

**ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ ім. І. І. МЕЧНИКОВА**

На правах рукопису

КУДАШКІНА ЛАРИСА СЕРГІЇВНА

**ХАРАКТЕРИСТИКИ ДОВГОПЕРІОДИЧНИХ
ЗМІННИХ ЗІРОК - ДЖЕРЕЛ
КОСМІЧНОГО МАЗЕРНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ**

Спеціальність 01.03.02 – астрофізика, радіоастрономія

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

**дисертації на здобуття вченого ступеня
кандидата фізико-математичних наук**

ОДЕСА-1997

Роботу виконано в астр
Одеського державного університету



00751082 (N)

Науковий керівник: доктор фіз.-мат. наук, професор
Іван Леонідович Андронов

Офіційні опоненти: доктор фіз.-мат. наук, професор
Дмитро Олександрович Варшалович
кандидат фіз.-мат. наук

Олег Юхимович Мандель

Провідна організація: Астрономічна обсерваторія
Львівського університету

Захист відбудеться "27" 06 1997 г.
о 14 годині

на засіданні спеціалізованої ради К 05.01.10 при
Одеському державному університеті ім. І. І. Мечни-
кова

(270100, г. Одеса, вул. Петра Великого, 2, ОДУ)

З дисертацією можна ознайомитись у науковій бібліотеці
Одеського університету (вул. Преображенська, 24).

Автореферат розісланий "28" 05
1997 р.

Вчений секретар
спеціалізованої ради
доктор фіз.-мат. наук

О. В. ЗАТОВСЬКИЙ

Загальна характеристика роботи

Актуальність теми дослідження.

Дослідження довгоперіодичних змінних зірок є актуальним, тому, що вони є заключна стадія зоряної еволюції і попередники планетарних туманностей. Більш ніж у трьохсот зірок було знайдено мазерне випромінювання гідроксилу, а у сотні зірок типу Міри Кита знайдено мазерне випромінювання молекул води та SiO. Усі три види навколозоряного мазеру мають змінність випромінювання. Змінювання їхньої інтенсивності безумовно пов'язане із змінністю зорі, але природа цього зв'язку до кінця не з'ясована. Одержати повну криву блиску міриди технічно дуже складно через періоди коливань, близьких до 1 року та великих амплітуд (5-10 зоряних величин). Спектральні спостереження ускладнені через присутність величезної кількості молекулярних смуг. В результаті цього, основним джерелом одержання кривих блиску служать спостереження у візуальній області спектру, у тому числі і спостереження любителів астрономії. Зібрати розрізнені спостереження, привести їх до єдиної системи, апроксимувати середньою кривою та встановити фізичні закономірності між фотометричними параметрами необхідно для подальшого дослідження процесів, які відбуваються у зірці, що перебуває на пограничній стадії зоряної еволюції.

Метою дисертаційної роботи є:

- якомога найточніший опис кривих блиску зірок типу Міри Кита. Одержання середніх кривих блиску та їх класифікація;

ЛНБ ім. В. Стефаника
АН України

- дослідження періодичності (і мультиперіодичності) напівправильних змінних зір;

- комплексне дослідження довгоперіодичних змінних зір (типу Міри Кита та напівправильних) з використанням різноманітних критеріїв, у тому числі і критерію наявності випромінювання у маєрних лініях OH, H₂O, SiO, з метою з'ясування їх еволюційного статусу серед усіх ДПЗ.

Для здійснення поставленої мети в роботі вирішені такі задачі:

- організовані (і також проведені самостійно) фотометричні спостереження для одержання однорідного матеріалу;

- одержані середні криви блиску, які містять усі наявні у зірок нестационарності і визначено від 15 до 35 параметрів для кожної кривої;

- уточнені періоди зірок типу Міри Кита та виділені усі діючі періоди у напівзмінних;

- досліджено більш 60 кореляцій між фотометричними параметрами, а також одержані залежності між основними характеристиками зірок (періодом, амплітудою, асиметрією) шляхом нанесення зірок на різноманітні діаграми.

Методи дослідження:

Для одержання спостережень використовуються окомірні оцінки блиску за негативами, фотоелектричні спостереження.

Для обробки спостережених даних використовувалися такі методи: апроксимація кривих згладжуючими сплайнами, періодограмний аналіз з використанням гармонічного поліному з автоматичним визначенням числа гармонік, кореляційний аналіз.

