



Профессор Аладьев В.З. родился 14 июня 1942 в городе Гродно (Белоруссия). В настоящее время он является Первым вице-президентом Международной Академии Ноосферы (МАН) и академиком-секретарем Балтийского отделения МАН, его научные результаты получили международное признание, прежде всего, в области математической теории однородных структур (клеточных автоматов). Он – член ряда российских и международных Академий. Аладьев В.З. – автор более 400 научных публикаций, включая 70 книг и монографий, изданных во многих странах.

Хорошо известны его книги по системам компьютерной алгебры, включая оригинальные программные средства. Он участвует в качестве члена оргкомитета и/или приглашенного лектора на многих международных научных форумах по математике и кибернетике, является членом редколлегии ряда международных научных изданий.



В книге рассматриваются основы теории классических однородных структур (ОС), представляющей собой базовую компоненту общей теории ОС (СА) – новую и перспективную среду моделирования многих дискретных параллельных процессов и явлений в различных областях современного естествознания. В значительной степени данная проблематика представляет собой новую междисциплинарную область, начинающую играть все возрастающую роль во многих модельных приложениях, включая стратегически важные направления.

ОС представляют особый интерес в теории абстрактных автоматов именно с точки зрения их структурного аспекта, организация которых обеспечивает целый ряд важных качественных характеристик, представляющих теоретический и, прежде всего, прикладной интерес. Теория ОС имеет весьма широкий круг приложений как в ряде разделов математики, так и в более прикладных областях. ОС-концепция может служить прекрасной основой в разнообразных задачах, благодаря чему вполне возможно их применение в различных научных и прикладных исследованиях, а именно, в математике, кибернетике, физике, синергетике, вычислительных науках, теоретической и математической биологиях и целом ряде других естественно-научных направлений.

*Published by Fultus Corporation
www.fultus.com*



В.З. Аладьев

Классические однородные структуры. Клеточные автоматы

В.З. Аладьев

Классические однородные структуры Клеточные автоматы

Монография

В.З. Аладьев

**Классические однородные структуры
Клеточные автоматы**



Fultus™ Books



Classical Homogeneous Structures Cellular Automata

by

V. Z. Aladjev

ISBN 1-59682-137-X

Copyright © 2009 by Aladjev Victor Zacharias

All rights reserved.



Published by Fultus Publishing

Publisher Web Site: www.fultus.com

Fultus eLibrary: elibrary.fultus.com

Online Book Superstore: store.fultus.com

Writer web site: writers.fultus.com/aladjev/



No part of this book may be used or reproduced in any manner whatsoever without written permission except
in the case of brief quotations embodied in reviews and critical articles.

The author and publisher have made every effort in the preparation of this book to ensure the accuracy of the information.
However, the information contained in this book is offered without warranty, either express or implied. Neither the author nor the publisher nor any dealer or
distributor will be held liable for any damages caused or alleged to be caused either directly or indirectly by this book.

Оглавление

Список принятых сокращений.....	7
List of the adopted abbreviations	8
Предисловие	9
Введение.....	19
Глава 1. Базовая концепция однородных структур	26
1.1. Основные понятия, определения и обозначения.....	26
1.2. Основные типы однородных структур.....	47
1.3. Архитектура теории однородных структур и ее приложений	72
1.4. Аппарат исследований в теории однородных структур.....	81
Глава 2. Проблема неконструируемости в классических однородных структурах	92
2.1. Предварительные сведения по проблематике	92
2.2. Типы неконструируемости в классических ОС-моделях.....	94
2.3. Критерии существования в классических ОС-моделях основных типов неконструируемости	120
2.4. Алгоритмические аспекты проблемы неконструируемости и связанные с нею вопросы динамики классических ОС-моделей	140
2.5. Суръективность и инъективность глобальных параллельных отображений в ОС-моделях.....	148
2.6. Некоторые специальные вопросы проблемы неконструируемости в классических ОС-моделях.....	149
2.7. Особенности проблемы неконструируемости для конечных классических однородных структур	155
2.8. Вопросы обратимости динамики классических однородных структур	160
2.9. Особенности проблемы неконструируемости для однородных структур на разбиении	171
Глава 3. Экстремальные конструктивные возможности классических однородных структур	179
3.1. Универсальные конечные конфигурации в классических ОС-моделях	179
3.2. Самовоспроизводящиеся конечные конфигурации в классических ОС-моделях.....	187
3.3. Универсальные и самовоспроизводящиеся конечные конфигурации для однородных структур на разбиении	209
Глава 4. Проблема сложности конечных конфигураций в классических однородных структурах	215
Глава 5. Параллельные формальные грамматики и языки, определяемые однородными структурами (классическими и других типов ОС-моделями)	229
5.1. Основные свойства параллельных языков, определяемых классическими однородными структурами (классическими ОС-моделями).....	230
5.2. Параллельные грамматики, определяемые ОС-моделями, и формальные грамматики других известных классов и типов.....	236
5.3. Параллельные грамматики, определяемые недетерминированными однородными структурами	241
5.4. Алгоритмические проблемы теории параллельных грамматик, определяемых классическими однородными структурами	244

Глава 6. Проблема моделирования в классических однородных структурах и связанные с ней вопросы	251
6.1. Понятия моделирования в классических однородных структурах	252
6.2. Моделирование классическими однородными структурами известных формальных алгоритмов переработки конечных слов	261
6.3. Моделирование классических однородных структур структурами из того же класса формальных объектов	272
6.4. Специальные вопросы моделирования в классических однородных структурах, связанные с их динамическими свойствами	288
6.5. Формальные параллельные алгоритмы, определяемые классическими одномерными однородными структурами	310
6.6. Программное обеспечение и аппаратура для симулирования классических ОС-моделей	316
Глава 7. Проблема декомпозиции глобальных функций перехода в классических ОС-моделях	330
7.1. Декомпозиция специальных глобальных функций перехода в классических ОС-моделях	331
7.2. Некоторые подходы к решению общей проблемы декомпозиции глобальных функций перехода	335
7.3. Проблема сложности глобальных функций перехода в классических ОС-моделях и вопросы ее алгоритмической разрешимости	344
7.4. Проблема сложности глобальных функций перехода в классических ОС-моделях	357
7.5. Специальные вопросы исследований в ТОС-проблематике	360
Глава 8. Некоторые прикладные аспекты ОС-проблематики	371
8.1. Некоторые аспекты использования ОС-моделей в математике	372
8.1.1. Решение одной комбинаторной проблемы Г. Штейнгауза	374
8.1.2. Решение одной проблемы С. Улама из теории чисел	376
8.1.3. Алгебраическая система для полиномиального представления локальных функций перехода в классических ОС-моделях	379
8.2. Некоторые аспекты использования ОС-моделей в биологических науках	381
8.2.1. Основные предпосылки модельного подхода в биологии развития	381
8.2.2. Формальные дискретные модели процесса самовоспроизведения биологических систем	385
8.2.3. Формальное моделирование процессов роста в среде однородных структур различных типов	389
8.2.4. Формальные ОС-модели дифференциации, регуляции и регенерации в биологии развития	392
8.2.5. Сравнительный анализ ОС-моделей и L-систем как формального дискретного аппарата модельных исследований в биологических науках	399
8.3. Вопросы использования ОС-моделей в вычислительных науках	406
8.4. Некоторые другие области приложений однородных структур различных типов	422
Заключение	461
Summary of the General Results	465
Литература	509
Об Авторе: Аладьев Виктор Захарович	534

*Посвящается
моим жене Галине,
дочери Светлане,
внукам Артуру и Кристо*

Список принятых сокращений

<i>d</i>-ОПДФ	- обобщенная проблема декомпозиции <i>d</i> -мерных глобальных функций
<i>d</i>-ОС	- <i>d</i> -мерные однородные структуры
<i>d</i>-ПДФ	- проблема декомпозиции <i>d</i> -мерных глобальных функций перехода
АГ	- асинхронная грамматика
ВБ	- внутренний блок
ВС	- вычислительные системы
ВСКФ	- взвимо стираемые конфигурации
ГФП	- глобальная функция перехода
ДПДС	- дискретная параллельная динамическая система
ИСГ	- изотонная структурная грамматика
КБД	- картинные базы данных
КФ	- конфигурация (<i>конфигурации - в зависимости от контекста</i>)
КФФ	- конфигурация Французского флага
ЛБФ	- локальная блочная функция
ЛФП	- локальная функция перехода
МТ	- машина Тьюринга
МТ^s_q	- машина Тьюринга с <i>s</i> символами на ленте и <i>q</i> состояниями
НКА	- недетерминированный конечный автомат
НКФ	- неконструируемые конфигурации
ОВС	- однородные вычислительные системы и среды
ОПДФ	- обобщенная проблема декомпозиции глобальных функций перехода
ОПС	- общая проблема синхронизации
ОС	- однородные структуры (<i>ОС-модели</i>)
ОС_nP	- однородные структуры на разбиении (<i>с индексом соседства Марголуса</i>)
ОСП	- однородные структуры с памятью
ОСР	- однородные структуры с рефрактерностью
ПВМ	- параллельные вычислительные модели
ПГ	- параллельная грамматика
ПДФ	- проблема декомпозиции глобальных функций перехода
ПК	- персональный компьютер
ПООС	- последовательность однозначно определенных сумм
ПОР	- проблема ограниченного роста
ПП	- параллельные подстановки
ППГ	- параллельные пространственные грамматики
ПППГ	- параллельные программируемые пространственные грамматики
ПФФ	- проблема Французского флага
СКА	- системы компьютерной алгебры
ССП	- система продукции Поста
ТОС	- теория однородных структур
ТТГ	- Таллиннская Творческая Группа
ТФГ	- теория формальных грамматик
УКФ	- универсальные конфигурации
УМТ	- универсальная машина Тьюринга
ШС	- шаблон соседства
ЭВМ	- электронно-вычислительная машина
ЯПП	- язык параллельных подстановок

List of the adopted abbreviations

∞ -MEC	- infinite mutually erasable configurations
AI	- Artificial Intelligence
AS	- algebraic system
CA	- cellular automata (<i>CA-models</i>)
CF	- configurations
d -GDP	- d -dimensional global decomposition problem
d -GLDP	- d -dimensional generalized global decomposition problem
d -HS	- d -dimensional homogeneous structures
d -HSM	- d -dimensional homogeneous structures with memory
d -HSR	- d -dimensional homogeneous structures with refractivity
ESP	- elementary symmetrical polynomials
FA	- functional algorithm
FGT	- formal grammar theory
GDP	- global decomposition problem
GLDP	- generalized global decomposition problem
GLHS	- generalized linear classical d -HS
GTF	- global transition function
HS	- homogeneous structures (<i>HS-models</i>)
HSR	- homogeneous structures with refractivity
IAN	- International Academy of Noosphere
IB	- internal block
LRA	- locally realizable algorithms
LTF	- local transition function
MEC	- mutually erasable configurations
MTOHS	- mathematical theory of homogeneous structures
MT^s_q	- Turing machine with s symbols on a tape and q states
NCF	- nonconstructible configurations (<i>Garden-of-Eden configurations</i>)
NCF-1	- nonconstructible configurations of type 1
NCF-2	- nonconstructible configurations of type 2
NCF-3	- nonconstructible configurations of type 3
NI	- neighborhood index of d -HS
NT	- neighborhood template of d -HS
PADHS	- parallel algorithms defined by the classical d -HS
PC	- personal computer
PCF	- passive configurations
RANS	- Russian Academy of Natural Sciences
SRC	- self-reproducing configurations in the Moore sense
SUDS	- sequence of uniquely defined sums
TRG	- Tallinn Research Group
TWPM	- two-way pushdown machines
UCF	- universal configurations
UHS	- universal homogeneous structures
UMT	- universal Turing machine
VCF	- vanishing configurations

Предисловие

Основные современные тенденции развития перспективных архитектур высокопараллельной вычислительной техники (ВТ), проблемы моделирования дискретных параллельных процессов, теория параллельных дискретных динамических систем, дискретная математика и синергетика, задачи искусственного интеллекта и робототехники, параллельная обработка информации и алгоритмы, физическое и биологическое моделирование, а также целый ряд других важных предпосылок в различных областях современного естествознания определяют в последние годы новый подъем интереса к различного типа формальным клеточным моделям, исповедующим высокопараллельный образ действия, важнейшими из которых являются *однородные структуры* (ОС; основной синоним – *клеточные автоматы*; в англоязычной терминологии соответственно – *Homogeneous Structures* и *Cellular Automata*). За время, прошедшее после выхода в свет монографий и сборников статей [1,3,4,5,7-10,15,45,53-57,75,82,83,143,145,146,152-157,171,173,175,197,304,408,467], посвященных различным теоретическим и прикладным аспектам ОС-проблематики (*это прежде всего относится к работам* [1,5,8,9,90,134,141,144,145,146,169,164,186,293]), достигнут определенный прогресс в этом направлении, что связано, прежде всего, с успехами теоретического характера, существенным расширением сферы приложений ОС-моделей (*главным образом, в информатике и кибернетике, физике, биологии, вычислительных науках*) и значительным увеличением количества исследователей в данной области. Наряду с этим, в США, Японии, Великобритании, Германии и Эстонии появился целый ряд монографий и сборников, обобщающих и суммирующих итоги развития тех или иных направлений теории ОС (ТОС) и ее многочисленных приложений во многих областях. Наши монографии [1,3,5,8,10] на содержательном уровне представили обзор основных результатов по ТОС-проблематике, полученных *Таллиннской Творческой Группой* за 30-летний период ее научно-прикладной деятельности, исключая десятилетний перерыв (1997–2006), обусловленный активной работой над системами компьютерной математики такими, как *MathCAD, Reduce, Mathematica* и *Maple*.

С теоретической точки зрения понятие *клеточных автоматов* (*Cellular Automata, shortly CA*) было введено в конце 1940-х *Дж. фон Нейманом* с подачи *С. Улама* в качестве формальных моделей самовоспроизведения организмов. При этом изученные ими структуры были, главным образом, 1- и 2-мерными, хотя рассматривались и более высокие размерности. Вопросы универсальности вычислений наряду с другими теоретическими вопросами поведения данного типа клеточных структур также не были упущены из вида. СА-модель *Дж. фон Неймана* получила дальнейшее развитие в работах его непосредственных последователей, чьи результаты вместе с законченной и отредактированной работой самого *Джона фон Неймана* были изданы *А.В. Берксом* [124,128]. Дальнейшее развитие и широкая популяризация СА-проблематики связаны с именами таких исследователей как *В.З. Аладьев, S. Amoroso, E. Banks, J. Buttler, E. Codd, S. Cole, G. Hedlund, G. Herman, J. Holland, M. Kimura, Y. Kobuchi, A. Maruoka, E.F. Moore, J. Myhill, H. Nishio, T. Ostrand, A. Smith, T. Yaku, H. Yamada, A. Waksman* и некоторых других, работы которых в 1960-х – 1970-х привлекли внимание к данной проблематике с теоретической точки зрения, а также решили и сформулировали целый ряд достаточно интересных проблем [5,536]. Впоследствии математики, физики и биологи начали изучать и использовать клеточные автоматы (*однородные структуры*) для различного рода проблем моделирования в своих собственных областях исследования. Мы лично познакомились с СА-проблематикой в 1969 г., благодаря русскому переводу прекрасного сборника трудов под ред. *Р. Беллмана* [123], содержащего также ныне хорошо известные работы классиков и родоначальников данного направления *Э.Ф. Мура, Дж. Майхилла* и *С. Улама*.

