

4. Ариненков Ю.Д. Эффективность рекурсивного продолжения коротких массивов данных состава угля // ВІСТІ Донецького гірничого інституту. Всеукраїнський науково-технічний журнал гірничого профілю. Донецький національний технічний університет. –Донецьк, ДонНТУ, 2003. -№2. –С.88-92.

5. Arinenkov Yu. Universal model for research both optimization of technological processes and circuits of coal prepa-

ration factories on the COMPUTER/2nd Regional APCOM'97 Symposium on COMPUTER APPLICATIONS AND OPERATIONS RESEARCH IN THE MINERAL INDUSTRIES. Published by: The Moscow State Mining University Publishing Center. Moscow, Russia - 1997. 536p. - P.209-214.

Статья поступила в редакцию 14.05.2004

А.В. СМІРНОВ, к.т.н., доцент,

Д.В. РЕВЕГА,

Донецкий национальный технический университет

СИНТЕТИЧЕСКИЕ СКОЛЬЗЯЩИЕ СРЕДНИЕ

Скольльзящее усреднение нашло самое широкое применение для выявления тенденций изменения во времени различных экономических характеристик и явлений [1,2]. Это произошло потому, что его алгоритмы просты, прозрачны и понятны исследователям временных рядов. Вместе с тем имеются и существенные недостатки рассматриваемых способов выявления трендов, которые вредны при реализации процессов оперативного управления экономическими системами на практике (реализация компьютерных биржевых торговых систем для формирования эффективных торговых входов/выходов в рынки; оперативное управление современным производством с помощью компьютерных систем поддержки принятия управленческих решений, корпоративных компьютерных систем и т.д.).

При этом основные и наиболее существенные недостатки многочисленных известных алгоритмов скользящего усреднения сводятся к следующему:

- объективно существующая и принципиально неустранимая (по мнению большинства исследователей временных рядов) временная задержка продуктов усреднения относительно исследуемого временного ряда на величину $m/2$, где: m –

величина временного окна скользящего усреднения [1,2];

- высокая колеблемость выделяемых трендов, которая слабо уменьшается с ростом величины m [1,2];

- наличие линейных частотных искажений при выделении трендов (форма выделяемых трендов отличается от реально существующих тенденций временных рядов из-за специфических свойств амплитудно-частотных характеристик (АЧХ) – квадратов модулей комплексных коэффициентов передачи алгоритмов усреднения в полосе их прозрачности в частотной области [3]).

Отметим, что объективное существование названных двух первых недостатков алгоритмов усреднения фиксировалось в специальной литературе как принципиально неустранимое. Экономисты-исследователи вполне с ними мирились. И это было обусловлено тем, что в большинстве случаев ими ранее решались статистические экономические задачи без существенных временных ограничений на их решение.

Одной из первых работ, в которой автор обратил внимание на влияние АЧХ

алгоритмов скользящего усреднения при выявлении ими трендов, была монография [4]. Однако и в ней нет ответов на вопросы: какие алгоритмы скользящего усреднения по определенному критерию лучше, целесообразно ли применение их при конкретных исследованиях временных рядов и как модернизировать существующие алгоритмы или синтезировать новые для устранения перечисленных выше недостатков.

Целью настоящей работы является разработка принципиально нового класса алгоритмов скользящего усреднения (которые мы назвали синтетическими) для устранения перечисленных выше недостатков, присущих традиционным типам широко известных экономистам алгоритмов скользящего усреднения.

Решение поставленных нами задач стало возможным благодаря результатам исследований, полученных в [3]. Поскольку эта статья была опубликована за рубежом и доступна лишь ограниченному кругу отечественных специалистов, то кратко остановимся на основных ее научных результатах.