Наукова новизна даної роботи полягає у тому, що одержані нові результати, які стосуються:

- фотометричних досліджень довгоперіодичних змінних зірок (вперше одержано атлас середніх кривих блиску зірок типу Міри Кита, запропоновані нові параметри для описання кривих блиску);

- класифікації кривих блиску зірок типу Міри Кита (криві блиску пов'язуються по кільком критеріям на рівні, нижчим з яких є період);

- еволюційного статусу групи довгоперіодичних зірок;

- усереднення фотометричних характеристик напівправильних змінних зірок та їх мультиперіодичності.

Наукова та практична цінність результатів роботи

Результати мають фундаментальний характер и можуть бути використані для уточнення фотометричної класифікації досліджених зірок і в доповненнях до "Загального Каталогу Змінних Зірок", який видається за дорученням Міжнародної Астрономічної Спілки.

Результати також можуть служити одним із спостережних критеріїв при дослідженні процесів моделювання пульсацій довгоперіодичних змінних зірок, їхньої будови та еволюції.

Застосовані математичні методи можуть бути використані в багатьох задачах астрономії.

На захист виносяться:

- атлас середніх кривих блиску 62 зірок типу Міри Кита (по спостереженням із AAVSO Report 38, 1979; апроксимація кривих блиску за період 1000 днів гармонічним поліномом з автоматичним визначенням кількості гармонік);

- дослідження фотометричних характеристик кривих блиску мірид та їхнього еволюційного статусу, і можливості класифікації мірид, що перебувають на різних стадіях еволюції за фотометричними ознаками;

- виявлення нових кореляцій між фотометричними параме-

трами середніх кривих блиску мірид:

- виявлення бімодальності повільного коливання зорі типу RVb U Mon;
- виділення мультиперіодичних складових змінності SR-зірок RX Boo, RT Vir, TW Peg, SV Peg;
- виявлення циклічної змінності тривалості гілок PZ Cas.

Апробація роботи

Основні результати роботи докладались на симпозіумах Міжнародної Астрономічної Спілки NN 131 (Мехіко, Мексика 1987), 155 (Інсбрук, Австрія 1992), 180 (Гронінген, Нідерланди 1996), на колоквіумі Міжнародної Астрономічної Спілки N 106 (Блумінгтон, США 1988), на конференціях молодих вчених (КраО, Київ, Одеса), "Змінні зірки" (Одеса), на 2 з'їзді Української Астрономічної Асоціації (Київ, 1993), на семінарах астрономічної обсерваторії ОДУ.

Publikacii.

За темою дисертації опублікована 25 работ.

Структура і обсяг роботи

Дисертація складається з вступу, чотирьох глав, закінчення, додатків, списку літератури із 115 назв. Робота вміщує 108 сторінок тексту, 55 малюнків та 2 додатки з графіками, всього 235 сторінок.

Короткий зміст роботи

У вступі обговорюється актуальність теми дисертації, визначені задачі роботи і наведено її короткий зміст.

У першій главі наведена загальна характеристика довгоперіодичних змінних зірок, їх положення на діаграмі Герцшпрунга-

Рессела, коротко описана внутрішня будова та еволюція згідно з сучасними теоріями. Розглянута поведінка ДПН зір у всіх діапазонах довжин хвиль, включаючи маєрне випромінювання. Надано огляд фундаментальних та найбільш цікавих досліджень за літературними джерелами. Сформульовані проблеми, пов'язані з самими спостереженнями та їхньою інтерпретацією.

Метою глави є компіляція та систематизація наявного теоретичного та спостережного матеріалу по довгоперіодичним змінним зорям.