С более практической точки зрения и игрового эксперимента СА-модель заявила о себе в конце 1960-х, когда Дж. Х. Конуэй представил хорошо известную теперь игру «Life». Игра стала весьма популярной через рубрику М. Гарднера в журнале *Scientific American* и привлекла внимание к СА-проблематике как многочисленных ученых из различных областей, так и любителей [5,239]. Первоначальной целью этой игры было запрограммировать весьма простой набор правил для изучения макроскопического поведения популяций. Критерий для отбора правил был основан на том принципе, что рост или распад популяции не должны быть легко предсказуемыми. На сегодня игра «Life», вероятно, самая известная ОС-модель; при этом, она обладает способностью к самовоспроизведению так же, как вычислительной универсальностью. Универсальность игры была доказана Дж. Конуэем, показавшим, что универсальная машина Тьюринга может быть погружена в игру «Life», т.е. работа машины Тьюринга имитируется пространственно-временной динамикой такой СА-модели. Позже был предложен весьма простой способ реализовать любую булеву функцию в конфигурациях игры «Life» [536]. Таким образом, даже такая очень простая ОС-модель оказалась эквивалентной универсальной машине Тьюринга. К данной ОС-модели не пропадает значительный интерес и до настоящего времени.

Однородные структуры (ОС) представляют особый интерес в теории абстрактных автоматов и именно с точки зрения их *структурного* аспекта (как *регулярных сетей идентичных элементарных автоматов, взаимосвязанных локальным образом*), структурная организация которых обеспечивает целый ряд важных качественных характеристик, представляющих теоретический и, пожалуй, в большей степени прикладной интерес. Теория *однородных структур* имеет весьма широкий круг приложений как в ряде разделов математики, так и в более прикладных областях. Понятие ОС может служить прекрасной модельной средой в самых разнообразных задачах, благодаря чему вполне возможно их применение в различных научных и прикладных исследованиях.

В настоящее время ОС-модели исследуются со многих точек зрения и взаимосвязь такого типа однородных структур с уже существующими проблемами обнаруживаются постоянно. В целях общего ознакомления с обширной СА-проблематикой в целом и с ее отдельными основными направлениями рекомендуется обратиться к интересным и разноплановым обзорным работам таких исследователей, как В. Аладьев, V. Cimagalli, K. Culik, D. Hiebeler, A. Lindenmayer, A. Smith, P. Sankar, M. Mitchell, T. Toffoli, R. Volmar, S. Wolfram и др. [536]. Ряд книг и монографий таких авторов, как В.З. Аладьев, А. Адаматский, Е. Codd, А. Ильяшинский, М. Duff, M. Garzon, M. Duff, P. Kendall, S. Wolfram, В. Кудрявцев, N. Margolus, T. Toffoli, O. Martin, K. Preston, B. Voorhees, M. Sipper, R. Vollmar и некоторых других также содержат некоторые исторические экскурсы в ОС-проблематику; к сожалению, единой точки зрения на исторический аспект по данному вопросу не существует [5,536]. Наконец, библиография, представленная в [163,185,187,255,336,496,516-519, 536], содержит довольно много очень полезных ссылок на работы по СА-проблематике, включая ее многочисленные прикладные аспекты. Данная библиография весьма полезна, прежде всего, начинающим исследователям в этой области.

Между тем, рассматривая исторический аспект СА-проблематики, мы не должны забывать того вклада, который привнесли в данную проблематику пионерские работы К. Цузе, и с которыми мировое научное сообщество ознакомилось достаточно поздно и даже зачастую без упоминания его в данном историческом аспекте. При этом, К. Цузе не только создал первые *программируемые компьютеры (1935 - 1941)* и изобрел первый высокоуровневый язык программирования (1945), но был также и первым, кто ввел идею *Rechenender Raum (вычислимые пространства)* [126,188,423], другими словами – *клеточные автоматы (однородные структуры)* в современной терминологии. Только много лет спустя подобные идеи были переизданы, популяризировались и развивались в работах других авторов таких, как Э. Фредкин, Т. Тоффоли, С. Вольфрам и т.д. [536].

С самого начала наших научных исследований в 1969 по ТОС и ее приложениям, прежде всего, в математической биологии развития постепенно была сформирована неформальная *Таллиннская*

творческая группа (ТТГ), включающая исследователей из целого ряда крупных научных центров бывшего Союза. Состав *ТТГ* не являлся строго определенным и изменялся в довольно широких пределах в зависимости от тематики исследуемых проблем. Полная библиография работ *ТТГ*, включая работы по *ТОС*-проблематике, может быть найдена в монографиях [1,3,5,7,10]. Там же представлена обширная библиография работ и других исследователей, внесших существенный вклад в развитие теоретических и прикладных аспектов данного направления современной математической кибернетики, выходящего на уровень *междисциплинарного* предмета. Весьма обширная библиография к настоящей книге содержит наиболее доступные как наши работы, содержащие основные, полученные *ТТГ*, результаты по *ТОС*-проблематике, а также целый ряд наиболее известных зарубежных работ в данном направлении. В книгах [1,7,9,10] представлен анализ деятельности *ТТГ* за 30-летие ее активности, который может быть поучительным и для исследования динамики развития *ТОС*-проблематики как научного направления в целом.

В настоящее время *ТОС* интенсивно развивается очень большим коллективом исследователей во многих странах мира и, прежде всего, в США, Германии, Италии, Франции, Японии, Венгрии и Великобритании. Сформировался целый ряд исследовательских групп в указанных странах. До последнего времени весьма активная научная деятельность в этом направлении проводилась и в Эстонии в рамках *ТТГ* (*впоследствии Балтийского отделения Международной Академии Ноосферы*), целый ряд пионерских результатов которой получили международное признание и составили достаточно существенную часть современной *ТОС*.

Ежегодно проводятся национальные и международные научные форумы различного уровня по *ТОС* и ее прикладным аспектам. Из года в год растет количество публикаций в различных как периодических, так и непериодических изданиях (*в США с 1987 г. по этой проблематике издается специальный журнал «Complex Systems»*), специальных монографий, книг, трудов конференций и сборников статей, разрабатываются национальные программы по *ТОС*-проблематике [121], что с полным основанием позволяет говорить о постоянно растущем интересе к этой проблематике. Наряду с этим, *ТОС* представляет собой достаточно хорошо развитую самостоятельную часть общей теории абстрактных автоматов со своими методами, проблематикой и приложениями. Много вопросов *ТОС*-проблематики решено, но еще значительное число остается открытыми или находится на различных стадиях решения. Оформлением *ТОС* в качестве самостоятельного научного направления явилось определение для нее с 1979 г. специального индекса *68Q80* в *AMS* (*международной предметной классификации Американского математического общества*), выделение специального раздела в Математических энциклопедиях [119,443], активные попытки создания развитой классификации направлений в *ОС*-проблематике [120], а также создание под эгидой *IIP* международной рабочей группы по однородным структурам (*клеточным автоматам*). С 1987 *ОС*-проблематика все шире представляется на международных конференциях (*США, Германия*) по математическому и компьютерному моделированию как пленарными, так и секционными докладами. Пользователи компьютерной сети *Internet* имеют доступ к информации по данной проблематике по ключевым фразам «*cellular automata*», «*однородные структуры*», «*клеточные автоматы*», включая и такие вопросы как исследовательские группы, библиография, научные форумы, отдельные работы и другие важные аспекты *ТОС*-проблематики.

В предыдущих работах мы исследовали различные аспекты математической *ТОС* и многих ее приложений, главным образом, в математической биологии развития, вычислительной технике, информатике и математике. Проблематика исследованных нами вопросов достаточно обширна и в значительной мере охватывает основные направления исследований современной *ТОС* и ее многочисленных приложений. Читателю, заинтересованному этой тематикой, рекомендуются работы из приведенной весьма обширной литературы, в свою очередь содержащие достаточно обширную библиографию по рассматриваемой *ТОС*-проблематике. В данной монографии ряд фундаментальных проблем математической *ТОС* рассматривается на примере *классических ОС*,

представляющих собой не только формальную модель параллельных вычислений аналогично тому, как машины Тьюринга, машины и системы Productions Поста, алгоритмы Маркова и др. представляют собой формальные модели последовательных вычислений, но и составляющих основу всей *ОС*-концепции в целом. Таким образом, рассматриваемая в данной книге тематика представляет интерес и для теории вычислимости, предлагая, вместе с тем, весьма прозрачную и простую модель как для освоения концепции и основных фундаментальных понятий, так и результатов современной *ТОС*-проблематики в целом.

Предлагаемая читателю монография носит вполне доступный характер и в ней во многом на содержательном уровне рассматриваются базовая концепция классической *ОС*-модели, основы ее теории и прикладные аспекты *ОС*-проблематики. При этом, рассмотрение основывается на классической *ОС*-модели размерностей 1 и 2, позволяя (*не нарушая общности*) неискушенному читателю легче войти в проблематику предмета, не отвлекаясь на излишние громоздкость и сложность. В качестве *базовой* выбрана именно классическая *ОС*-модель, составляющая основу либо непосредственный прототип всех наиболее известных *ОС*-подобных моделей (*клеточные процессоры и структуры, однородные вычислительные среды, систолические структуры, нейронные и итеративные сети и т.д.*) и не требующая специальных знаний из ряда разделов математики, кибернетики и др. Более того, теория классических *ОС*-моделей на сегодня является наиболее исследованной и развитой как вполне самостоятельного математического раздела. И вместе с тем, знакомство с классической *ОС*-моделью составляет основу формирования так называемого «*параллельного образа мышления*» с последующим освоением подобных ей высокопараллельных дискретных систем (*недетерминированные, стохастические ОС-модели и т.д.*).

Учитывая обширность материала, объем книги и преследуемые цели, настоящая книга носит в значительной степени обзорный характер и написана скорее на содержательном уровне, чем в виде строгих математических формулировок, но не в ущерб внутренней строгости изложения. Представленные в книге результаты и соображения по мере возможности не требуют серьезной математической подготовки и не превышают уровня сведений в объеме программ университетов физико-технического профиля по курсу математики. Данный подход позволяет существенно проще осознать суть и концепции предлагаемой проблематики, не отвлекаясь на отдельные технические вопросы, присущие сугубо методологии самой *ТОС*-проблематики. Рассмотренные ниже фундаментальные проблемы охватывают, практически, *базовый уровень* теории и вводят начинающего читателя в *ТОС*-проблематику, представляющую собой вполне самостоятельную ветвь общей теории бесконечных абстрактных автоматов с весьма специфической внутренней организацией и ныне носящую *междисциплинарный* характер.

Современный рост интереса к *ОС*-проблематике обусловлен возможностями ее эффективного применения в двух определяющих направлениях: (1) *формальная модель высокопараллельной обработки информации во всей ее общности* и (2) *удобная среда моделирования разнообразных естественных и искусственных дискретных систем, процессов и явлений, допускающих весьма высокий уровень распараллеливания*. Интерес к ним усиливается и возможностью практической реализации высокопараллельных вычислительных *ОС*-моделей на основе современных успехов микроэлектроники и перспективами обработки информации на молекулярном уровне (*методы нанотехнологии*). Сама *ОС*-концепция обеспечивает построение концептуальных и практических моделей *пространственно-распределенных* динамических систем, из которых физические системы являются наиболее интересными и перспективными.

Модели, которые явным способом сводят *макроскопические* процессы к строго определенным *микроскопическим* процессам, представляют *особый* гносеологический и методический интерес, ибо они обладают большой убедительностью и прозрачностью. Именно с данной точки зрения различного типа *ОС*-модели представляют особый интерес, прежде всего, с прикладной точки зрения при исследовании целого ряда процессов, явлений и феноменов в различных областях, и

в первую очередь в физике. В частности, на основе *ОС* можно создавать весьма простые модели дифференциальных уравнений физики (*Навье-Стокса, теплопроводности и др.*), динамики газов и жидкостей, целого ряда важных задач коллективного поведения, например, турбулентность, фрактальность, хаос, упорядочение и др.

Вместе с тем вопреки росту актуальности *ТОС*-проблематики здесь на сегодня сложилась весьма своеобразная ситуация. Прежде всего, география активности исследований в этом направлении носит достаточно пестрый характер. Наибольшая активность приходится здесь на такие страны как США, Япония, Великобритания, Германия, Франция, Венгрия, Италия. Тогда как в бывшем СССР данная проблематика поддерживалась усилиями относительно небольшого количества исследователей из различных научных центров, а также несколькими объединенными общей *ТОС*-проблематикой исследовательскими группами. Отечественные научные издания в данном направлении за 30-летний период представляют всего восемь монографий, из которых четыре приходятся на *ТТГ*. Также относительно малочисленны по *ТОС*-проблематике и отечественные периодические публикации, да и относятся они в значительной степени к сугубо прикладным ее аспектам в вычислительных науках. Во-вторых, при всем обилии и разнообразии публикаций за рубежом и там число книг и монографий по *ТОС*-проблематике относительно невелико и не превышает 200. За редким исключением все эти книги ориентированы на уже подготовленного читателя и не могут оказать существенного влияния на решение весьма актуальной проблемы популяризации концепции, идей, методов, подходов да и возможностей, обеспечиваемых *ОС*-моделями во всей их общности. Наконец, по *ТОС*-проблематике сложился ряд направлений и научных школ, среди которых в ряде случаев отсутствует серьезная научная связь, что приводит к существенному дублированию результатов и другим издержкам. Так, пространная (*вследствие многочисленных рисунков*) и претенциозная книга «*A New Kind of Science*» [407] содержит немало результатов, которые были получены намного раньше целым рядом других исследователей по *ТОС*-проблематике, в том числе, советскими авторами (см. [1,3-5,8,9,53-57,80,82,83,127-135,137-142,150-161,169-171,175-179,182-191,195-201,230-233,240,241,536] и многие др.). Кроме того, целый ряд фундаментальных результатов в этом направлении принадлежат другим исследователям. Явная предвзятость автора книги не позволяет ему смотреть достаточно объективно и на хронологию *ТОС*-проблематики в целом. Устранить подобные недостатки в свете вышесказанного призваны не только упомянутая ранее *рабочая* группа в составе *IFIP*, но также и создание целого ряда книг по *ТОС*-проблематике научно-популярного характера и различной ориентации.

Вкратце остановиться на упомянутой книге «*A New Kind of Science*» (*Наука нового типа и не менее*) [407] целесообразно именно в связи с корректной идентификацией места *ТОС*-проблематики в составе других разделов современного естествознания. Объемистое издание только на первый взгляд может служить неким откровением для тех, кто ни в малейшей степени не знаком с *ТОС*-проблематикой (*клеточными автоматами, Cellular Automata*). Несмотря на то, что книга содержит немало (*в целом ряде случаев весьма интересных*) примеров применения *ОС*-моделей, как ее стиль, так и целый ряд содержащихся в ней утверждений носит весьма тенденциозный характер, не имея реального подтверждения. Само же ее название носит, скорее, коммерческий, рекламный характер, рассчитанный на широкую публику, а не на серьезную научную аудиторию. Отметим только некоторые из авторских откровений, а именно. «*Эта книга – результат двадцатилетнего труда по созданию науки нового типа. Я и не предполагал, что все так затянется. Работа затрагивает практически все сферы познания и даже простирается немного дальше за их пределы. Я пришел к выводу, что мое открытие – одно из наиболее важных во всей истории теоретической науки.*». Далее сам автор утверждает, что компьютерные модели, названные *клеточными автоматами*, представляют ключ к пониманию всех сложностей природы – от кварков до экономических систем. Он утверждает, что его книга была понята как «*инициирующая в науке сдвиг парадигмы исторической важности, с новыми приложениями, появляющимися каждый год все в большем количестве.*»

На самом же деле *С. Вольфрам* нашел невзыскательную аудиторию для данных идей с помощью своего многостраничного самоизданного опуса, не имеющего достаточно серьезного отношения к собственно науке. Учитывая же спорные морально-этические принципы компании, которую возглавляет *С. Вольфрам*, можно вполне предположить, что данная книга – не только результат неутомимой работы фантазии автора, но и плод многолетней работы команды программистов, ученых, редакторов, дизайнеров. При этом, фактически *С. Вольфрам* перезапустил старые идеи, представленные на обсуждение в 80-х и 90-х годах прошлого века в области хаоса и сложности, которые можно рассматривать как единое поле деятельности. Специалисты в этой области уже давно говорят о том факте, что очень простые правила с помощью компьютера могут порождать чрезвычайно сложные картины, кажется, изменяющиеся беспорядочно, как функция времени. Подобным же образом, утверждают они, простые правила должны лежать также в основе целого ряда, по-видимости, сложных явлений в природе, но, естественно, далеко не всех [536].