В [3] предложена математическая модель временных рядов, характеризующих динамику биржевых цен, в частотной области. В ней были рассмотрены широко известные алгоритмы скользящего усреднения: простое скользящее усреднение; взвешенное скользящее усреднение двух модификаций; экспоненциальное скользящее усреднение и оптимальный цифровой фильтр (ОЦФ), который синтезирован методом Ремеза (чебышевская аппроксимация) при вариации $2 \leq m \leq 100$. Далее были получены импульсные характеристики $h(l)$ всех рассмотренных алгоритмов. Путем дискретных Фурье-преобразований $h(l)$ найдены их комплексные коэффициенты передачи. Предложен обобщенный критерий сравнения качества произвольных алгоритмов скользящего усреднения:

$$\beta \cdot I_1 + (1 - \beta) \cdot \frac{1}{I_2} \Big|_{\max}, \quad (1)$$

где:

β – весовой коэффициент критерия;

$$I_1 = \int_0^{f_{\text{эф}}} \left| K(f_H) \right|^2 df_H, \quad (2)$$

$$I_2 = \int_{f_{\text{эф}}}^{0,5} \left| K(f_H) \right|^2 df_H,$$

соответственно, характеристики фильтрации алгоритмов усреднения в полосе пропускания ($0 \leq f_H \leq f_{\text{эф}}$) и вне ее (в полосе задержания) при ($0,5 \geq f_H \geq f_{\text{эф}}$);

$K(f_H)$ – комплексный коэффициент передачи исследуемого алгоритма усреднения;

$$f_{\text{эф}} = \frac{\int_0^{0,5} \left| K(f_H) \right|^2 df_H}{\left| K(f_H) \right|^2_{\max}} \quad (3)$$

– эффективная полоса пропускания АЧХ исследуемого алгоритма усреднения;

$$f_H = \frac{f}{f_d}, \quad f_d, f – \text{соответственно}$$

нормированная частота, частота дискретизации (определяемая обратной величиной интервала времени между соседними уровнями ряда) и текущая частота;

$$\left| K(f_H) \right|^2_{\max} – \text{максимальное значение}$$

квадрата модуля АЧХ.

Критерий (1) для выбора эффективного алгоритма скользящего усреднения основан на близости АЧХ конкретного алгоритма усреднения к АЧХ идеального фильтра нижних частот (ИФНЧ), у которого $I_1 \equiv 1$ и $I_2 \equiv 0$. Использование критерия (1) позволяет выбрать тот алгоритм скользящего усреднения, который обеспечивает минимум колеблемости выделяемого тренда при его максимальной приближенности к реально существующему тренду (минимум линейных частотных искажений ана-

лиза).

В заключение в [3] рекомендованы для использования следующие алгоритмы скользящего усреднения:

- при $3 \leq m \leq 10$ – алгоритм взвешенного скользящего усреднения с импульсной характеристикой треугольной формы симметричного вида;
- при $10 < m \leq 100$ – ОЦФ (метод Ремеза);
- не рекомендованы к применению следующие алгоритмы скользящего усреднения (имеющие бесконечное число отсчетов l импульсной характеристики и/или $h(l)$ не симметричного вида): алгоритмы экспоненциального скользящего усреднения и некоторые типы алгоритмов взвешенного скользящего усреднения.

Как же использовать результаты работы [3]? Для этого необходимо учесть, что при $m = 2$ (минимальное временное окно, приводящее к усреднению) происходят самые минимальные искажения спектральных составляющих, характеризующих выделяемый тренд. Это соответствует максимальным значениям I_1 в (1). ФЧХ алгоритма усреднения обеспечивает фазовый сдвиг (временную задержку) каждой из множества спектральных составляющих, характеризующих выделяемый тренд [5]:

$$\tau_{\phi}(w_n) = -\varphi(w_n) / w_n, \quad (4)$$

где: $\varphi(w_n)$ – фазочастотная характеристика (ФЧХ) алгоритма усреднения; w_n – нормированная частота.

Групповая задержка, объясняющая запоздания выделяемого тренда относительно его истинного положения, определяется выражением:

$$\tau_{гр} = -\frac{d\varphi(\bar{w}_n)}{d\bar{w}_n}, \quad (5)$$

где: \bar{w}_n – среднее значение нормированной частоты спектральной плотности мощности выделяемого тренда;

$\frac{d}{d\bar{w}_n}$ – первая производная ФЧХ

алгоритма.

В этой ситуации целесообразно искусственно скомпенсировать фазовые задержки (свести к нулю) выражение (4), а (5) не будет иметь смысла. Это можно сделать, применив двойное усреднение типа «назад-вперед». Сразу следует оговорить следующее, что если исходный алгоритм экспоненциального усреднения имел существенно нелинейную ФЧХ и в [3] этот алгоритм не рекомендовался к практическому применению, то двойное усреднение «назад-вперед» компенсирует и саму нелинейность ФЧХ этого алгоритма и его τ_{ϕ} , $\tau_{гр}$.