У другій главі дисертації криві блиску 62 зір типу Міри Кита, одержані за оригінальними спостереженнями членів AAVSO, згладжуються гармонічним поліномом з автоматичним визначенням кількості гармонік. Для одержаних на інтервалі JD 2442200 – 3600 згладжених середніх кривих обчислюється набір параметрів:

Основні параметри:

P – період

m – кількість гармонік

f – асиметрія кривої блиску

Δm – амплітуда

Додаткові параметри:

r_N — амплітуда гармонік

ϕ_N — фаза гармонік

$r_{N/1}$ – відношення амплітуди даної гармоніки до першої

$\phi_N - \phi_1$ – зсув фази по відношенню до першої

$\phi_N - \phi_{max}$ – фаза гармоніки відносно максимуму блиску

Параметри крутості:

$m_i - dm/dt$, максимальний нахил для висхідної гілки

$m_d - dm/dt$, те ж саме для низхідної гілки

$t_i - dt/dm$, характерна зміна яскравості на 1 величину для висхідної гілки

$t_d - dt/dm$, – те ж саме для низхідної гілки

$m_{is} - (dm/dt)P/(2\pi\Delta m)$, – для висхідної гілки

m_{ds} – те ж саме для низхідної гілки.

В трьох таблицях наводяться характеристики середніх кривих.

Обчислюються кореляції для усіх параметрів. Наводиться матриця коефіцієнтів кореляцій розміром 25×25 . Результати кореляційного аналізу виявляють наявність 62 кореляцій з $\rho/\sigma_\rho > 3$.

11 параметрів корелюють з асиметрією кривої зміни блиску, 9 параметрів – з загальною амплітудою зміни блиску і тільки 8 – з періодом. Цікаво відмітити, що амплітуда 3-ої гармоніки корелює з 9-ма параметрами, в той час коли амплітуда 1-ої гармоніки – тільки з 7-ма. З основних параметрів r_1 та r_2 корелюють з амплітудою та асиметрією кривої блиску, а 3 – тільки з амплітудою, і коефіцієнт ρ_{r_3} в останньому випадку більший (0.79), ніж, наприклад, ρ_{r_2} з амплітудою (0.70).

11 кореляцій показує параметр m_{is} . Наведемо таблицю кореляцій для цього параметру:

m_{is}	P	m	f	Δm	r_1	$r_1 - m_x$
ρ	0.50	0.72	0.63	0.43	0.38	0.56
ρ/σ_ρ	4.4	8.1	6.3	3.7	3.2	4.7

m_{is}	r_2	r_2/r_1	r_3	r_3/r_1	$\phi_3 - \phi_1$
ρ	0.68	0.61	0.43	0.45	0.55
ρ/σ_ρ	6.4	5.3	2.6	2.7	3.4

Малоамплітудні зірки на деяких графіках утворюють окрему послідовність. Наприклад, зірки X Cas ($\Delta m = 1.71^m$), U Cyg ($\Delta m = 3.30^m$), S Cep ($\Delta m = 2.77^m$), V Aur ($\Delta m = 2.40^m$) на графіку P - dt лежать осторонь основної кількості зірок, приблизно на одній прямій. А зірка X Ori, яка має амплітуду 1.34^m , розташовується далеко від усіх зір. В той час як на інших графіках ці зорі нічим не виділяються.

Далі в цій же главі розглядаються гістограми та залежності між основними фотометричними параметрами для 287 зірок. Зорі умовно поділені на чотири групи періодів: $P < 200^d$, $200 < P < 300^d$, $300 < P < 400^d$, $P > 400^d$. Для всіх чотирьох груп періодів найчастіше трапляється значення амплітуди, $6 - 7^m$, що зі збільшенням періоду розкид амплітуд збільшується, до

того ж спочатку з'являються менші значення, а потім – більші. У першій групі зірок із симетричною кривою блиску, $\approx 53.5\%$, у другій – $\approx 42.5\%$, у третій – $\approx 17.5\%$, у четвертій – $\approx 10.4\%$. У маєрів має перевагу асиметрична крива блиску. Висловлюється припущення про еволюцію фотометричних параметрів ДЗЗ і зв'язок із еволюційним статусом зірки.

Метою глави є опис середніх кривих блиску мірид набором параметрів та пошук кореляцій між всіма цими параметрами, поміщення ДЗЗ на двопараметричні діаграми і обговорення залежностей між періодом, амплітудою, асиметрією, спектральним класом, наявністю маєрного випромінювання та еволюційним статусом.