Не вдаваясь в детальный обзор указанной книги (*некоторые из рецензий на нее можно найти в [536] и в Интернете*), только отметим, что вопреки преследуемым целям, книга не только не явилась откровением для специалистов, работающих по ТОС-проблематике, но и в определенной мере сформировала и несколько искаженное представление о самой области исследований, на самом деле достаточно перспективной со многих точек зрения. Между тем, быть может, она и явилась откровением для любителей, интересующихся различного рода околонучными теориями, или неспециалистов. Не красит эту книгу не только откровенно спекулятивный характер изложения (*когда в целом ряде случаев автор пишет о вещах, не имея на то понятия*), но и уничижительный тон к своим научным коллегам, которыми в целом ряде случаев получены намного более серьезные результаты, искажение истории предмета, попытки косвенного присвоения чужих результатов, менторский тон, ничем не обоснованные утверждения и многое другое, что не позволяет нам рассматривать данную книгу в качестве серьезного научного исследования. При этом, не стоит рассматривать наше мнение слишком предвзято – на фоне многочисленных отзывов на книгу оно смотрится в достаточно выдержанных тонах ([536], *A Collection of Reviews of ANKOS*).

Между тем, нельзя утверждать, что эту книгу не стоит читать. Если вы можете проигнорировать эгоцентрический уклон, то она даст краткий обзор по ТОС-проблематике и ее приложениям, хотя стиль ее изложения носит довольно сумбурный характер. И хотя основополагающий вывод книги – *простые программы объясняют все* – может вдохновить непрофессиональных читателей, однако весьма сомнительно, что эта книга вдохновит серьезное научное сообщество. Эта книга призывает ученых исследовать ОС-модели, которые и так уже давно и успешно исследуются с различных точек зрения. По нашему мнению, книга представляет спекулятивный взгляд как на ОС, так и на науку в целом. Она может представить некоторый интерес лишь для дилетантов в области ОС-проблематики и для весьма нетребовательных любителей научной фантастики.

И еще на одном достаточно существенном аспекте следует остановиться особо. Любая хорошая теория, не говоря уже о «*науке нового типа*», должна предсказывать и получать нетривиальные качественно новые результаты, не повторяя уже имеющиеся и полученные иными средствами. В случае же с рассматриваемой ТОС-проблематикой такого по большому счету не наблюдается – в вычислительном контексте ОС-модели эквивалентны другим известным формальным моделям вычислителей, тогда как сам параллелизм использовался в природе и вычислительной технике и ранее, правда, в плане моделирования появляется возможность в целом ряде случаев намного более адекватного симулирования и эмпирического исследования многих процессов, объектов и явлений. Но если на эмпирическом фундаменте и можно построить определенные технические проекты и предположения, то фундаментальная наука требует весьма строгих математических обоснований. Именно по этой причине определенным противопоставлением точке зрения на ОС-проблематику, декларируемой вышеупомянутой книгой [407], представим и свое видение

данного вопроса. Наш опыт исследований в ТОС-проблематике как на теоретическом, так и на сугубо прикладном уровнях говорит совершенно иное, а именно:

(1) *ОС (однородные структуры, клеточные автоматы)* представляют собой один из специальных классов *бесконечных абстрактных автоматов со специфической внутренней организацией*, которая обуславливает очень высокий уровень *распараллеливания* обработки информации и вычислений; данные структуры образуют специфический класс дискретных динамических систем, которые функционируют сугубо параллельным образом на основе принципа *локального* близкодействия; это позволяет исследовать их в русле и методами систем подобного типа;

(2) *ОС* могут служить вполне удовлетворительной моделью параллельных вычислений подобно тому, как машины Тьюринга (*нормальные алгоритмы Маркова, системы productions и машины Поста, TAG-, LAG-системы и др.*) служат в качестве формальных моделей *последовательных* вычислений; подобно вторым *ОС*-модели обладают свойством универсальной вычислимости; с данной точки зрения *ОС* можно рассматривать и как алгебраические системы переработки конечных слов на основе правил параллельных подстановок;

(3) сам принцип локального взаимодействия составляющих *ОС* единичных конечных автоматов, определяющего в результате их глобальную динамику, позволяет использовать *ОС* и в качестве прекрасной среды моделирования/симулирования весьма широкого круга процессов, явлений и феноменов; при этом, феномен *обратимости ОС*-динамики делает *ОС* очень интересной средой как для физического моделирования, так и для создания очень перспективных вычислительных структур, использующих *нанотехнологии*. При этом, *ОС* можно рассматривать, прежде всего, как модельную альтернативу и дифференциальным уравнениям в частных производных. Наряду с этим *ОС* представляют весьма перспективную модельную среду для исследования тех явлений, процессов, феноменов и объектов, для которых отсутствуют известные классические средства. Между тем, следует констатировать, что собственно сама теория *ОС* известна достаточно давно довольно узкому кругу математиков и физиков. При этом вполне возможно, что пик активности теоретических исследований классических *ОС*-моделей уже позади и, дав мощный импульс как различного рода модификациям и типам *ОС*-моделей, так и многим прикладным разработкам, базирующимся на *ОС*-концепции в широком смысле ее понимания, классические *ОС*-модели не будут уже так активно теоретически исследоваться в качестве сугубо математического объекта.

В целом, *ТОС*-проблематику, на наш взгляд, с большой долей достоверности можно представить себе как 2 составляющие, а именно: (1) *ОС* в качестве самостоятельного математического объекта исследований (*например, как высокопараллельные дискретные динамические системы, как формальные параллельные алгоритмы и грамматики, и ряд др.*) и (2) *ОС* как эффективную среду моделирования различных процессов, явлений и феноменов, суть которых использует повсеместный принцип локального взаимодействия элементарных составляющих (*в частности, целого ряда биологических, физических и химических процессов*). Как правило, первая составляющая достаточно интенсивно развивается математиками, тогда как большой вклад в развитие второй составляющей вносит и существенно более представительный круг исследователей из различных естественно-научных как теоретических, так и прикладных областей (*физика, химия, биология, техника и др.*). При этом, если сугубо теоретические исследования по *ТОС*-проблематике в основе своей ограничиваются *классическими, полигенными и стохастическими ОС*, тогда как результаты второй составляющей базируются на существенно более широком представительстве и типов, и классов *ОС*-моделей, наделяющих составляющие их элементарные автоматы самыми разнообразными свойствами и с достаточно сложными правилами локального взаимодействия между ними. В целом отметим, если классические *ОС*-модели представляют собой, прежде всего, формальные математические системы, исследуемые именно в данном контексте, тогда как их многочисленные модификации и обобщения образуют достаточно перспективную среду моделирования тех или иных явлений, объектов, процессов и феноменов.

Как нами уже отмечалось, в отличие от целого ряда других современных разделов естественных наук, теоретическая составляющая *ТОС-проблематики* не столь существенно пересекается с ее второй прикладной составляющей и в этом отношении можно вполне уместно говорить о *ТОС-проблематике* как о двух достаточно самостоятельных направлениях, а именно: (1) исследование математических *ОС-объектов* как таковых и (2) использование *ОС-среды* для симулирования; при этом, второе направление характеризуется и более широким спектром направлений сугубо прикладного характера. При этом, уровень развития второго направления в значительной мере определяется возможностями современных вычислительных систем (*кластеров*), т.к. *ОС-модели*, как правило, реализуются на большом числе единичных автоматов и, как правило, с достаточно сложными правилами локального взаимодействия между собой.

Сам же *ОС-подход* можно в целом ряде случаев ассоциировать с некоторым *модельным* аналогом дифференциальных уравнений, описывающих тот или иной процесс с тем отличием, что если дифференциальные уравнения *усредненно* описывают процесс (что как расширяет охватываемый ими круг частных процессов, так и не позволяет для большинства из них определять соответствующие уравнения, тем более их решать аналитически), то в соответствующем образом определенную *ОС-модель* реально погружается некий исследуемый процесс и динамика модели весьма наглядно представляет *качественное* поведение исследуемого процесса. При этом, нужно лишь корректно наделить единичный автомат модели необходимыми свойствами (*состояниями*) и определить правила локального их взаимодействия. Таким образом, *ОС-подход* можно использовать как для исследования процессов, описываемых сложными дифференциальными уравнениями, которые не имеют аналитического решения, так и для процессов, не позволяющих описывать их такими уравнениями.

В заключение еще раз отметим *одно* немаловажное обстоятельство. При обсуждении *классических однородных структур* мы акцентировали внимание на следующем весьма существенном моменте. Параллельные дискретные динамические системы, одними из которых и являются *ОС-модели*, рассматривались нами именно как формальные *алгебраические* системы переработки конечных слов (*конфигураций*) в конечных алфавитах, не прибегая, как правило, к их микропрограммной среде, т.е. не используя на низшем уровне присущую им клеточную организацию, что отличает наш подход к исследованию данных объектов от подходов целого ряда других исследователей. При таком подходе однородные структуры рассматриваются на сугубо формальном уровне, что не позволяет в полной мере оперировать присущим им свойством высокого параллелизма как в области вычислений, так и обработки информации в целом.

Естественно, для решения прикладных задач в среде данного типа параллельных динамических дискретных систем и получения целого ряда тонких результатов, в первую очередь, *модельного* характера требуется подход на *микропрограммном* уровне, когда исследуемые процессы, объекты, алгоритмы и феномены непосредственно погружаются в среду однородных структур, используя ее конкретные параметры, а именно: размерность, алфавит внутренних состояний единичного автомата в структуре, индекс соседства автоматов (*интерфейсные правила единичных автоматов*) и локальная функция перехода единичного автомата (*программа функционирования структуры*). В случае такого подхода можно получать как решения для важных конкретных приложений, так и довольно высокого уровня обобщения теоретического характера. В частности, непосредственно погружая в объекты данного класса универсальные вычислительные алгоритмы или логические элементы, *композиции* которых обеспечивают универсальные вычисления, можно конструктивно доказывать универсальную вычислимость однородных структур и т.д.

Между тем, имея целый ряд неоспоримых преимуществ, вышеотмеченный т.н. *прямой* подход к исследованию структур не позволяет в ряде случаев получать результаты, характеризующие их именно как сугубо математические объекты, требуя применения методов и результатов из более

абстрактных областей современной математики. Следовательно, наиболее *естественным*, на наш взгляд, представляется разумное сочетание обоих указанных подходов к изучению такого класса динамических дискретных систем, в качестве которых и выступают однородные структуры.

Наряду с попыткой, по-возможности, полнее охватить *СА*-проблематику, лежащую как в русле наших интересов, так и в фундаменте собственно *ТОС*, в настоящей монографии с достаточной степенью полноты представлены результаты и отечественных исследователей. Многие из этих результатов малоизвестны или совсем неизвестны англоязычному читателю, хотя целый ряд из них внесли весьма существенный вклад в становление современной теории *однородных структур* (*Homogeneous Structures*) {синоним «клеточных автоматов» (*Cellular Automata*)} и их приложений в качестве самостоятельного раздела *современной* математической кибернетики. Целый ряд из них впоследствии были заново переоткрыты другими исследователями. Часть из них представлены детально, тогда как другие указаны в перечне работ, содержащих наиболее важные результаты.

Настоящая монография ориентирована на самый широкий круг читателей, интересующихся стратегически важными направлениями современной вычислительной техники, кибернетики, математического моделирования в различных прикладных областях, параллельной обработкой информации и параллельными алгоритмами, формальными грамматиками, математической и теоретической биологиями, теорией автоматов, физикой, робототехникой, нанотехнологиями, искусственным интеллектом и др. Представит данная монография интерес также для студентов, аспирантов, докторантов и преподавателей соответствующих специальностей университетов, желающих углубить свои познания в очень перспективной области автоматного моделирования различного рода феноменов. Монография будет достаточно полезна всем, кто только начинает знакомиться с *однородными структурами*, их концепцией и основами теории. Читателю, который уже имеет определенный опыт исследовательской работы в этой сфере, монография представит достаточно полезную информацию к размышлению и ознакомит с основными результатами в данной области, полученными, прежде всего, советскими исследователями. Многих она сможет побудить к дальнейшим исследованиям в данной весьма перспективной области современной математической кибернетики. С нашими последующими исследованиями и публикациями по данной проблематике можно периодически знакомиться на наших *Web*-страницах:

www.aladjev.newmail.ru, /www.aladjev.narod.ru, www.geocities.com/ca_hs_ref

Там же указаны адреса, в которые можно отправлять замечания и предложения по материалам настоящей монографии, а также в целом по довольно обширной тематике наших исследований. Все они будут приняты с благодарностью и без нашего внимания не оставлены. В значительной степени настоящая монография – второе переработанное и расширенное издание предыдущей нашей монографии [567], базирующейся на специальном курсе лекций «*Классические однородные структуры (Классические клеточные автоматы)*», данном автором для студентов старших курсов, магистрантов, докторантов факультета *математики и информатики* Гродненского университета (*Белоруссия*) в апреле – мае 2008 г. Монография, в основе своей, суммирует основные результаты, полученные нами в данном разделе современной математической кибернетики.

Введение

Теория однородных структур (ТОС), у истоков которой стояли такие крупнейшие современные математики и кибернетики, как *Джон фон Нейман*, *С. Улам*, *Э. Мур* и *А. Черч*, привлекла к себе пристальное внимание целого ряда исследователей в конце 50-х г. прошлого столетия благодаря основополагающим работам *Э. Мура*, *Дж. Майхилла* и *А.В. Беркса*, который систематизировал, завершил и издал работы *Джона фон Неймана* в этой области [5,124,128]; здесь и в дальнейшем мы часто будем делать ссылки на наши работы (как более доступные), в которых дается обзор или представление соответствующих результатов других исследователей по *ТОС*-проблематике или смежным вопросам, имеющим к ней наиболее близкое отношение. При этом, некоторые наши работы содержат и интересные исторические экскурсы по данной проблематике.

Однородные структуры переоткрывались не один раз и под различными названиями – в чистой математике они известны как раздел топологической динамики, в электротехнике они известны как итеративные сети, в биологии как клеточные структуры и т.д. Поэтому, предлагаемый ниже краткий исторический экскурс ставит целью определить *основные* этапы становления собственно самой *ОС*-теории, не отвлекаясь на многочисленные частности. При этом, следует иметь в виду, что по *ТОС*-проблематике работает целый ряд групп и отдельных исследователей, недостаточно или совершенно не связанных друг с другом, что зачастую ведет к серьезному дублированию работ и результатов. Начав свои исследования по *ТОС*-проблематике в 1969 г., мы располагаем вполне достаточной информацией (как на основе анализа большинства публикаций, так и в процессе непосредственного общения со многими ведущими исследователями в этом направлении) относительно объективного развития основных ее направлений (и в первую очередь, теоретического характера). Это позволяет нам с достаточной степенью объективности хронометрировать основные этапы ее развития; многие детали исторического характера по *ТОС*-проблематике можно найти в книгах [1,3,5,8-10,53-56,114,131,135,146,150,161,163,179,186,230,264,265,271,536].