Традиционный алгоритм экспоненциального усреднения имеет вид [1,2]:

$$Q_t = Q_{t-1} + \alpha \cdot [Y_t - Q_{t-1}], \quad (6)$$

$$\text{где: } \alpha \cong \frac{2}{m+1}, \quad (7)$$

постоянная экспоненциального усреднения ($0 \leq \alpha \leq 1$).

На основе выражений (6), (7) и рекомендаций [3], из соображений минимума линейных искажений следует выбрать $m = 2$, алгоритм двойного усреднения «назад-вперед» будет выглядеть следующим образом (табл1.)

В таблице стрелками показано направление экспоненциального усреднения. Причина выбора двойного усреднения «назад-вперед» вызвана необходимостью к моменту появления Y_5 иметь значение Q_8 . В случае усреднения «вперед-назад» оперативное управление осуществить нам не удастся. Экспоненциальное усреднение (6) и (7) выбрано из тех же самых соображений. Дело в том, что использование других алгоритмов скользящего усреднения приведет к задержкам продукта многократного усреднения относительно Y_4 . Двойной проход I и II соответствует значению $m' = 4$. Для получения $m' = 8$ процедуру в таблице надо осуществить дважды. Далее, как и в случае традиционных скользящих средних, надо отбросить Y_1 , дополнив временное окно Y_5 и т.д. Здесь значение $\alpha = 0,667$ является величиной постоянной, а величина m' определяется общим числом

проходов «назад-вперед».

Таблица 1

Алгоритм формирования «опережающей» синтетической скользящей средней

Y_i	Y_1	Y_2	Y_3	Y_4
Q_i				
I	$Q_4 = Q_3 + \alpha \cdot (Y_1 - Q_3)$	$Q_3 = Q_2 + \alpha \cdot (Y_2 - Q_2)$	$Q_2 = Q_1 + \alpha \cdot (Y_3 - Q_1)$	$Q_1 = Y_4$
II	$Q_5 = Q_4$	$Q_6 = Q_5 + \alpha \cdot (Q_3 - Q_5)$	$Q_7 = Q_6 + \alpha \cdot (Q_2 - Q_6)$	$Q_8 = Q_7 + \alpha \cdot (Q_1 - Q_7)$

Программа ЭВМ выполненная на VBA в Excel, реализующая алгоритм та-

лицы, приведена ниже.

