэтому для верного количественного описания эпидемиологического процесса зависимость параметров модели от времени должна коррелировать с изменениями таких факторов,

как, например, профилактика заболеваемости, переключение части потенциальных потребителей алкоголя на употребление других психоактивных веществ, уменьшение численности населения страны и т.д.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Minko A.I. Narkologija / A.I. Minko, I.V. Linskij. – M.: Jeksmo, 2004. – 736 s.
2. Linskij I.V. Aktual'nye tendencii rasprostraneniya zavisimosti ot psihoaktivnyh vewestv na Ukraine / I.V. Linskij, A.I. Minko, Je.B. Pervomajskij // Narkologija. – 2005. - №4. – S.12-17.
3. Koshkina E.A. Problema alkogolizma i narkomanii v Rossii na sovremennom jetape / E.A. Koshkina // Voprosy narkologii – 1993 – №4. – С.65-70.
4. Ivanec N.N. Sovremennoe sostojanie problemy narkomanij v Rossii / N.N. Ivanec, I.P. Anohina, N.V. Strelec // Voprosy narkologii. – 1997. – №3. С.3-12.
5. Grant B.F. Prevalence and correlates of alcohol use and DSM-IV alcohol dependence in the United States: results of the National Longitudinal Alcohol Epidemiologic Survey / B.F. Grant // J Stud Alcohol. – 1997 – V.58, N5. – P.464-473.
6. Prevalence and demographic correlates of symptoms of last year dependence on alcohol, nicotine, marijuana and cocaine in the US population / D. Kandel, K. Chen, L.A. Warner, [et al.] // Drug Alcohol Depend. – 1997 – V.44, N1. P.11-29.
7. Prevalence of alcohol consumption, abuse and dependence in a country with high per capita consumption: findings from the German TACOS study. Transitions in Alcohol Consumption and Smoking / C. Meyer, H.J. Rumpf, U. Hapke, [et al.] // Soc Psychiatry Psychiatr Epidemiol. – 2000 – V.35, N12. – P.539-547.
8. Kip K.E. Commentary on why national epidemiological estimates of substance abuse by race should not be used to estimate prevalence and need for substance abuse services at community and local levels / K.E. Kip, R.H. Peters, B. Morrison-Rodriguez // Am J Drug Alcohol Abuse. – 2002 – V.28, N3. – P.545-556.
9. Kolb L. The prevalence and trend of drug addiction in the United States and factors influencing it / L. Kolb, A.G. Du Mez // Public Health Rep. – 2006 – V.121, Suppl 1. – P.161-173; discussion 160.
10. Linskij I.V. Metod i rezul'taty rekonstrukcii dinamiki rasprostraneniya opiomaniy v Ukraine s 1981g. po 1998 g. / I.V. Linskij // Tavricheskij zhurnal psihiatrii. – 1999 – Vyp. 3, № 4 (11). – S.77-84.
11. Systema monitoryngu - osnova organizacii' narkologichnoi' dopomogy v suchasnyh umovah / P.V. Voloshyn, I.V.Lins'kyj, O.I. Minko, [ta in.] // Ukraïns'kyj medychnyj chasopys – 2002 – № 4 (30). – S.46-50.
12. Lins'kyj I.V. Zalezhnist' vid psyhoaktyvnyh rehovyn v Ukraïni: metodologija vyvchennja, tendencii' rozvytku / I.V. Lins'kyj, O.I. Minko // Visnyk psyhiatrii' ta psyhofarmakoterapii'. - 2003. -№2 (40). - S. 6-8.
13. Vavilin V.A. Avtokataliz i fluktuacii v prirode / V.A. Vavilin // Priroda – 2005. – N 6. – P.52-59.
14. Vandermeer J. Elementary mathematical ecology. / J. Vandermeer. – N.Y.: John Willey & Sons, 1981. – 294pp.