Однородные структуры (ОС) в их первоначальном виде были определены *Дж. фон Нейманом* на базе предложения *С. Улама* с целью получить более реалистическую и хорошо формализуемую модель для исследования поведения сложных развивающихся систем. Сам *С. Улам* использовал *ОС*-подобные модели, в частности, для исследования проблемы роста кристаллов и некоторых других растущих по *рекуррентным* правилам дискретных систем. Несколько позднее подобные структуры начал исследовать и *Алонзо Черч* в связи с работами по бесконечным абстрактным автоматам и математической логике. В этой же связи весьма уместно упомянуть и пионерские работы по *ОС*-проблематике немецкого инженера *Конрада Цузе* – автора первой программно-управляемой универсальной вычислительной машины [126]. Им был высказан целый ряд весьма прогрессивных для своего времени взглядов на структуру команд ЭВМ, программирование как последовательное, так и параллельное и др., включая клеточные вычислительные пространства, явившиеся *пробобразом* современных вычислительных *ОС*-моделей. На сегодня *ОС*-модели имеют ряд синонимов, из которых наиболее распространенным является термин «клеточные автоматы (*Cellular Automata*)». В дальнейшем, говоря «однородные структуры» (основываясь на русскоязычной терминологии [119,443,536]), будем везде понимать также и их синонимы, и наоборот.

В 1969 *Конрад Цузе* выпустил книгу «*Rechnender Raum*» (*Вычислительное пространство*), в которой излагал мысли о том, что физические процессы – суть вычисления, тогда как наша Вселенная есть ничто иное, как «*cellular automaton*» (*СА*), т.е. «клеточный автомат»; само же понятие *СА* ввел *Дж. фон Нейман*. Для конца 70-х такой взгляд на Вселенную был новаторским, тогда как сейчас идея вычисляющей саму себя Вселенной никого не шокирует, находя логичное место в теориях ряда

исследователей, работающих в области квантовой механики [536]. К сожалению, сегодня книга *К. Цузе* малознакома (если не сказать – незнакома совсем) даже весьма дотошным исследователям и специалистам в этой области. Чтобы исключить имеющиеся на сегодня спекулятивные аспекты исторического характера, в будущих исторических исследованиях весьма целесообразно на это обратить самое пристальное внимание.

И здесь было бы вполне уместно отметить одно очень любопытное с исторической точки зрения обстоятельство. В отличие от *Джон фон Неймана, К. Цузе* однородные структуры рассматривал лишь с точки зрения цифровой вычислительной техники (*ВТ*), не связывая их с использованием в других областях приложений. К сожалению, сложившиеся на то время обстоятельства [126] не позволили ознакомиться с его идеями и разработками широкому кругу специалистов и ученых. В то время как *Джон фон Нейман* ограничился применением однородных структур только для биологического моделирования. Возможно, *фон Нейман* не был заинтересован в исследованиях *ОС*-моделей в качестве самостоятельного математического объекта либо в качестве формальной модели высокопараллельной *ВТ*. Эти обстоятельства, вероятно, и привели к тому, что высокий уровень параллелизма, допускаемый однородными структурами, и не явился определяющим фактором на начальной стадии развития *ВТ*. Принимая во внимание то влияние, которое оказал авторитет *фон Неймана* на развитие *ВТ* [124] (не зря до сих пор основу современной *ВТ* составляет так называемая вычислительная модель фон Неймана), его предложение по применению клеточных автоматов в вычислительных целях на заре зарождения современной *ВТ*, по-видимому, могло бы изменить ход последующей истории ее развития. С другой стороны, практическое незнание с работами *К. Цузе* широкой научной общественности и не сравнимый с *Джон фон Нейманом* научный авторитет не позволили им оказать серьезного влияния на последующий ход развития как *ВТ*, так и собственно *ТОС*-проблематики. В результате чего сегодня мы имеем то, что имеем, а именно – развитую *ВТ*, исповедующую последовательную вычислительную модель *Джон фон Неймана*, и интенсивные проработки по созданию перспективных средств *ВТ* на основе иных, *неймановских* параллельных моделей вычислителей, одними из которых и являются именно вычислительные формальные *ОС*-модели.

Одной из основных предпосылок, стимулировавших зарождение *ОС*-концепции параллельных дискретных систем, явилась настоятельная потребность в достаточно хорошо формализуемой среде для моделирования процессов биологического развития и, прежде всего, самого процесса самовоспроизведения. *Джон фон Нейман* и целый ряд его последователей достаточно детально исследовали вопросы вычислительных и конструктивных возможностей первых *ОС*-моделей, которые были завершены и собраны *А. Берксом* в его превосходных книгах [124,128], которые определили развитие исследований в этом направлении на несколько лет. В процессе работ по *ОС*-проблематике *А. Берксом* при Мичиганском университете была создана исследовательская группа «*The Logic of Computer Group*», из которой впоследствии вышел целый ряд первоклассных специалистов по *ТОС*-проблематике (*Дж. Холланд, Р. Лэинг, Т. Тоффоли и др.*). Ранние идеи и работы *Дж. фон Неймана, С. Улама, А. Черча* и ряда их непосредственных последователей [125, 127,129-133,288-299] мы можем с полным основанием отнести к *первому* этапу становления *ТОС*-проблематики в целом.

Вторым этапом в становлении *ТОС* можно считать опубликование теперь широко известных работ *Э. Мура* и *Дж. Майхилла* [274,275] по проблеме неконструируемости в классических *ОС*-моделях, которые наряду с решением ряда сугубо математических задач явились своего рода катализаторами активности, привлекая пристальное внимание к этой проблематике целого ряда математиков и исследователей из других областей. Формируются научные коллективы и школы по *ТОС*-проблематике в США, ФРГ, Японии, Италии, Франции, ГДР, Венгрии и Эстонии (*ТПГ, 1969 г.*). В частности, именно этим работам мы обязаны своим интересом к данной области

исследований, после ознакомления с упомянутой работой Э. Мура в превосходном сборнике статей под ред Р. Беллмана [123].

Наконец, теоретические работы Э. Кодда [125], Г. Хедлунда [127], А.Р. Смита [131], Х. Ямада и С. Аморозо [129,130], Э. Бэнкса [132], Т. Остранда [133], В. Аладьева [1,2-5,17-35], Т. Китагава [134] и целого ряда других исследователей положили начало собственно *современной* математической ТОС, выросшей к настоящему времени в самостоятельную ветвь теории абстрактных автоматов, имеющую многочисленные интересные приложения в различных областях науки и техники. Многочисленные исследователи подготовили вступление ТОС в конце 60-х годов прошлого века в современный этап ее развития, характеризующийся объединением ранее разрозненных идей и методов на общей концептуальной и методологической платформах и весьма существенным расширением областей ее приложений, особенно в физике, математической биологии развития, параллельной обработке информации, параллельными алгоритмами, вычислительных науках и информатике, связанных с математическим и компьютерным моделированием, разработкой перспективных архитектур высокопроизводительной ВТ и др., в значительной степени выводя ОС-концепцию на междисциплинарный уровень.

Особый интерес к ОС-моделям возобновился в начале 80-х годов прошлого века в связи с весьма активными исследованиями по проблеме искусственного интеллекта (ИИ), по созданию новых перспективных архитектур высокопроизводительной ВТ, информатикой, физикой и другими важными мотивациями. На наш взгляд, именно с работ Bennet C., Grassberger P., Boghosian B., Crutchfield J., Chopard B., Culik II K., Gács P., Green D., Gutowitz H., Ibarra O., Kobuchi Y., Langton C., Margolus M., Martin O., Mazoyer J., Toffoli T., Wolfram S., Аладьева В.З., Бандман О.Л. и др. [536] начался новый всплеск интереса к ОС как среде, прежде всего, *физического* моделирования. Наконец предполагается, что именно ОС могут сыграть чрезвычайно важную роль в качестве как концептуальных, так и прикладных моделей *пространственно-распределенных* динамических систем, в числе которых в первую очередь представляют особый интерес вычислительные, физические и биологические клеточные системы. В данных направлениях уже налицо весьма существенная активность целого ряда исследователей, получивших вполне обнадеживающие результаты [1,3-5,9,69,90,145,146,153,155-157,161,162,197,269,275,355,536]. В предисловии приведен ряд соображений в подтверждение роли и места ОС-проблематики в структуре современной математической кибернетики и связанных с ней естественно научных направлений и, прежде всего, прикладного характера.

Современная точка зрения на ТОС, как на отдельную ветвь теории абстрактных бесконечных автоматов, сформировалась под влиянием основополагающих работ Адаматского А., Arbib M., Аладьева В.З., Amoroso S., Bagnoli F., Bandini S., Бандман О.Л., Banks E.R., Barca D., Барздиня Я., Bays C., Binder P., Boghosian B., Burks A.W., Butler J., Cattaneo G., Chate H., Chowdhury D., Church A., Codd E., Cole S., Crutchfield J., Culik K., Das R., Durand B., Durrett R., Fokas A., Fredkin E.F., Gács P., Gardner M., Gerhardt M., Golze U., Grassberger P., Green D., Griffeath D., Gutowitz G., Hedlund G., Hemmerling A., Holland J., Honda N., Ibarra O., Икауниекса Э., Ильяшинского А., Jen E., Kaneko K., Kari J., Kimura M., Kobuchi Y., Langton C., Legendi T., Li W., Lieblein E., Lindenmayer A., Martin O., Maneville P., Margolus N., Maruoka A., Mazoyer J., Mitchell M., Moore E.F., Morita K., Myhill J., Nasu M., John von Neumann, Nishio H., Ostrand T., Pedersen J., Подколзина А., Richardson D., Sato T., Sarkar P., Шерешевского М., Sipper M., Smith A., Sutner K., Takahashi H., Thatcher J., Toffoli T., Тоома А., Цейтлина Г., Ulam S., Варшавского В., Vichniac G., Vollmar R., Voorhees B., Waksman A., Weimar J., Willson S., Wolfram S., Wuensche A., Yaku T., Yamada H., Zuse K. и других довольно многочисленных исследователей из многих стран. На начальной стадии прикладные аспекты ТОС в связи с перспективными параллельными компьютерами весьма интенсивно развивались научными школами Т. Тоффоли в США, Р. Фольмаром в Германии и Т. Легенди в Венгрии, тогда как в связи с биологическим моделированием В.З. Аладьевым в Эстонии.

Наряду с нашими работами в ОС-теории необходимо обратить внимание на целый ряд других советских исследователей, которые получили в данном направлении как фундаментальные, так и достаточно значительные результаты в течение 60-х – 80-х годов. А именно: **Адаматский А.И.** (идентификация ОС), **Бандман О.Л.** (асинхронные ОС), **Блишун А.Ф.** (рост конфигураций), **Блюмин С.** (рост конфигураций), **Болотов А.А.** (симуляция между классами ОС), **Георгадзе А.К., Тоом А.Л., Манджаладзе П.В., Добрушин Р.Л., Васильев Н.Б., Ставская О.Н., Митюшин Л.Г., Леонтович А.** (стохастические ОС), **Икауниекс Э.** (неконструируемые конфигурации), **Левин Л.А. и Курдюмов Г.** (стохастические ОС), **Колотов А.** (ОС-модели возбудимой среды), **Левенштейн В.И.** (синхронизация в ОС), **Варшавский В.** (синхронизация ОС, симуляция анизотропных ОС на изотропных), **Матевосян А.** (рост конфигураций, универсальные детерминированные и стохастические ОС, ОС и параллельные грамматики), **Коганов А.В.** (универсальные ОС, устойчивые конфигурации, симуляция ОС), **Петров Е.И.** (синхронизация 2-мерных ОС), **Макаревский А.Ю.** (реализация булевых функций в ОС), **Ревин О.** (симуляция анизотропных ОС на изотропных), **Поспелов Д.** (однородные структуры и распределенный ИИ в ОС), **Прангшивили И.** (ОС-архитектуры параллельных процессоров), **Подколзин А.** (симуляция ОС, асимптотика глобальной динамики, неразрешимость, универсальные ОС-модели), **Цейтлин Г.Е.** (алгебра периодически определенных преобразований), **Солнцев С.В.** (рост конфигураций), **Решодько Л.** (ОС-модели возбудимой среды), **Цейтлин М.Л.** (коллективы автоматов, ОС-игры), **Щербаков Е.С.** (универсальные алгебры параллельных подстановок). В наших многочисленных предыдущих работах исследовались различные аспекты ОС-теории и ее приложений в математике, вычислительных науках, информатике, биологическом и физическом моделировании. Полученные нами в этом направлении результаты внесли достаточно существенный вклад как собственно в ОС-теорию, так и в ее приложения. Настоящая монография предназначена для обсуждения наиболее общих направлений в теории классических ОС-моделей и основных результатов, полученных нами. К сожалению, достаточно ограниченный объем не позволяет детально рассмотреть все богатство проблематики в данной области. Между тем, мы надеемся, что предлагаемая нами монография позволит ознакомить читателя с общими аспектами и тенденциями в теории классических ОС-моделей как формальной модели параллельной обработки, так и весьма перспективной среды для физического и математического моделирования.

Однородные структуры являются формализацией понятия бесконечных регулярных решеток (*сетей*) из идентичных конечных автоматов, которые информационно связаны друг с другом единым образом в том смысле, что каждый автомат решетки может непосредственно получать информацию от вполне определенного для него конечного множества соседних ему автоматов. При этом, соседство понимается не в геометрическом, а в информационном смысле. Соседство единичных автоматов устанавливается постоянным для каждого единичного автомата решетки и определяется специальным вектором – индексом соседства. Как правило, рассматриваются d -мерные регулярные решетки в Евклидовом пространстве E^d , в целочисленные точки которого помещены копии некоторого автомата Мура. В качестве весьма простого примера формальной ОС-модели мы можем вообразить себе бесконечную *клеточную* бумагу, в каждой клетке которой расположена копия конечного автомата Мура, для которого в качестве соседних выступают все непосредственно примыкающие к нему автоматы, включая и его самого.

ОС-модель функционирует в дискретные моменты времени t ($t=0,1, \dots$) так, что каждый автомат решетки синхронно изменяет свое состояние в дискретные моменты времени $t>0$ как функция состояний всех своих соседей в предыдущий момент времени $(t - 1)$. Данная *локальная* функция перехода может со временем меняться, но остается всегда постоянной для каждого единичного автомата решетки в любой конкретный момент времени $t>0$. *Одновременное* применение ко всем автоматам решетки локальной функции перехода определяет *глобальную* функцию перехода в структуре, которая действует на всей решетке, изменяя текущую конфигурацию состояний всех автоматов решетки на новую конфигурацию. Изменение конфигураций такой структуры под

действием *глобальной* функции определяет *динамику* функционирования *ОС*-модели с течением времени, играющую основную роль в исследованиях ее поведенческих (*динамических*) свойств.

Состояния единичных автоматов *ОС*-моделей можно ассоциировать с различными понятиями, такими как состояния биологических клеток, команды клеточных микропроцессоров, символы некоторых параллельных формальных систем, характеристики точек некоторого абстрактного поля и т.д. Тогда как сама история конфигураций в *ОС* ассоциируется с *динамикой* погружаемых в структуру различного рода дискретных моделей, процессов, алгоритмов и явлений. Подобные модели могут быть применены в таких различных областях как распознавание образов, теория эволюции и развития, морфогенез, математика, кибернетика, синергетика, физика, адаптивные и динамические системы, машинное самовоспроизведение, космология, вулканология, химия, искусственный интеллект и робототехника и др. Мы можем интерпретировать *ОС* не только как абстракцию *биологических* клеточных систем, но также как теоретическую основу искусственных параллельных систем обработки информации либо как среду представления концептуальных и практических моделей пространственно-распределенных динамических систем, для которых именно физические системы являются наиболее важными прототипами. С логической же точки зрения *ОС* являются бесконечными абстрактными автоматами со специфической внутренней структурой, определяющей целый ряд весьма важных свойств и позволяющей использование ее в качестве новой перспективной среды моделирования разнообразных дискретных процессов, использующих режим максимального распараллеливания. В целом *ТОС*-проблематика может рассматриваться как *структурная* и *динамическая* составляющие теории бесконечных автоматов, наделенных специфической внутренней организацией, носящей качественный характер. И в настоящее время *ТОС*-проблематика составляет вполне самостоятельный раздел современной кибернетики со своими методами, проблематикой и приложениями, а сами структуры служат формальной средой для моделирования многих дискретных процессов, явлений и феноменов в различных областях естествознания. При этом, вполне допуская моделирование и непрерывных процессов, явлений и феноменов, однако это тема другого исследования.