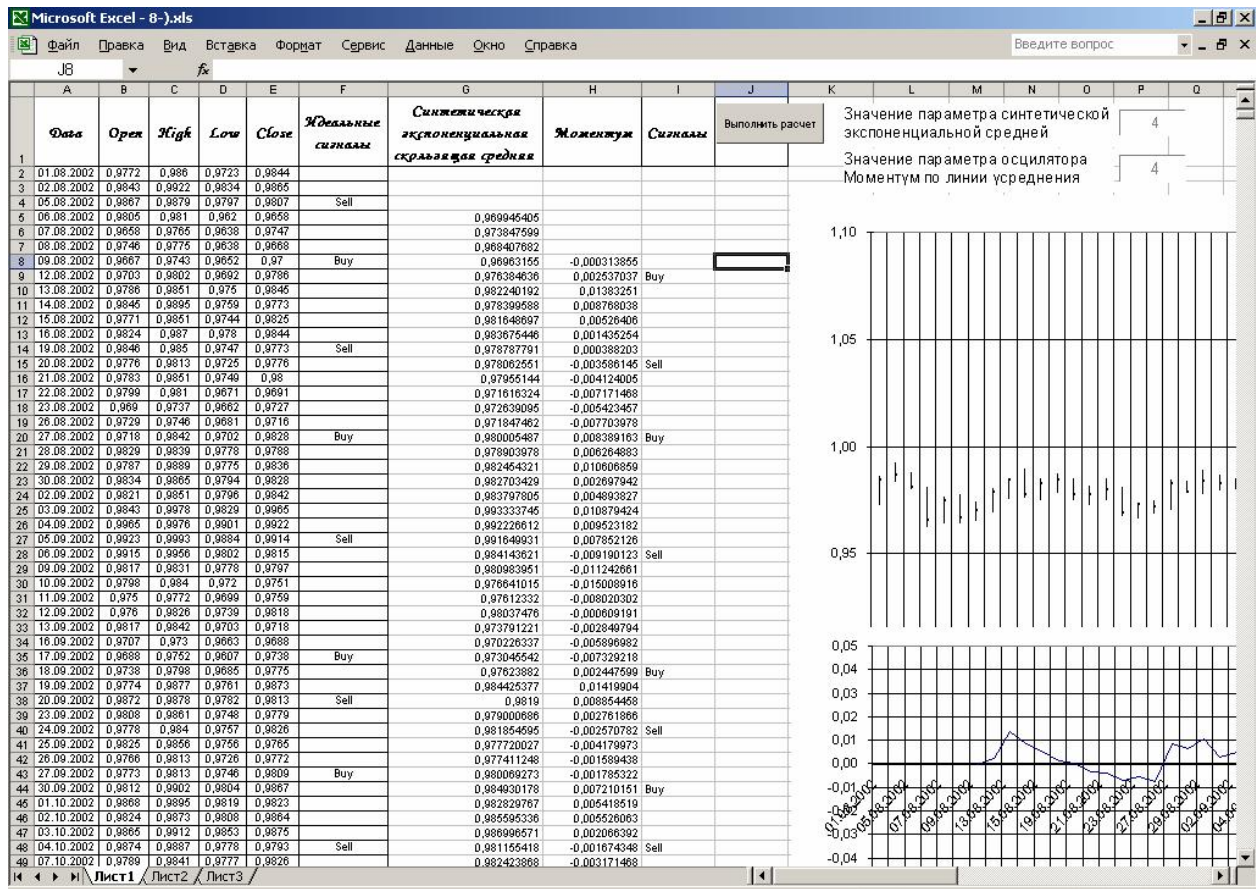


Рис 1. Excel-файл, реализующий алгоритм таблицы.

По нажатию на кнопку «Выполнить расчет» выполняется следующая процедура обработки уровней временного ряда:

Private Sub CommandButton1_Click()

Dim ema1(500) As Variant
Dim ema2(500) As Variant
Dim c(500) As Variant
Const EndCell = 139
On Error GoTo I2:

```

Range("H2:H422").Clear
Range("G2:G422").Clear
Range("i2:i422").Clear

l1:   m = InputBox("Введите параметр m (кратный 4)")
      p = InputBox("Период момента")

      If (m Mod 4) = 0 Then
        TextBox1.Text = m
        TextBox2.Text = p
        For j = 2 To EndCell - (m - 1)
          For i = 1 To m
            c(i) = Cells(j + i - 1, 5)
          Next i
          For g = 1 To (m / 4)
            ema1(1) = c(m)
            For i = 2 To m
              ema1(i) = ema1(i - 1) + (2 / 3) *
(c(m - i + 1) - ema1(i - 1))
            Next i
            ema2(1) = ema1(m)
            For i = 2 To m
              ema2(i) = ema2(i - 1) + (2 / 3) *
(ema1(m - i + 1) - ema2(i - 1))
            Next i
            For i = 1 To m
              c(i) = ema2(i)
              ema1(i) = 0
              ema2(i) = 0
            Next i
            Next g
            l = j + m - 1
            Cells(l, 7) = c(m)

            If j - p + 1 > 1 Then
              Cells(l, 8) = Cells(l, 7) - Cells(l - p
+ 1, 7)
              If Cells(l - 1, 8) = 0 Then
                Cells(l, 9) = "Buy"
              End If
              If Cells(l - 1, 8) > 0 And Cells(l, 8)
<= 0 Then
                Cells(l, 9) = "Sell"
              End If
            End If
          Next j

        Else: MsgBox ("Кратное 4")
              GoTo l1:

```

```

End If
l2:
Exit Sub
End Sub

```

В качестве примера приведем анализ биржевого ценового графика EUR/USD на рынке FOREX за период от 01.08.2002 до 31.01.2003 (6 месяцев). Здесь на рис. 2а приведен ценовой график в виде баров, утолщенной линии соответствует традиционная экспоненциальная скользящая средняя (6) при $m = 12$ ($\alpha \cong 0,1538$). Тонкой линией обозначена «опережающая» синтетическая скользящая средняя, вычисленная по алгоритму таблицы 1 для $m' = 12$ (три прохода «назад-вперед»). На рис. 2б приведен Momentum ($P=4$), который построен с помощью полученной нами опережающей скользящей средней. Пересечение графика Momentum с нулевым уровнем соответствует развороту биржевого ценового графика на рис. 2а.