Третя глава присвячена дослідженням індивідуальних зірок SRa, SRb, SRc, RVb типу та Міри Кита за спостереженнями різних авторів, у тому числі і автора дисертації. Для напівправильного надгіганта PZ Cas за 12 моментами екстремумів було вивчено поведінку графіків $O - C$ та тривалість гілок кривої блиску. Якісна подібність ходи ($O - C$) для максимумів та мінімумів показує, що тривалість циклу змінюється, можливо, правильним чином з характерним часом ~ 18 років. Протягом половини цього циклу висхідна гілка коротша нисхідної, а у другій – майже дзеркально симетрична. Для SRb-зорі RX Boo було виділено два незалежних коливання блиску з періодами $P_1 = 179.13 \pm 0.13^d$, $P_2 = 162.42 \pm 0.77^d$. Періодограмний аналіз SRb-зорі RT Vir показав наявність декількох піків, що повторюються у всіх рядах спостережень та змінюються з часом. Наведена таблиця значень періодів, що відповідають локальним максимумам на періодограмі. Для RVb-зорі U Mon досліджено повільне коливання, котре виявилось бімодальним з періодами $P_1 = 2006 \pm 38^d$, $P_2 = 1382 \pm 70^d$. Для SRb-зорі SV Peg знайдені значення періодів, вказані у таблиці:

pG		pV	
317.27 ± 0.24	169.92 ± 0.09	315.95 ± 0.29	169.87 ± 0.10
$r/\sigma_r = 118.4$	$r/\sigma_r = 110.3$	$r/\sigma_r = 165.2$	$r/\sigma_r = 145.6$

Для SRb-зорі TW Peg з допомогою періодограмного аналізу упевнено виявлене коливання з періодом близько 100 днів. Для

SRb-зорі BK Vir знайдено значення періоду, яке дорівнює 264.30 ± 0.47^d .

Далі, в цій же главі вивчаються фотометричні параметри індивідуальних зірок типу Міри Кита. Для 6 мірид (R Cas, R Tau, R Peg, Z Cyg, Y Her, R Leo одержані нові лінійні та параболічні елементи методом усереднення 10 згладжуючих сплайнів з 10 рівномірно розташованими за фазою вузлами (для згладження несправжніх горбів). Параболічний член не є значущим для даних зірок на розглядаємому часовому інтервалі (1957-1984 р. р.). Зорі досліджувались в фотографічних та фотовізуальних променях. Результати затабульовані. Для кожної з 11 зірок типу Міри вивчено 15 залежностей між різними характеристиками кривою блиску. Можна припустити існування таких кореляцій:

- чим більший період між мінімумами, тим більший період між наступними максимумами;
- чим більший попередній період, тим більша амплітуда наступного максимуму;
- чим яскравіший максимум, тим яскравіший за ним мінімум;
- графіки тривалості гілок для зірок T Her, U Her, R Vir, V CrB, R Aql, Z Cyg змінюються в протифазі.

Метою глави є дослідження особливостей поведінки індивідуальних ДЗЗ.

Четверта глава присвячена

вивченню тривалості горбу на висхідній гілці кривої блиску зірок типу Міри Кита. Розглядається зв'язок між цим параметром та часом проходження ударної хвилі такого ж порядку як і середня тривалість горбу у більшості мірид. Докладно розглядається залежність тривалості горбу T від асиметрії кривої блиску. Припускається додатковий критерій поділу мірид по групах з однаковим еволюційним статусом, незалежно від мас зірок, шляхом послідовного розташування їх на діаграмі "T - період", "T - амплітуда", "T - спектральний клас" і т. п.

Основні результати та висновки:

1. Вперше створено атлас середніх кривих блиску зірок типу Міри Кита, в якому представлені 62 зорі з періодами від

~ 130^d до ~ 500^d.

2. Уточнюються основні фотометричні параметри (період, амплітуда, асиметрія) на даному часовому проміжку, обчислено додаткових фотометричних параметрів (усі результати приведені у таблицях). Докладно вивчено асиметрію кривої блиску (крутість гілок) диференціальним методом.

3. Отримані та проаналізовані кореляції між усіма параметрами кривих блиску зірок, приведених у атласі середніх кривих блиску. Показано, що малоамплітудні зірки на деяких діаграмах утворюють окрему послідовність.

4. Збудовані гистограми розподілень мірид за періодом, амплітудою, асиметрією, спектральним класом. Показано, що зірки розподіляються по групах, межі яких у першому наближенні можна визначити по періодах: I- $P < 200^d$, II- $200 < P < 300^d$, III- $300 < P < 400^d$, IV- $P > 400^d$.