Более того, *ОС*-концепция является в определенном смысле уникальным научно-техническим явлением – с одной стороны, она является основой формального моделирования большого числа процессов, феноменов и объектов в весьма широком спектре областей, тогда как с другой, имеет эквивалентные технические реализации в виде *САМ*-машин *Тоффоли*, систолических структур, сетей транспьютеров, клеточных процессоров, однородных вычислительных сред и т.д., делая ее весьма привлекательной и в теоретических, и в прикладных исследованиях во многих областях современного естествознания [536].

Впервые в мировой практике в учебниках по информатике для университетов, выдержавших два издания, мы представили отдельную главу «*Общие формальные вычислительные модели*», в которой рассмотрены машины Тьюринга как формальная модель *классических последовательных* вычислений и обработки, и *ОС* в качестве формальной модели *неклассических высокопараллельных* вычислений и обработки [94-96]. По нашему мнению такая новация в настоящее время является весьма актуальной, прежде всего, в свете как модельных перспектив в различных областях, так и интенсивных исследований в области создания перспективной *ВТ* нетрадиционной *параллельной* архитектуры. Полученные за последние годы важные теоретические результаты по *ТОС*, целый ряд весьма интересных прикладных аспектов теории распределены по специальным научным статьям и изданиям. Более того, возрастающий интерес к *ТОС*-проблематике все настоятельнее требует популяризации ее концепции, фундаментальных и прикладных аспектов. Более того, весьма актуальной является и работа по консолидации усилий большого количества отдельных исследователей в данном и смежных с ним направлениях современной кибернетики.

В предлагаемой нами монографии на примере *классических ОС*-моделей обсуждаются наиболее фундаментальные проблемы их *динамики*, составляющие *базис* математической теории *динамики*

(поведенческого аспекта) ОС-моделей, не затрагивая вопросов их конструктивной организации. Простота и прозрачность данного класса ОС-моделей, не снижая, между тем, степени общности рассматриваемой на их основе проблематики, вместе с тем, позволяют начинающему читателю легче воспринимать предлагаемый материал, чему способствует как содержательный уровень изложения, используемый математический аппарат, который для рассматриваемого класса ОС-моделей относительно простой, так и вполне достаточный подбор иллюстративного материала. Представленный в книге материал в значительной мере содержит как ранее полученные нами результаты в данном направлении, опубликованные как в научных отчетах, периодической и монографической литературе, так и некоторые новые результаты, аннотированные на целом ряде специальных курсов для студентов и докторантов физико-математических специальностей университетов. Содержимое предлагаемой вашему вниманию монографии вкратце может быть охарактеризовано следующим образом.

Первая глава представляет основные понятия, определения, используемые обозначения, вводя единую и уже достаточно устоявшуюся русскоязычную терминологию. В данной главе вводятся основные типы и классы ОС-моделей, обсуждается точка зрения (*в своей основе субъективная*) на архитектуру современной ТОС-проблематики и основные *составляющие* аппарата исследований в данной области. *Вторая* глава книги довольно детально знакомит с современным состоянием проблемы *неконструируемости* для классических ОС-моделей, являющейся одной из центральных в ТОС-проблематике. Определяются типы неконструируемости, представляются критерии их существования, а также связанные с ними алгоритмические вопросы неконструируемости и ряд специальных вопросов, представляющих и существенный самостоятельный интерес. В первую очередь, это относится к особенностям данной проблемы для конечных ОС-моделей, играющей важную роль в их практических приложениях. Проблема неконструируемости в классических ОС-моделях представляет несомненный интерес также не только с той точки зрения, что она непосредственно относится к истокам становления ОС-проблематики, но и по той причине, что результаты, полученные по ней, составляют существенную часть собственного самого аппарата исследований в данном направлении.

В *третьей* главе, в отличие от предыдущей, определяющей *ограничения* динамики классических ОС-моделей, рассматриваются их *экстремальные конструктивные* возможности, характеризующиеся условиями существования универсальных и самовоспроизводящихся конечных конфигураций. *Четвертая* глава посвящена проблеме сложности конечных конфигураций, являющейся одной из ключевых в ТОС-проблематике и весьма тесно связанной с важными как теоретическими, так и многими прикладными ее аспектами.

В *пятой* главе довольно детально рассматриваются классические и недетерминированные ОС-модели с лингвистической точки зрения в контексте определяемых ими параллельных языков и грамматик. Многоаспектной проблеме моделирования в ОС-среде посвящена *шестая* глава, в которой наряду с базовыми вопросами сугубо модельного характера рассматривается целый ряд более специальных вопросов моделирования и параллельные алгоритмы, определяемые такими классическими ОС-моделями. Основное внимание здесь уделяется моделированию в ОС-среде известных формальных алгоритмов и моделированию классических структур структурами из того же класса.

В *седьмой* главе достаточно детально обсуждается проблема *декомпозиции* глобальных функций перехода в классических ОС-моделях и связанные с нею важные вопросы как теоретического, так и прикладного характера. Представленные здесь результаты в своей основе решают проблему декомпозиции и устанавливают интересные связи с проблемой сложности в ОС-аксиоматике. Довольно много внимания уделяется обсуждению подходов к исследованию этой и подобных ей проблем динамики ОС-моделей, а также вопросам алгоритмической разрешимости проблемы и иерархии сложности функций. Завершается глава обсуждением целого ряда интересных более

специальных вопросов *ТОС*-проблематики, не нашедших достаточного отражения в предыдущих главах настоящей монографии.

Наконец, *восьмая* глава книги представляет основные прикладные аспекты современной *ТОС*-проблематики, в значительной степени определяющие как интерес к ней, так и перспективы ее дальнейшего развития. Делая акцент на прикладных аспектах в математических, биологических и вычислительных науках, обсуждается также целый ряд весьма интересных приложений *ОС*-концепции и в других областях. При этом, основное внимание уделяется прикладным аспектам в математической биологии развития, вычислительной технике и информатике, как одними из стратегически важных направлений развития современного естествознания в целом. Тогда как прикладные аспекты *ОС*-концепции в других также достаточно важных направлениях в главе рассматриваются с различной степенью детализации.

Каждая глава настоящей книги содержит ряд интересных открытых и перспективных вопросов в соответствующих разделах *ТОС*-проблематики, исследование которых представляет для нее существенный интерес. Приведенная в конце книги довольно обширная библиография, в свою очередь, содержит многочисленные ссылки на ряд других источников по *ТОС*-проблематике и позволяет более взыскательному читателю получить более детальную информацию по весьма широкому спектру теоретических и прикладных аспектов проблематики как рассмотренных в настоящей книге, так и оставшихся по тем или иным причинам вне ее рамок. В отечественной литературе столь обширная библиография по *ТОС*-проблематике приводится впервые. Между тем, в [536] представлена намного более развернутая библиография по *ТОС*-проблематике и связанным с ней направлениям, которая существенно дополняет приведенную в монографии библиографию.

В настоящее время в развитии *ТОС* и ее прикладных аспектов достаточно четко прослеживаются следующие доминирующие направления исследований, а именно:

- феноменологическая сложность *ОС*-моделей с особым акцентом на установление некоторой удовлетворительной классификации в обширном многообразии данного класса параллельных дискретных динамических систем;
- алгоритмическая сложность структур *d-ОС* с акцентом на исследованиях различных понятий сложности, отвечающих базовой аксиоматике однородных структур;
- исследования *ОС*-моделей как параллельных дискретных динамических систем;
- обобщения и модификации *ОС*-моделей относительно их классического понятия;
- использование однородных структур в качестве новой перспективной среды моделирования в различных областях современного естествознания, прежде всего, в физических, биологических и вычислительных науках.

Сказанное подтверждает как направленность основных публикаций в данном направлении за последние пять лет, так и тематика целого ряда серьезных международных научных форумов, проведенных в этот же период. В этом отношении наши исследования в значительной степени наследуют и развивают отмеченную направленность дальнейшего развития современной как теоретической, так и прикладной частей *ТОС*-проблематики, составляя существенную часть ее базового наполнения.

Переходим теперь к непосредственному рассмотрению концептуальных аспектов классических однородных структур, предварительно введя основные понятия, определения и обозначения. Остальные базовые элементы будут вводиться по мере необходимости в процессе изложения тех или иных аспектов *ТОС*-проблематики.

Эстония, Таллинн, февраль-март, 2009

Литература

1. *Аладьев В.З.* К теории однородных структур.- Таллинн: Изд-во АН ЭССР, 1972, 190 с.
2. *Аладьев В.З.* Введение в архитектуру моделей *ЕС ЭВМ*.- Таллинн: Изд-во Валгус, 1976, 340 с.
3. *Aladjev V.Z.* Mathematical Theory of Homogeneous Structures and Their Applications.- Tallinn: Valgus Press, 1980, 267 p.
4. *Аладьев В.З. и др.* Математическая биология развития.- Москва: Изд-во Наука, 1982, 256 с.
5. *Аладьев В.З.* Однородные структуры: Теоретические и прикладные аспекты.- Киев: Республиканское изд-во Техника, 1990, 272 с.
6. *Аладьев В.З., Тупало В.Г.* Компьютерная хрестоматия.- Киев: Изд-во УСЭ, 1993, 480 с.
[обзорная статья «*V.Z. Aladjev. Homogeneous Structures: Theoretical and Applied Aspects*»]
7. *Аладьев В.З., Тупало В.Г.* Научно-практическая деятельность Таллиннской исследовательской группы: Итоговые результаты за 25-летие (1969 – 1993).- Москва: Минтопэнерго, 1994, 80 с.
8. *Аладьев В.З., Хунт Ю.Я., Шишаков М.Л.* Вопросы математической теории классических однородных структур.- Гомель: Изд-во БЕЛГУТ, 1996, ISBN 5-063-56078-5.
9. *Аладьев В.З., Хунт Ю.Я., Шишаков М.Л.* Математическая теория классических однородных структур.- Таллинн-Гомель: Изд-во TRG & VASCO & Salcombe Eesti Ltd., 1998.
10. *Аладьев В.З., Хунт Ю.Я., Шишаков М.Л.* Научно-исследовательская активность Таллиннской исследовательской группы за период 1995 – 1998.- Таллинн-Гомель-Москва: Изд-во TRG & VASCO Ltd, 1998, 80 с., ISBN 14-064298-56.
11. *Параллельная обработка информации и параллельные алгоритмы /* Под ред. *В.З. Аладьева*.- Таллинн: Республиканское изд-во Валгус, 1981, 296 с.
12. *Параллельные системы обработки информации /* Под ред. *В.З. Аладьева*.- Таллинн: Республиканское изд-во Валгус, 1983, 376 с.
13. *Математическое обеспечение ЕС ЭВМ и АСУ /* Под ред. *В.З. Аладьева*.- Таллинн: Республиканское изд-во Валгус, 1978, 190 с.
14. *Система управления базами данных на основе операционной системы МИНИОС и СУБД ОКА /* Под ред. *В.З. Аладьева*.- Таллинн: Изд-во Валгус, 1980, 150 с.
15. *Структурно-аналитические модели и алгоритмы распознавания и идентификации объектов управления /* Под ред. *В.З. Аладьева*.- Киев: Изд-во Техника, 1993.
16. *Аладьев В.З.* Задача о матрицах, возникающая в теории самовоспроизводящихся автоматов // Изв. АН ЭССР. Физ.-Матем., 19, № 2, 1970, с. 159-165.
17. *Аладьев В.З.* Некоторые вопросы, возникающие в теории сотообразных структур // Изв. АН ЭССР. Биология, 19, № 3, 1970, с. 266-277.
18. *Аладьев В.З.* Одна теорема теории сотообразных структур // Изв. АН ЭССР. Физ.-Матем., 19, № 3, 1970, с. 365-368.
19. *Аладьев В.З.* Вычислимость в однородных структурах.- Москва: Изд-во ВИНТИ, 1971, 265 с.
20. *Аладьев В.З.* К теории однородных структурах.- Москва: Изд-во ВИНТИ, 1971, 188 с.
21. *Аладьев В.З.* Об одном асимптотическом свойстве стохастических сотообразных структур // Изв. АН ЭССР. Физ.-Матем., 20, № 2, 1971, с. 205-208.

22. *Аладьев В.З.* Некоторые оценки для структур Неймана-Мура // Изв. АН ЭССР. Физ.-Матем., 20, № 3, 1971, с. 335-342.
23. *Аладьев В.З.* Две модели, решающие проблему Французского флага // Изв. АН ЭССР. Физ.-Матем., 20, № 3, 1971, с. 360-362.
24. *Аладьев В.З.* К устойчивости некоторых оптимальных дифференциальных систем // Автоматика и вычислительная техника.- Москва: Изд-во АН СССР, 14, 1971.
25. *Аладьев В.З., Ефимов Н.И.* О некоторых свойствах структур Мура // Изв. АН ЭССР. Физ.-Матем., 20, № 2, 1971, с. 208-210.
26. *Аладьев В.З., Орав Т.А.* Числовая модель регуляции осевой структуры // Изв. АН ЭССР. Физ.-Матем., 20, № 3, 1971, с. 276-278.
27. *Аладьев В.З., Полуктлов Р.А.* О моделях регуляции пространственной структуры // Изв. АН ЭССР. Биология, 20, № 4, 1971, с. 360-363.
28. *Аладьев В.З.* К теории однородных структур // Изв. АН ЭССР. Физ.-Матем., 21, № 2, 1972.
29. *Aladjev V.Z.* Computability in Homogeneous Structures // Изв. АН ЭССР. Физ.-Матем., 21, № 1, 1972, с. 79-83.
30. *Aladjev V.Z.* Some questions concerning nonconstructibility and computability in homogeneous structures // Изв. АН ЭССР. Физ.-Матем., 22, № 2, 1973, с. 210-214.
31. *Аладьев В.З.* Некоторые алгоритмические вопросы математической биологии развития // Изв. АН ЭССР. Биология, 22, № 1, 1973, с. 68-76.
32. *Аладьев В.З.* $Tau(n)$ -грамматики и порождаемые ими языки // Изв. АН ЭССР. Биология, 23, № 1, 1974, с. 67-87.
33. *Аладьев В.З., Орав Т.А.* Проблема кибернетического моделирования процессов развития // Изв. АН ЭССР. Биология, 23, № 3, 1974, с. 197-200.
34. *Аладьев В.З., Осипов О.Б.* Об одном методе моделирования в однородных структурах // Изв. АН ЭССР. Физ.-Матем., 23, № 4, 1974, с. 414-417.
35. *Аладьев В.З.* О сложности параллельных алгоритмов, определяемых однородными структурами // Изв. АН ЭССР. Физ.-Матем., 24, № 2, 1975, с. 267-272.
36. *Аладьев В.З., Осипов О.Б.* К вопросу реализации операционных систем в вычислительных структурах и средах / Труды 4-й Всес. конф. по однородным вычислительным системам и средам.- Киев: Изд-во Наукова Думка, 1975, с. 256-260.
37. *Аладьев В.З.* Характеристика одномерных однородных структур в терминах стэковых автоматов, в сборнике статей [2], с. 244-276.
38. *Аладьев В.З.* К понятию однородных структур, в сборнике статей [2], с. 186-197.
39. *Аладьев В.З. и др.* Содержание теории однородных структур, в сборнике [2], с. 198-213.
40. *Аладьев В.З., Осипов О.Б.* Моделирование операционных систем на однородных структурах, в сборнике статей [2], с. 214-243.
41. *Аладьев В.З., Ключников В.Т.* Некоторые свойства конфигураций, в сборнике статей [13].
42. *Аладьев В.З., Осипов О.Б.* Параллельная система обработки информации, в сборнике [14].
43. *Aladjev V.Z.* To Nonconstructibility in Homogeneous Structures, in the collection [14], pp. 154-171.
44. *Aladjev V., Vetyusme R.* On Composition Problem in Homogeneous Structures, in the collection [14].
45. *Аладьев В.З.* Некоторые перспективы развития теории однородных структур как формального аппарата исследования вычислительной техники параллельного действия, в сборнике статей [14], с. 177-210.