ВЫВОДЫ

По проведенным выше исследованиям можно сделать следующие выводы:

1. Для выявления трендов временных рядов и ранее использовалось многократное скользящее усреднение [1,2]. Однако его алгоритм отличался от предложенного в данной работе величинами используемых $m \gg m'$, необходимостью иметь достаточно продолжительную реализацию временного ряда. Вредным следствием такого многократного усреднения был известный эффект Слуцкого-Юла [6], приводящий к появлению на выделяемом тренде неустранимой синусоидальной компоненты (эффект подчеркивания коэффициентов автокорреляции высокого порядка). В исходном временном ряде эта компонента отсутствовала.

Такое многократное усреднение к тому же не уменьшало задержки выделяемого тренда относительно временного ряда.

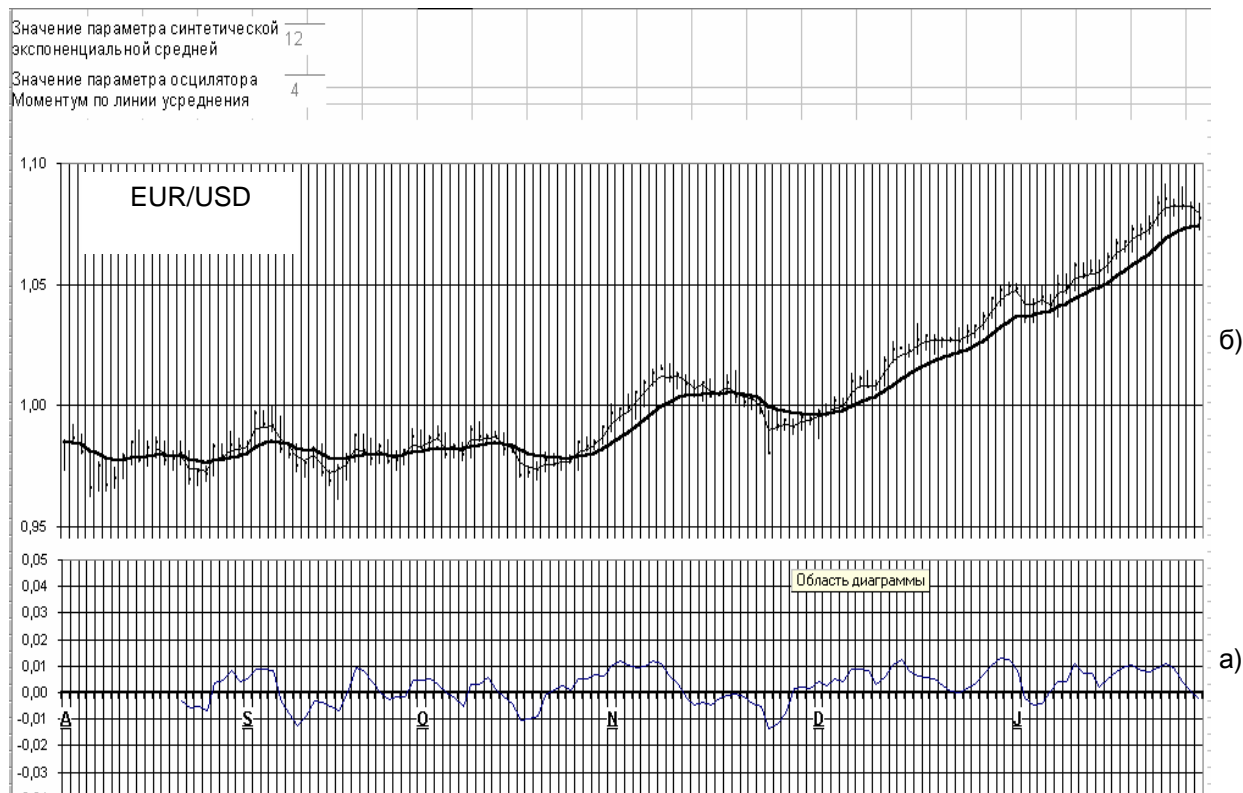


Рис 2. Ценовой график EUR/USD рынка FOREX и его инструменты

2. Предложенное многократное усреднение «назад-вперед», основанное на компенсации фазовой (групповой) задержки ФЧХ алгоритма усреднения, обеспечивает устранение вредного эффекта запаздывания. Кроме того, последовательное во времени чередование направлений усреднения эквивалентно временной декорреляции и оно полностью устраняет эффект Слущкого-Юла, с которым так упорно и плодотворно боролись ранее. Декорреляция к тому же приводит к снижению колеблемости выделяемого тренда (см. рис. 2а).