5. Одержано залежностей для ДПЗ з рахунком мазерного випромінювання, таких як "період - асиметрія", "амплітуда - асиметрія", "спектр у максимумі - спектр у мінімумі". Проведено порівняння результатів з роботами інших авторів. Пропонується можлива схема еволюції ДПЗ зірок.

6. Вивчена тривалість горбу на висхідній гілці кривої блиску мірид. Виділено 5 послідовностей зірок з залежністю тривалості горбу від асиметрії. Пропонується багаторівневий критерій класифікації усередині групи мірид, який у комплексі з іншими дослідженнями може допомогти виділити зорі з однаковим напрямком еволюції. Показано, що період не є у цьому випадку основним критерієм класифікації.

Основні результати дисертації опубліковані в наступних роботах:

1. Андронов И.Л., Величко Е.В., Кудашкина Л.С., Кукарин А.В., Шамагунов О.А.: "Фотометрическое исследование звезд - мазерных источников. I", Переменные звезды, 1988, т.22, в.5, с. 683-696.
2. Андронов И.Л., Кудашкина Л.С.: "Некоторые результаты

- аппроксимации кривых блеска звезд типа Миры Кита сглаживающими сплайнами", Переменные звезды, 1988, т.22, в.6, с. 923-924.
3. Кудашкина Л.С., Рудницкий Г.М.: "Исследование переменных типа Миры Кита с мазерной эмиссией H_2O ", Переменные звезды, 1988, т.22, в.6, с. 925-927.
 4. Кудашкина Л.С.: "Изменение высоты максимума у звезд типа Миры Кита U Геркулеса, U Ориона, R Льва, R Орла", Переменные звезды, 1988, т.22, в.6, с. 928-929.
 5. Андронов И.Л., Кудашкина Л.С., Романенко Т.В.: "Фотометрические исследования звезд - мазерных источников. II", Переменные звезды 1992, т.23, в.1, с. 23-32.
 6. Андронов И.Л., Кудашкина Л.С.: "О возможных зависимостях между фотометрическими параметрами AGB-звезд и их эволюционным статусом", Кинематика и физика небесных тел, 1994, т.10, в.1, с. 41-44.
 7. Andronov I.L., Kudashkina L.S.: "Semiregular variable RX Bootis: Double-period optical variation of a cosmical maser?", Astronomische Nachrichten, 1988, B.309, N.5, 323-325.
 8. Kudashkina L.S., Rudnitskij G.M.: "Influence of shock waves on the light curves of long-period variables", Одесса Астрон. Публ., 1995, в.7, п. 63-69.
 9. Kudashkina L.S.: "Light curve of PZ Cassiopeiae", Inform. Bull. o Var. Stars, 1985, N 2791.
 10. Andronov I.L., Kudashkina L.S.: "Warum ist die Beobachtung der Maser-Sterne interessant?", Arbeitsk. Veränd. im Kulturbund der DDR Inform., 1987, N121.
 11. Кудашкина Л.С.: "Фотографическое исследование PZ Кассиопеи", Астрон. циркуляр, 1984, N 1351.
 12. Кудашкина Л.С., Гончар О.О., Коротин С.А., Яремчук А.А.: "Фотографические наблюдения R, RT, RR Орла", Астрон. циркуляр, 1985, N 1366.
 13. Кудашкина Л.С.: "Оптическая переменность звезд - источников мазерного излучения между 1980 и 1986 гг.", Астрон. циркуляр, 1988, N 1527, с. 35-36.
 14. Кудашкина Л.С., Рудницкий Г.М.: "Долгопериодические переменные звезды", Земля и Вселенная, 1988, N 2, с. 17-24.