46. Аладьев В.З. Кибернетическое моделирование биологии развития, в сборнике статей [11].
47. Аладьев В.З. Перспективы развития теории однородных структур / Труды 3-й Венгерской конф. по вычислительной технике.- Будапешт: Изд-во АН Венгрии, 1981, с. 17-34.
48. Аладьев В.З., Ваганов В.А. Проблемы внедрения технологии параллельной обработки при решении задач бухучета / Труды 2-й Всес. Конф. «Бухгалтерский учет в условиях совершенствования хозяйственного механизма».- Баку, 1981, с. 132-136.
49. Аладьев В.З., Блиндер Б.С. Об одном подходе к созданию высокоэффективных систем обработки информации на базе вычислительной техники **ВЦКП** / Труды Всес. конференция «Основные направления развития программного обеспечения ЭВМ, комплексов и сетей ЭВМ».- Севастополь, 1981, с. 25-35.
50. Аладьев В.З. Об одном нестандартном подходе к созданию высокопроизводительных систем информационного поиска на основе информационного распараллеливания в однородных структурах / Труды Всес. Симпоз. «Высокопроизводительные системы информационного поиска и управления базами данных».- Кишинев: Изд-во АН Молдавии, 1982, с. 39-42.
51. Аладьев В.З. Описание параллельной системы обработки информации для **ЕС ЭВМ** в терминах систем алгоритмических алгебр / Всес. семинар «Параллельное программирование и высокопроизводительные вычислительные системы».- Киев: Изд-во Наукова Думка, 1982.
52. Аладьев В.З., Бойко В.К. Параллельная управляющая система **ОВС**, в сборнике статей [12].
53. Аладьев В.З. Избранные вопросы теории однородных структур, в сборнике [12], с. 141-341.
54. Aladjev V.Z. Solutions of a Series of Problems in the Mathematical Theory of Homogeneous Structures / TR-040684.- Tallinn: Изд-во Р/А Silikaat, 1985, 1566 p.
55. Aladjev V.Z., Zinkevich T.G. The Classical Homogeneous Structures / TR-041085.- Tallinn: Изд-во Р/А Silikaat, 1985, 947 p.
56. Aladjev V.Z. Recent Results in the Theory of Homogeneous Structures / TR-041285.- Tallinn: Изд-во Р/А Silikaat, 1985, 942 p.
57. Аладьев В.З. Однородные структуры: Модель перспективных параллельных вычислительных систем / Новые направления и средства аналого-цифрового преобразования и обработки информации.- Таллинн: Изд-во АН ЭССР, 1988, с. 76-90.
58. Aladjev V.Z. et al. Homogeneous Structures: Theoretical and Applied Aspects, in the collection [6].
59. Aladjev V.Z. Operations Over Languages Generated by $Tau(n)$ -Grammars // Comment. Mathem., University Carolinae Praga, 154, no. 2, 1974, pp. 211-220.
60. Aladjev V.Z. About the Equivalence of $Tau(n)$ -Grammars and $Sb(m)$ -Grammars // Comment. Mathem., University Carolinae Praga, 157, no. 4, 1974, pp. 717-726.
61. Aladjev V.Z. Survey of Research in the Theory of Homogeneous Structures and Their Applications // Mathematical Biosciences, 22, 1974, pp. 121-154.
62. Aladjev V.Z. The Behavioural Properties of Homogeneous Structures / 1st Intern. Symp. on **USAL**, Tokyo, Japan, 1975, pp. 28-49.
63. Aladjev V.Z. Some New Results in the Theory of Homogeneous Structures / Proc. Intern. Symp. on Mathem. Topics in Biology, Kyoto, Japan, 1978, pp. 193-226.
64. Aladjev V.Z. Theory of Homogeneous Structures and Their Applications / Proc. 2nd Intern. Conf. on Mathem. Modelling, Sant-Louis, USA, 1979, pp. 121-142.
65. Aladjev V.Z. Homogeneous Structures in Engineering Sciences / Proc. 19th Annual Meeting Society of Engineering Science.- University of Missouri-Rolla, USA, 1982.

66. *Aladjev V.Z.* The general modern problems in the mathematical theory of homogeneous structures / Abstracts of Intern. Workshop *PARCELLA-82*.- Berlin: Springer, 1982.
67. *Aladjev V.Z.* Homogeneous Structures in Mathematical Modelling / The 4th Intern. Conf. on Mathem. Modelling.- Zurich, 1983, pp. 10-15.
68. *Aladjev V.Z.* New Results in the Theory of Homogeneous Structures / Informatik-Skripten, no. 3, Braunschweig, 1984, pp. 3-15.
69. *Aladjev V.Z.* New Results in the Theory of Homogeneous Structures / *MTA Szamitastechnikai es. Autom. Tanulmanuok*, 158, Budapest, 1984, pp. 3-14.
70. *Aladjev V.Z.* A Criterion of Nonconstructibility in the Classical Homogeneous Structures / Proc. Intern. Workshop *PARCELLA-84*.- Berlin: Akademie-Verlag, 1984, pp. 1-5.
71. *Aladjev V.Z.* A Few Results in the Theory of Homogeneous Structures / Mathematical Research, Band 25.- Berlin: Akademie-Verlag, 1985, pp. 168-175.
72. *Aladjev V.Z.* Recent Results in the Theory of Homogeneous Structures / *MTA Szamitastechnikai es. Automat. Tanulmanuok*, 185, Budapest, 1986, pp. 261-280.
73. *Aladjev V.Z.* Recent Results in the Mathematical Theory of Homogeneous Structures // Trends, Techniques and Problems in Theoretical Comp. Science / Lecture Notes in Comp. Sci., Band 281.- Heidelberg: Springer-Verlag, 1986, pp. 110-128.
74. *Aladjev V.Z.* Homogeneous Structures in Mathematical Modelling / Proc. 6th Intern. Conf. on Mathem. Modelling.- Sant-Louis: Washington University, USA, 1987.
75. *Aladjev V.Z.* Recent Results in the Theory of Homogeneous Structures / Parallel Processing by Cellular Automata and Arrays.- Amsterdam: North-Holland, 1987, pp. 31-48.
76. *Aladjev V.Z.* Unsolved Theoretical Problems in Homogeneous Structures / Mathematical Research, Band 48.- Berlin: Akademie-Verlag, 1988, pp. 33-49.
77. *Aladjev V.Z.* The Complexity Problem in Homogeneous Structures / The Intern. Conf. on Comp. Sciences.- Praga, 1988, pp. 42-57.
78. *Aladjev V.Z.* Computer Investigation of Homogeneous Structures / The Intern. Conf. *IMYCS-88*.- Bratislava, 1988, pp. 31-41.
79. *Aladjev V.Z.* Survey on Homogeneous Structures / Tech. Rept., no. 19-12/89.- PTIP, 1989, 670 p.
80. *Aladjev V.Z.* Survey on Some Theoretical Results and Applicability Aspects in Parallel Computation Modelling // J. New Gener. Comp. Systems, 1, no. 4, 1988, pp. 307-317.
81. *Aladjev V.Z.* A solution of the Steinhays's combinatorical problem // Appl. Math. Lett., no. 1, 1988.
82. *Aladjev V.Z.* Recent Results in the Mathematical Theory of Homogeneous Structures / New Trends in Computer Sciences.- Amsterdam: North-Holland, 1988, pp. 3-54.
83. *Aladjev V.Z.* Recent Results on the Theory of Homogeneous Structures / New Approaches to Parallel Processing.- Berlin: Akademie-Verlag, 1988, pp. 128-147.
84. *Aladjev V.Z.* An Algebraical System for Polinomial Representation of K -Valued Logical Functions // Applied Mathem. Letters, no. 3, 1988, pp. 207-209.
85. *Aladjev V.Z.* Interactive Program System for Modelling of Homogeneous Structures / The 7th Intern. Conf. on Mathem. and Comp. Modelling, Chicago, USA, 1989.
86. *Aladjev V.Z. et al.* Theoretical and Applied Aspects of Homogeneous Structures / Proc. Intern. Workshop *PARCELLA-90*.- Berlin: Akademie-Verlag, 1990, pp. 48-70.
87. *Aladjev V.Z.* Homogeneous Structures: Theoretical and Applied Aspects / The 8th Intern. Conf. on Mathem. and Comput. Modelling, Washington University, USA, 1991.

88. *Aladjev V.Z. Survey on the Homogeneous Structures / Tech. Rept., no. 12-19/89 (revised and extended report), Project-Technological Institute of Industry.- Tallinn, 1989, 1047 p.*
89. *Aladjev V., Hunt U., Shishakov M. Homogeneous Structures: Conception, Basics of Theory and Applied Aspects.- TRG: <http://www.geocities.com/Pentagon/1397>.*
90. *Aladjev V., Hunt U. Fundamental Problems in the Theory of the Classical Homogeneous Structures / TRG Research Rept. TRG-55/97.- Tallinn: Изд-во VASCO, 1997, 966 p.*
91. *Аладьев В.З. и др. Прикладные аспекты теории однородных структур / 8-я Белорусская математическая конференция, ч. 3, Минск: Изд-во АН Белоруссии, 19-24 июня 2000.*
92. *Аладьев В.З. и др. Моделирование в классических однородных структурах / Труды Межд. конф. по матем. моделированию (МКММ-2000).- Херсон, Украина, 2000.*
93. *Аладьев В.З., Шишаков М.Л. Введение в математический пакет Mathematica 2.2.- Москва: ИИД ФилинЪ, 1997, 363 с., ISBN 5-89568-004-6.*
94. *Аладьев В.З., Хунт Ю.Я., Шишаков М.Л. Основы компьютерной информатики.- Таллинн-Гомель: Российская Академия Ноосферы & TRG, 1997, 396 с.*
95. *Аладьев В.З., Хунт Ю.Я., Шишаков М.Л. Основы компьютерной информатики.- Москва: ИИД ФилинЪ, 1998, 496 с., ISBN 5-89568-068-2.*
96. *Аладьев В.З., Хунт Ю.Я., Шишаков М.Л. Основы компьютерной информатики. 2-е изд.- Москва: ИИД ФилинЪ, 1999, 545 с.*
97. *Аладьев В.З., Ваганов В.А., Хунт Ю.Я., Шишаков М.Л. Введение в среду математического пакета Maple V.- Минск: Международная Академия Ноосферы, 1998, 452 с.*
98. *Аладьев В.З., Ваганов В.А., Хунт Ю.Я., Шишаков М.Л. Программирование в среде математического пакета Maple V.- Минск-Москва: Российская Академия Экологии, 1999.*
99. *Аладьев В.З., Богдявичюс М.А. Решение физико-технических и математических задач с Maple V.- Таллинн-Вильнюс: Изд-во TRG Press, 1999, 686 с., ISBN 9986-05-398-6.*
100. *Аладьев В.З., Ваганов В.А., Хунт Ю.Я., Шишаков М.Л. Рабочее место математика.- Минск-Таллинн-Москва: Российская Академия Естественных Наук, 1999, 608 с.*
101. *Аладьев В.З., Шишаков М.Л. Рабочее место математика.- Москва: Лаборатория Базовых Знаний, 2000, 752 с. + CD, ISBN 5-93208-052-3.*
102. *Аладьев В.З., Богдявичюс М.А. Maple 6: Решение математических, статистических и инженерно-физических задач.- Москва: Изд-во Лаборатория Базовых Знаний, 2001, 850 с.*
103. *Аладьев В.З., Богдявичюс М.А. Специальные вопросы работы в среде математического пакета Maple.- Вильнюс: Изд-во Вильнюсского технического ун-та, 2001, 208 с. + CD.*
104. *Aladjev V.Z., Bogdevicius M.A. Interactive Maple: Solution of Mathematical, Statistical, Engineering and Physical Problems.- Tallinn: International Academy of Noosphere, Baltic Branch, 2001-2002, CD with Booklet, ISBN 9985-9277-1-0.*
105. *Аладьев В.З., Ваганов В.А., Гришин Е.П. Дополнительные программные средства математического пакета Maple релизов 6 и 7.- Таллинн: Международная Академия Ноосферы, Балтийское отделение, 2002, 314 с. + CD, ISBN 9985-9277-3-7.*
106. *Аладьев В.З. Эффективная работа в Maple 6/7.- Москва: Изд-во Лаборатория Базовых Знаний, 2002, 334 с. + CD, ISBN 5-93208-118-X.*
107. *Аладьев В.З., Лиопо В.А., Никитин А.В. Математический пакет Maple в физическом моделировании.- Гродно: Изд-во Гродненского госуниверситета, 2002, 416 с.*

108. *Aladjev V.Z., Vaganov V.A. Computer Algebra System Maple: A new software library.*- Tallinn: International Academy of Noosphere, the Baltic Branch, 2002, CD with Booklet.
109. *Aladjev V.Z., Bogdevicius M.A., Prentkovskis O.V. A New Software for Mathematical Package Maple of Releases 6, 7 and 8.*- Vilnius: Vilnius Gediminas Technical University & International Academy of Noosphere, 2002, 404 p., ISBN 9985-9277-4-5, 9986-05-565-2.
110. *Aladjev V.Z., Vaganov V.A. Systems of Computer Algebra: A new software toolbox for Maple.*- Tallinn: International Academy of Noosphere, 2003, 270 p. + CD.
111. *Aladjev V.Z., Bogdevicius M.A., Vaganov V.A. Systems of Computer Algebra: A New Software Toolbox for Maple.* Second edition.- Tallinn: International Academy of Noosphere, the Baltic Branch, 2004.
112. *Aladjev V.Z. Computer Algebra Systems: A New Software Toolbox for Maple.*- Palo Alto: Fultus Corp., 2004, 575 p., ISBN 1-59682-000-4.
113. *Aladjev V.Z. Computer Algebra Systems: A New Software Toolbox for Maple.*- Palo Alto: Fultus Corp., 2004, Adobe Acrobat eBook, ISBN 1-59682-015-2.
114. *Aladjev V.Z. et al. Electronic Library of Books and Software for Scientists, Experts, Teachers and Students in Natural and Social Sciences.*- CA: Palo Alto: Fultus Corporation, 2005, CD.
115. *Aladjev V.Z., Bogdevicius M.A. Maple: Programming, Physical and Engineering Problems.*- CA: Palo Alto, Fultus Corp., 2006, 404 p., ISBN 1-59682-080-2.
116. *Аладьев В.З. Системы компьютерной алгебры. Maple: Искусство программирования.*- Москва: Изд-во БИНОМ, 2006, 792 с., ISBN 5-93208-189-9.
117. *Аладьев В.З. Основы программирования в Maple.*- Таллинн: Международная Академия Ноосферы, 2006, (pdf), ISBN 9985-9508-1-X, <http://www.aladjev-maple.narod.ru>.
118. *Аладьев В.З., Бойко В.К., Ровба Е. Программирование и разработка приложений в Maple.*- Гродно: Изд-во ГрГУ, Таллинн: Международная Академия Ноосферы, 2007, 456 с.
119. *Математическая энциклопедия.*- М.: Изд-во Советская энциклопедия, т. 1, 1977, с. 50-52.
120. *General Cellular Automata Subject Classification.*- <http://dynamics.bu.edu>.
121. *Italian Cellular Automata Program.*- inews-mailgate@bloom-beacon.mit.edu.
122. www.sd-eudb.net (ввести «International Academy of Noosphere» in the full-search field).
123. *Mathematical Problems in Biology / Ed. R. Bellman.*- N. Y.: Academic Press, 1962.
124. *Von Neumann J. Theory of Self-Reproducing Automata / Ed. A.W. Burks.*- Urbana: University of Illinois Press, 1966, 324 p.
125. *Codd E.F. Cellular Automata.*- New York: Academic Press, 1968, 120 p.
126. *Zuse K. Rechner Raum.*- Braunschweig: Friedrich Vieweg & Sohn, 1969, [English translation: *Calculating Space*, MIT Technical Translation AZT-70-164-GEMIT, MIT (Proj. MAC), Cambridge, Mass. 02139, Feb. 1970].
127. *Hedlund G. Endomorphisms and Automorphisms of the Shift Dynamical Systems // Mathem. System Theory, 3, 1969, pp. 320-375.*
128. *Essays on Cellular Automata / Ed. A.W. Burks.*- Urbana: Univ. of Illinois Press, 1970.
129. *Yamada H., Amoroso S. Tessellation Automata // Information and Control, 14, 1969.*
130. *Yamada H., Amoroso S. Structural and Behavioural Equivalence of Tessellation Automata // Information and Control, 18, 1971, pp. 1-31.*
131. *Smith A.R. Cellular Automata Theory / PhD Thesis.*- Stanford: Stanford Univ., 1970.