3. Трудно переоценить эффект снижения временной задержки выделяемых трендов относительно исследуемых временных рядов. Это приведет к эффективности оперативного управления экономическими системами, повышению эффективности прогнозных моделей и другим

положительным эффектам.

4. К недостаткам предложенного метода формирования синтетических скользящих средних следует отнести:

- сложность алгоритмов их формирования, которая может явиться причиной ограничений при управлении на основе быстрых изменений уровней временных рядов;
- ограниченная дискретность ряда возможного формирования синтетических скользящих средних: $m' = 4; 8; 12; 16 \dots$ (кратная 4);
- невозможность использования для этих целей традиционных скользящих средних (простое скользящее усреднение, взвешенное скользящее усреднение), а так же новых – ОЦФ.

5. Исследования алгоритмов синтетических скользящих средних показало,

что они выделяют тренды с меньшей колеблемостью, чем традиционный алгоритм экспоненциального скользящего усреднения при равенстве $m = m'$. Это обусловлено большим количеством независимых отсчетов n , полученных из-за эффекта временной декорреляции, обусловленной частой сменой направления усреднения.

6. При применении известного индикатора Momentum, широко используемого в техническом анализе биржевых ценовых графиков (характеризует скорость изменения во времени цен закрытия) не по традиционному алгоритму, а по значениям полученной в работе синтетической скользящей средней, позволяет значительно уменьшить количество генерируемых с помощью Momentum ложных сигналов входов/выходов в рынок.

Используемый ранее алгоритм традиционного скользящего усреднения Momentum так же способствовал уменьшению ложных управляющих сигналов, но приводил к значительным временным задержкам. Результаты данной работы позволяют свести к нулю эту вредную временную задержку, что существенно увеличивает прибыльность биржевой торговли.

С.С. АПТЕКАРЬ, д.э.н., профессор

А.А. ЯКОВЧЕНКО,

Донецкий национальный технический университет

РАЗВИТИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИХ ОСНОВ МАКРОЭКОНОМИЧЕСКОГО ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ДЛЯ УСЛОВИЙ ПЕРЕХОДНЫХ ЭКОНОМИК

Проведение рыночных реформ в Украине происходит в условиях решения комплекса проблем, таких как спад продуктивности экономики по сравнению с 1990г., значительный размер государственного долга, высокая энерго- и материалоемкость производства; устаревшие оборудование и технологии на большинстве предприятий тяжелой и легкой промышленности, а также в сельском хозяйстве; недостаточное количество рабочих мест и

другие, которые накопились к настоящему времени, и будут иметь место в ближайшей перспективе. Поэтому постоянно необходим глубокий анализ существующего уровня развития национальной экономики и научно-обоснованное предвидение ее состояния в будущем.

В процессе разработки стратегии, направленной на совершенствование эко-

Литература

1. Афанасьев В.Н., Юзбашев М.М. Анализ временных рядов и прогнозирование. – М.: Финансы и статистика, 2001. – 228с.
2. Четыркин Е.М. Статистические методы прогнозирования. – М.: Статистика, 1977. – 199с.
3. Смирнов А., Михайлов С. Выбор типа скользящих средних. – М.: //Валютный спекулянт. - №07(45). – 2003. – С.50-55.
4. Кобринский Н.Е. Информационные фильтры в экономике. (Анализ одномерных рядов). – М.: Статистика, 1978. – 287с.
5. Сергиенко А.Б. Цифровая обработка сигналов. – СПб.: Питер. – 2002. – 608с.
6. Кендалл М., Стьюарт А. Многомерный статистический анализ и временные ряды: Пер. с англ.: - М.: Наука, 1976. – 736с.

Статья поступила в редакцию 20.05.2004