15. Кудашкина Л.С., Рудницкий Г.М.: "Как наблюдать долгопериодические переменные звезды", Земля и Вселенная, 1988, N 5, с. 83-86.
16. Кудашкина Л.С., Рессигер С., Шугаров С.Ю.: "Звезды сравнения для звезд - мазеров RX Волопаса и RT Девы", Астрон. циркуляр, 1989, N 1539, с. 18-19.
17. Кудашкина Л.С., Брюханов И.С., Шукин В.В.: "Полуправильная переменная PZ Кассиопеи снова меняется", Астрон. циркуляр, 1993, N 1554, с. 25-26.
18. Кудашкина Л.С., Брюханов И.С., Шукин В.В.: "Наблюдения звезд U Нег и R Leo с 1989 по 1991 гг.", Астрон. циркуляр, 1993, N 1555, с. 13-14.
19. Кудашкина Л.С.: "Статистические зависимости между фотометрическими параметрами звезд типа Миры Кита по данным Общего Каталога Переменных Звезд", Деп.УкрНИИНТИ N 1368-Ук90, 1990, с. 1-19.
20. Андронов И.Л., Венцель В., Кудашкина Л.С.: "Полуправильная переменная RT Девы", в сб. "Проблемы астрономии", часть 4, 1990, Деп.УкрНИИНТИ N 1432-Ук90, с. 22-33.
25. Andronov I.L., Kudashkina L.S., Pikhun A.I., Brjuchanov I.S., Shchukin V.V. Two interesting variables.- I.A.P.P.P. Comm., 1995, 59, 15.

Кудашкина Л.С. Характеристики долгопериодических переменных звезд - источников космического мазерного излучения (рукопись).

Диссертация на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.03.02 - астрофизика, радиоастрономия, Одесский государственный университет им. И.И.Мечникова, Одесса, 1997.

В работе получен атлас средних кривых блеска 62 звезд типа Миры. Вычислены корреляции между 25 фотометрическими параметрами для этих звезд. С помощью периодограммного анализа изучены мультипериодические колебания 6 полупра-

вильных переменных звезд. Исследовано положение долгопериодических переменных звезд на двухпараметрических диаграммах с учетом наличия у них мазерного излучения. Получены зависимости некоторых фотометрических параметров звезд типа Миры от продолжительности горба.

Kudashkina L.S. The Characteristics of the Longperiodic Variable Stars of the Cosmical Maser Emission Sources (manuscript).

For 62 Mira-type stars the atlas of the mean light curves has been obtained. New parameters of the light curves are calculated. New correlations have been calculated between all these parameters. 7 SR-type and 15 Mira-type stars were studied in detail. Some dependences between photometrical parameters for LPV stars are obtained, the duration of hump versus asymmetry is studied and the new ways of the classification of the LPV stars are proposed.

Ключові слова: довгоперіодичні змінні зірки, фотометричні параметри, кореляція, діаграма, мазерне випромінювання, крива блиску, періодограма, еволюція.

1. Kudashkina L.S. "Light curves of 62 Mira-type stars", *Journal of Astrophysics and Space Sciences*, 1985, N 279.

2. Kudashkina L.S. "Correlations between photometrical parameters of LPV stars", *Journal of Astrophysics and Space Sciences*, 1987, N 121.

3. Kudashkina L.S. "On the classification of LPV stars", *Journal of Astrophysics and Space Sciences*, 1985, N 135.

4. Kudashkina L.S. "On the correlation between the duration of hump and asymmetry of LPV stars", *Journal of Astrophysics and Space Sciences*, 1985, N 135.

5. Kudashkina L.S. "On the classification of LPV stars", *Journal of Astrophysics and Space Sciences*, 1985, N 135.

№ 58150 А

Підписано до друку 26.05.97.

Обсяг 1,0 друк.арк.

Формат 60x84I/16.Зам.510.

Тираж 100.000 ОУС.

432962

Ав 38.150

изменяемых параметров
ризмических переменных
граммал - унгом каде

ченк зависимости некоторых фотометрических параметров
этих типа Марс от продолжительности горба.

Kudashina L.S. - The Characteristics of the Longperiodic
Variable Stars of the Comical Mass Emission Sources (manuscript)

For 62 Mira-type stars the atlas of the mean light curves has been
obtained. New parameters of the light curves are calculated. New
correlations have been calculated between all these parameters.
7 SR-type and 15 Mira-type stars were studied in detail. Some
dependences between photometrical parameters for LPV stars are
obtained, the duration of hump versus asymmetry is studied and
the new ways of the classification of the LPV stars are proposed.

Ключевые слова: долгопериодические переменные звезды, фотометрические
параметры, корреляции, диаграмма, зависимость продолжительности горба
от асимметрии, периодическая диаграмма, классификация.

Получено 28.05.87
Объем 1, 0 д.л. в.л.
Формат 80x110/16 Зам. 210
Тираж 100, 000 экз.