132. *Banks E.R. Information Processing and Transmission in Cellular Automata / PhD Thesis.*- Massachusetts: MIT Press, 1971, 215 p.
133. *Ostrand T.J. Property Preservation by Tessellation Automata / PhD Thesis.*- New Jersey: The State University of New Jersey, 1972, 178 p.
134. *Kitagawa T. Cell Space Approaches in Biomathematics // Math. Biosciences, 19, 1974.*
135. *Studies on Cellular Automata.*- Tokyo: Research Institute of Electrical Comm., 1975.
136. *Сметанич Я., Иваницкий Г. Модели развивающихся биологических объектов на основе L-систем // Биофизика, XXII, вып. 5, 1979, с. 55-97.*
137. *Wunsch G. Zellulare Systeme.*- Berlin: Akademie-Verlag, 1977, 317 p.
138. *Vollmar R. Algorithmen in Zellularautomaten.*- Stuttgart: B.G. Teubner, 1979, 194 p.
139. *Vollmar R. Some Remarks on Pipeline Processing by Cellular Automata // Comp. and Artificial Intelligence, 6, no. 3, 1987, pp. 263-278.*
140. *Блюмин С.Л. О проблеме конструирования линейными клеточными автоматами // Автоматика и телемеханика, № 11, 1981, с. 131-138.*
141. *Buttler J. Synthesis of one-dimensional binary cellular automata systems from composite local maps // Information and Control, 43, no. 3, 1979, pp. 42-54.*
142. *Buttler J. Decomposable Maps in General Tessellation Structures // JCSS, 32, 1979, pp. 120-137.*
143. *Wolfram S. Statistical Mechanics of Cellular Automata // Rev. Mod. Phys., 55, 1983.*
144. *Wolfram S. Universality and Complexity in Cellular Automata // Physica, 100, 1984.*
145. *Wolfram S. Computation Theory of Cellular Automata // Comm. Math. Phys., 96, 1984.*
146. *Preston K., Duff M. Modern Cellular Automata.*- London: Plenum Press, 1984.
147. *Cellular Automata / Eds. T. Toffoli, S. Wolfram.*- Amsterdam: North-Holland, 1984.
148. *Martin O. Algebraic Properties of Cellular Automata // Comm. Math. Phys., 93, 1984.*
149. *Theory and Applications of Cellular Automata.*- Singapore: World Scientific, 1986.
150. *Toffoli T., Margolus N. Cellular Automata Machines.*- Cambridge: MIT Press, 1987. [*русский пер.: Машины клеточных автоматов.*- Москва: Изд-во Мир, 1991, 278 с.].
151. *Toffoli T. Cellular Automata Machines as Physics Emulators.*- Tricarte: The International Center for Theoretical Physics, 1988, pp. 28-36.
152. *Toffoli T. Cellular Automata and Mathematical Physics / Proc. 6th Intern. Confer. on Math. and Comp. Modelling.*- Sant-Louis, USA, 1987, pp. 163-167.
153. *Gutowitz H. Local Structure Theory for Cellular Automata // Physica, 280, 1987.*
154. *Willson S. Cellular Automata Can Generate Fractals // Discret. Appl. Math., 8, 1984.*
155. *Haken H. Synergetics: An Introduction.*- Berlin-Heidelberg: Springer-Verlag, 1983.
156. *Beitrag zur Theorie der Polyautomaten / Ed. R. Vollmar.*- Braunschweig, 1982.
157. *Cellular Automata and Modelling of Complex Physical Systems.*- Les Houches, 1989.
158. *Кудрявцев В. и др. Основы теории однородных структур.*- Москва: Наука, 1990, 290 с.
159. *Garzon M. Models of Massive Parallelism: Analysis of Cellular Automata and Neural Net works.*- Berlin: Springer-Verlag, 1995, 272 p.
160. *Cellular Automata / Eds. T. Toffoli, R. Vollmar, Report, 108, Saarbrucken, 1995.*

161. *Adamatzky A. Identification of Cellular Automata.*- London: Taylor & Francis, 1994.
162. *Automata, Languages and Development.*- Amsterdam: North-Holland, 1976.
163. *Rozenberg G. Bibliography of L-Systems // Theoret. Comp. Sciences, 5, no. 1, 1977.*
164. *Bellman R. Introduction to Artificial Intelligence.*- San Francisco: Boyd&Fraser, 1978.
165. *Margolus N. CAM-8: A Computer Architecture Based on Cellular Automata.*- Fields Institute Communications, 6, 1996, pp. 167-187.
166. *Информация в Internet*, получаемая по ключевой фразе «Cellular Automata».
167. *Gaylord R., Nishidate K. Modeling Nature: Cellular Automata Simulations with Mathematica.*- Berlin-Heidelberg-London: Springer-Verlag, 1996, 234 p.
168. *Reiter C. Life and Death on a Computer Screen.*- Discover (August 1984), pp. 81-83.
169. *Legendi T. Cellprocessors in Computer Architecture // Comp. Linguist. and Comp. Languages, 11, no. 2, 1976, pp. 147-167.*
170. *Takacs D. A Maximum-Selector Design in CODD-ICRA Cellular Automata // Cybernetics, no. 7, 1977, pp. 105-144.*
171. *Mathematical Research.*- Band 7 (1981), 25 (1985), 29 (1986), 48 (1988).- Berlin: Springer-Verlag.
172. *Gardner M. Wheelies, Life and Other Mathematical Amusements.*- N.Y.: Freeman, 1983.
173. *Achasova S., Bandman O., Markova V., Piskunov S. Parallel Substitution Algorithms: Theory and Application.*- Singapore: World Scientific, 1995, 190 p.
174. *Brender R. A Programming System for the Simulation of Cellular Spaces.*- Ann Arbor: The University of Michigan, 1970, 180 p.
175. *Cellprocessors and Cellalgorithms / Informatik-Skripten, 2.*- Braunschweig, 1981.
176. *Каляев А.В. Однородные коммутационные регистровые структуры.*- Москва: Изд-во Советское Радио, 1978, 168 с.
177. *Варшавский В.И. и др. Однородные структуры.*- Москва: Изд-во Энергия, 1973.
178. *Фрумкин М.А. Систолические вычисления.*- Москва: Изд-во Наука, 1990.
179. *Beitrage zur Theorie der Polyautomaten / Ed. R. Vollmar, Informatik-Skripten, 2.*- Braunschweig, 1982, 324 p.
180. *Мальцев А.И. Алгоритмы и рекурсивные функции.*- Москва: Изд-во Наука, 1986.
181. *Минский М. Вычисления и автоматы.*- Москва: Изд-во Мир, 1971, 364 с.
182. *Матевосян А.А. К вопросу об универсальном клеточном вероятностном автомате // Кибернетические системы, 66.*- Тбилиси, 1980, с. 14-24.
183. *Адаматский А. Идентификация вероятностных клеточных автоматов // Изв. АН СССР. Техническая кибернетика, 3, 1991, с. 90-95.*
184. *Vollmar R. Cellular Spaces and Parallel Algorithms // Parallel Computers - Parallel Mathematics / Ed. M. Feilmeier.*- Oxford: North-Holland Publ. Co., 1977.
185. *Nishio H. A Classified Bibliography on Cellular Automata Theory - With Focus on Recent Japanese References / The 1st Intern. Symp. on USAL, Tokyo, Japan, 1975.*
186. *Smith A.R. Introduction to and Survey of Polyautomata Theory // Automata, Languages, Development / Eds. A. Lindenmayer, G. Rozenberg.*- Amsterdam, 1976.
187. *Toffoli T. Cellular Spaces - An Extensive Bibliography.*- Michigan: University of Michigan, 1976.

188. *Zuse K.* On Self-Reproducing Systems // *Electron. Rechenanl.*, **9**, 1967.
189. *Адаматский А.* Идентификация распределенного интеллекта // *Изв. АН СССР. Техническая кибернетика*, **5**, 1993, с. 186-196.
190. *Lieblein E.* *A Theory of Patterns in Two-dimensional Tessellation Space* / PhD Thesis.- Pennsylvania: University of Pennsylvania, 1968, 218 p.
191. *Gaiski D., Yamada H.* A Busy Beaver Problem in Cellular Automata / *Proc. of the 1st Intern. Symp. on USAL.*- Tokyo, 1975, pp. 171-184.
192. *Rado T.* On Non-computable Functions // *Bell Systems Techn. J.*, **41**, 1962, pp. 877-884.
193. *Wegrzyn S., Gille J., Vidal P.* A Model for Developmental Systems: Generating Word with an Operating System // *Automatica*, **25**, no. **5**, 1989, pp. 695-706.
194. *Wegrzyn S., Gille J., Vidal P.* A Model for Developmental Systems: Generating Word with an Operating System // *Automatica*, **25**, no. **6**, 1989, pp. 707-714.
195. *Blishun A.* The Generation of the Cellular Chain of Assigned Length // *Technical Cybernetics*, **6**, 1975, pp. 95-98.
196. *Mazoyer J.* An Overview of the Firing Squad Synchronization Problem / *LNCS*, **316.**- Berlin: Springer-Verlag, 1988, pp. 82-94.
197. *Барздин Я.* Проблема универсальности в теории растущих автоматов / Автореферат канд. дисс.- Москва: Изд-во МГУ, 1965, 16 с.
198. *Лукашевич И.* Исследование ритмического поведения однородной ткани / Самообучающиеся автоматические системы.- Москва: Изд-во АН СССР, 1966, с. 124-142.
199. *Подколзин А.С.* О сложности моделирования в однородных структурах / Проблемы кибернетики, вып. **30.**- Москва: Изд-во Физматлит, 1975, с. 199-225.
200. *Подколзин А.С.* О поведении однородных структурах / Проблемы кибернетики, вып. **31.**- Москва: Изд-во Физматлит, 1976, с. 133-166.
201. *Cellular Automata and Cooperative Phenomena* / Eds. *Goles E., Voccara N.*- Kluwer: Academic Press, 1993, 348 p.
202. *Parallel and Distributed Algorithms* / Ed. *Cosnard M.*- Elsevier Science, 1989.
203. *Gerhart M. et al.* A Cellular Automata Model of Excitable Media // *Physica*, **D46**, 1990.
204. *Hartman H., Tamayo P.* Reversible cellular automata and chemical turbulence // *Physica*, **D45**, 1990, pp. 293-306.
205. *Adamatzky A.* Controllable Transmission of Information in Excitable Media / *Advanced Materials for Optics and Electronics*, **5**, 1995, pp. 1024-1048.
206. *Batty M.* Cities as Fractals: *Simulating Growth and Form* // *Fractals and Chaos* / Eds. *A. Crilly et al.*- Berlin-New York: Springer Verlag, 1991, pp. 43-69.
207. *Batty M.* Generating urban forms from diffusive growth // *Environment and Planning, A*, **23**, 1991.
208. *Bura S. et al.* Multi-Agents Systems and the Dynamics of a Settlement System. Universite Paris IV, Equipe P.A.R.I.S., CNRS et Universite Paris I, 1994.
209. *Coucelis H.* Cellular Worlds: a Framework for Modelling Micro-Macro Dynamics // *Environment and Planning, A*, **17**, 1985, pp. 585-596.
210. *Deadman P. et al.* Modeling Rural Residential Settlement with Cellular Automaton // *Journal of Environmental Management*, **37**, 1993, pp. 147-160.

211. *Frankhauser P.* Fractal Properties of Settlement Structures / Proc. of the 1st Intern. Seminar of Structural Morphology.- Montpellier-La Grande Motte, September 1992.
212. *Gutowitz H.* Frequently Asked Questions About Cellular Automata.- Santa Fe Institute: MIT Press ALife, November 1994.
213. *Itami R.* Cellular World: Models for Dynamic Conception of Landscape // Landscape Architecture, July-August 1988, pp. 52-57.
214. *Marcus M., Hess B.* Isotropic Cellular Automaton for Modelling Excitable Media // Nature, 347, September 1990, pp. 56-58.
215. *Phipps M.* Dynamical Behavior of Cellular Automata under the Constraint of Neighborhood Coherence // Geographical Analysis, 21 (3), 1989, pp. 187-215.
216. *White R., Engelen G.* Cellular Automata and Fractal Urban Form: A Cellular Modelling Approach to the Evolution of Urban Land Use Patterns // Environment and Planning, A, 25, 1993.
217. *White R., Engelen G.* Urban Systems Dynamics and Cellular Automata: *Fractal Structures between Order and Chaos / Chaos, Solitons and Fractals*, 1993.
218. *Crutchfield J., Hanson J.* Turbulent Pattern Bases for Cellular Automata.- Berkeley: Physics Department University of California, 1997, 34 p.
219. *Guan P.* Cellular Automaton Public-Key Cryptosystems // Complex Systems, 1, 1987.
220. *Ulam S.* *A Collection of Mathematical Problems.*- N.Y.: Interscience Publisher, 1960.
221. *Waksman A.* A Model of Replication // JACM, 16, no. 1, 1969, pp. 122-134.
222. *Winograd T.* *A Simple Algorithm for Self-Replication / MIT Project MAC*, 197, 1970.
223. *Amoroso S., Cooper G.* Tessellation Structures for Reproduction of Arbitrary Patterns // JCSS, no. 5, 1971, pp. 124-144.
224. *Yaku T.* The Constructability of a Configurations in a Cellular Automata // JCSS, no. 7, 1973.
225. *Ulam S.* On Some Mathematical Problems Connected with Patterns of Growth of Figures // Essays on Cellular Automata.- Urbana: Univ. of Illinois Press, 1970, pp. 219-231.
226. *Энциклопедия кибернетики.*- Киев: Изд-во Украинская Советская Энциклопедия, 1975.
227. *Глушков В.М., Цейтлин Г.Е., Ющенко Е.Л.* Алгебра, языки, программирование.- Киев: Изд-во Наукова Думка, 1978, 220 с.
228. *Wagner E.G.* Modular Computers: Graph Theory and Interconnection of Modules / IBM Research Report, RC 1414, 1966, 122 p.
229. *Ferber R.G.-F.* Raumliche und Zeitliche Regeimassigkeiten Zellularer Automaten.- Marburg: Philipps-Universitat Marburg, 1988, 114 p.
230. *Studies on Polyautomata.*- Tokyo: Research Institute of Electrical Commun., 1975.
231. *Sears M.* The Automorphisms of the Shift Dynamical Systems and Relatively Spaces // Mathemat. System Theory, no. 5, 1971, pp. 228-231.
232. *Golze U.* *Endliche, Rationale und Recursive Zellulare Konfigurationen / Doctoral Dissertation*, Hannover: Technical University of Hannover, 1975, 247 p.
233. *Dassow J.* On Finite Properties of Biologically Motivated Languages // Rostocker Mathematical Kolloquium, 4, 1977, pp. 69-84.
234. *ACM Computing Survey: Parallel Processors and Processing*, 9, 1977.
235. *Arbib M.* Simple Self-reproducing Universal Automata // Information and Cont., 9, 1966.

236. *Baker R., Herman G. CELIA – A Cellular Linear Iterative Array Simulator / Proc. of the 4th Conf. on Applications of Simulation, New York, 1970, pp. 64-73.*
237. *Doman A. A Three-Dimensional Cellular Space // Acta Cybernetica, 2, 1976.*
238. *New Concepts and Technologies in Parallel Information Processing, Leyden, 1975.*
239. *Gardner M. On Cellular Automata, Self-Reproduction, the Garden of Eden and the game «Life» // Scientific American, 224, 1971, pp. 112-117.*
240. *Golze U. Bibliographie uber Zellraume / Unveroffentlichtes Manuskript, 1978, 48 p.*
241. *Golze U. Schaltarten fur Parallele Programmschemata und Zellraume / Habilitationsschrift, Technical University of Hannover, 1978, 146 p.*
242. *Laemmel A. General Purpose Cellular Computers / Computers and Automata, ed. J. Fox. Brooklyn, 1971, pp. 591-608.*
243. *Legendi T. INTERCELLAS – An Interactive Cellular Space Simulation Language // Acta Cybernetica, 3, 1977, pp. 261-267.*
244. *Maruoka A., Kimura M. Completeness Problem of One-dimensional Binary Scope-3 Tessellation Automata // JCSS, 9, 1974, pp. 31-47.*
245. *Maruoka A., Kimura M. Completeness Problem of Multidimensional Tessellation Automata // Information and Control, 35, 1977, pp. 52-86.*
246. *Muller H. Selbsreproduktion in Zellularen Netzen // Jahrbuch Uberblicke Math., 1978.*
247. *Nakamura K. Asynchronous Cellular Automata and Their Computational Ability // Systems, Computers and Control, 5, 1974, pp. 58-66.*
248. *Nasu M., Honda M. A Completeness Property of One-Dimensional Tessellation Automata // JCSS, 12, 1976, pp. 36-48.*
249. *Parkinson D. Technical Description of the Distributed Array Processor / ICL Document no. AP2, London, 1976, 184 p.*
250. *Pecht J. SIBICA – Ein Interpreter zur Interaktiven Untersuchung Zellularen Automaten / Manuskript.- Braunschweig: TU Braunschweig, 1976, 86 p.*
251. *L-Systems / Eds. Rozenberg G. and Salomaa A.- Heidelberg-Berlin: Springer, 1974.*
252. *Seiferas J. Linear-Time Computation by Nondeterministic Multidimensional Iterative Arrays // SIAM Journal on Computing, 6, 1977, pp. 487-504.*
253. *Vollmar R. On an Interpreter for the Simulation of Cellular Automata / IFAC Simp. on Discrete Systems, 3, Riga, 1974, pp. 175-184.*
254. *Wang P., Grosky W. The Relation Between Uniformly Structured Tessellation Automata and Parallel Array Grammars / Proc. of Intern. Symp. on USAL, Tokyo, 1975.*
255. *Wargalla L. A Very Extensive Bibliography on Cellular Automata and Random Fields / Manuskript.- Aachen: Aachen University, 1977, 124 p.*
256. *Yamada H., Amoroso S. A completeness problem for pattern generation in tessellation automata // JCSS, 4, 1970, pp. 137-176.*
257. *Колмогоров А.Н. Три подхода к понятию количества информации // Проблемы передачи информации, вып. 1, 1965, с. 3-11.*
258. *Щербakov Е.С. Обзор книги В.З. Аладьева «К теории однородных структур.- Таллинн: Изд-во АН ЭССР, 1972» // Изв. АН ЭССР. Физ.-матем., 22, № 1, 1973.*
-

259. *Тиро А., Ревако В.* Обзор книги В.З. Аладьева «К теории однородных структур.- Таллинн: Изд-во АН ЭССР, 1972» // Изв. АН ЭССР. Физ.-матем., **22**, № 2, 1973.
260. *Машины Тьюринга и рекурсивные функции.*- Москва: Изд-во Мир, 1972, 264 с.
261. *Щербаков Е.С.* О фигурных операциях параллельной подстановки и порождаемых ими унарных алгебрах / Вычислительная техника и вопросы кибернетики, вып. **10**, Изд-во ЛГУ, Ленинград, 1974, с. 90-99.
262. *Butler J., Ntafos S.* The Vector String Descriptor as a Tool in the Analysis of Cellular Automata Systems // *Mathemat. Biosciences*, **35**, 1977, pp. 55-84.
263. *Book of Abstracts* // The 6th Intern. Conf. on Mathem. Modelling, Sant-Louis, 1987.
264. *Prusinkiewicz P., Hanan J.* *Lindenmayer Systems, Fractals, and Plants.*- Berlin-London-Heidelberg: Springer-Verlag, 1992, 120 p.
265. *Smith A.R.* Cellular Automata and Formal Languages / Proc. of the 11th IEEE Conf. on Switching and Automata Theory, 1972, pp. 86-92.
266. *Brauer W.* *Automaten Theorie.*- Stuttgart: B.G. Teubner, 1984 (in Germany).
267. *Адаматский А.И.* О сложности идентификации клеточных автоматов / Автоматика и телемеханика, **9**, 1992, с. 160-171.
268. *Toffoli T.* Computational and Construction Universality of Reversible Cellular Automata / Tech. Rep. no. 192.- The University of Michigan, 1976 (see also // *JCSS*, **15**, 1977).
269. *Adamatzky A., Wuensche A.* Nonconstructible blocks in 1D cellular automata: *Minimal generators and natural systems* // *Applied Math. Comp.*, **3**, 1996.
270. *Amoroso S., Patt Y.* Decision Procedure for Surjectivity and Injectivity of Parallel Maps for Tessellation Structures // *JCSS*, **6**, 1972, pp. 448-464.
271. *Maruoka A., Kimura M.* Condition for Injectivity of Global Maps for Tessellation Automata // *Information and Control*, **32**, 1976, pp. 158-164.
272. *Sato T., Honda N.* Certain Relations between Properties of Maps of Tessellation Automata // *JCSS*, **15**, 1977, pp. 121-145.
273. *Toffoli T., Margolus N.* Invertible Cellular Automata: A Review // *Physica D45*, 1990.
274. *Moore E.* Machine Models of Self-reproduction // *Proc. Symp. Appl. Math.*, **14**, 1962.
275. *Myhill J.* The Converse of Moore's Garden-of-Eden Theorem // *Proc. Amer. Math. Soc.*, **14**, no. 4, 1963, pp. 685-686.
276. *Икауниекс Э.* Об информационных свойствах клеточных структур // Проблемы передачи информации, вып. **6**, № 4, 1970, с. 57-64.
277. *Kari J.* *Decision Problems Concerning Cellular Automata.*- Turku: University of Turku, 1990.
278. *Дэвис М.* Прикладной нестандартный анализ.- Москва: Изд-во Мир, 1980.
279. *Wuensche A., Lesser M.* *The Global Dynamics of Cellular Automata.*- N.Y., 1992.
280. *Voorhees B.H.* *Computational Analysis of One-Dimensional Cellular Automata.*- Singapore: World Scientific, 1996, 134 p.
281. *Кудрявцев и др.* Введение в теорию абстрактных автоматов.- Москва: Изд-во МГУ, 1985.
282. *Твердохлебов В.* Логические эксперименты с автоматами.- Саратов: Изд-во СГУ, 1988.
283. *Takahashi S.* Limiting behaviour of linear cellular automata // *Proc. Japan Acad. Sci.*, **63**, A, 1987.

284. *Shuling Sun*. Dynamic Analysis of Linear Circlic Cellular Automata // Journal of China Univ. Sci. and Technology, **17**, no. **2**, 1987, pp. 219-227.
285. *Demengeot J. et al.* *Dynamic Systems and Cellular Automata*, New-York, 1985.
286. *Martin O. et al.* *Algebraic Properties of Cellular Automata*.- Princeton, 1983, 225 p.
287. *Ibarra O., Jiang T.* On One-way Cellular Arrays // Siam. J. Comp., **16**, no. **6**, 1987.
288. *Thatcher J.* *Universality in the von Neumann Cellular Model* / Tech. Rep., **03105-30-T, ORA**.- Michigan: University of Michigan, 1964, 56 p.
289. *Hedetniemi S.* Variants of *Thatcher*'s Algorithm for Constructing Pulsers / Tech. Rep. **03.05-29-T, ORA**.- Michigan: University of Michigan, 1964, 67 p.
290. *Lee C.* Synthesis of a Cellular Universal Machine Using the **29**-state Model of von Neumann / Automata Theory Notes, Michigan: University of Michigan, 1964, pp. 84-99.
291. *Codd E.* Propagation, Computation and Construction in 2-dimensional Cellular Spaces / Tech. Rep., **06921-1-T, ORA**.- Michigan: University of Michigan, 1965, 87 p.
292. *Amoroso S. et al.* Theory of Iterative Machine Arrays with Some Applications / Tech. Report **ECOM-3193**, Fort MONMOUTH, N.J., 1969, 126 p.
293. *Amoroso S., Cooper G.* The Garden-of-Eden Theorem for Finite Configurations // Proc. Amer. Math. Soc., **26**, no. **1**, 1970, pp. 342-350.
294. *Amoroso S., Cooper G.* Tessellation Structures for Reproduction of Arbitrary Patterns // JCSS, **5**, 1971, pp. 131-141.
295. *Holland J.* Universal Embedding Spaces for Automata / Progress in Brain Research, vol. **17**.- New-York: Elsevier Publishing Comp., 1965, pp. 37-48.
296. *Atrubin A.* Iterative One-Dimensional Real-Time Multiplier / Term Paper for Applied Math.- Harvard: Harvard University, 1962, 28 p.
297. *Fisher P.* Generation of Primes by a One-dimensional Real-Time Iterative Arrays // JACM, **12**, no. **3**, 1965, pp. 48-56.
298. *Ostrand T.J.* Pattern Reproduction in Tessellation Automata of Arbitrary Dimension.- Pennsylvania: University of Pennsylvania, 1971, 66 p.
299. *Anderson P.* Self-Reproducing Cellular Automata, RCA Corporation.- New Jersey: Cinnaminson, 1971, 34 p.
300. *Huang J.* A Universal Cellular Array // IEEE Trans. on Computers, **C-20**, no. **3**, 1971.
301. *Балаховский И.* О возможности моделирования простейших актов поведения дискретными однородными средами // Проблемы кибернетики, вып. **5**, 1962.
302. *Чадеев В.М.* Самовоспроизведение автоматов.- Москва: Изд-во Энергия, 1973.
303. *Maruoka A., Kimura M.* Decomposition Phenomenon in One-dimensional Scope-3 Tessellation Automata with Arbitrary Number of States // Information & Control, **34**, 1977.
304. *Kubo T., Kimura M.* On Completeness Problems of Tessellation Automata / Papers of Techn. Group on Automata and Languages, IECE, Japan *AL PRL*, 1972, pp. 72-79.
305. *Richardson D.* Tessellation with Local Transformations // JCSS, **6**, 1972.
306. *Leitsh A.* Unsolvability of Nondeterministic Parallel Maps Induced by Nondeterministic Cellular Automata // JCSS, **12**, 1976, pp. 1-5.
307. *Bruckner L.* On the Garden-of-Eden Problem for One-Dimensional Cellular Automata // Acta Cybernetica, **4**, 1979, pp. 89-97.

308. *Parallel Processing by Cellular Automata and Arrays.*- N.J.: North-Holland,1988.
309. *Buttler J., Ntafos S.* The vector string descriptor as a tool in the analysis of cellular automata systems // *Mathematical Biosciences*, **35**, 1977, pp. 55-84.
310. *Yaku T.* Inverse and Injectivity of Parallel Relations induced by Cellular Automata // *Proc. Amer. Math. Soc.*, **58**, 1976, pp. 216-220.
311. *Nasu M.* Local maps inducing surjective global maps of one-dimensional tessellation automata // *Mathematical System Theory*, **11**, 1978, pp. 327-351.
312. *Amoroso S., Guilfoyle R.* Some Comments on Neighbourhood Size for Tessellation Automata // *Information and Control*, **21**, 1972, pp. 48-55.
313. *Buttler J.* A Note on Cellular Automata Simulations // *Information and Control*, **3**, 1974.
314. *Burks A.W.* On Backwards-Deterministic, Erasable and Garden-of-Eden Automata / *Tech. Rept. no. 012520-4-T.*- Michigan: University of Michigan, 1971, 45 p.
315. *Maruoka A. et al.* Pattern Decomposition for Tessellation Automata // *JCSS*, **13**, 1976.
316. *Amoroso S., Epstein J.* Indecomposable Parallel Maps in Tessellation Structures // *JCSS*, **13**, 1976.
317. *Yaku T.* Surjectivity of Nondeterministic Parallel Maps Induced by Nondeterministic Cellular Automata // *JCSS*, **12**, 1976, pp. 1-5.
318. *Toffoli T.* Cellular Automata Mechanics / *Tech. Rep. no. 208.*- Univ. of Michigan, 1977.
319. *Nishio H., Kobuchi Y.* Fault Tolerant Cellular Spaces // *JCSS*, **11**, 1975.
320. *Баринов В.В. и др.* К проблеме Улама-Аладьева, в сборнике [12], с. 341-346.
321. *Morita K. et al.* A 1-tape 2-symbol reversible Turing machine // *Trans. of IEICE*, **E72**, no. **3**, 1989.
322. *Morita K. et al.* Computation Universality of One-Dimensional Reversible Cellular Automata // *Trans. of the IEICE*, **E72**, no. **6**, 1989, pp. 758-762.
323. *Яблонский С.* Функциональные построения в K -значной логике // *Труды математического ин-та АН СССР.*- Москва: Изд-во АН СССР, 1958, с. 5-142.
324. *Боднарчук В., Цейтлин Г.* Об алгебрах периодически определенных преобразований бесконечного регистра // *Кибернетика*, **1**, Киев: Изд-во Наукова Думка, 1969, с. 38-44.
325. *Tseitlin G.E.* Formalization of Synchronous Parallel Processing by Heterogeneous Periodically Defined Transformations // *Trans. Institute of Cybernetics, Kiev*, 1982.
326. *Жегалкин И.И.* Арифметизация символической логики // *Матем. сб. Московского математического общества*, **36**, вып. **3 - 4**, 1929.
327. *Мальцев А.И.* Итеративные алгебры Поста.- Новосибирск: Изд-во НГУ, 1976.
328. *Виноградов И.М.* Основы теории чисел.- Москва: Изд-во Наука, 1981, 214 с.
329. *Adamatzky A.* Simulation of Inflorescence Growth in Cellular Automata // *Chaos, Solitons and Fractals*, **7**, no. **7**, pp. 1065-1094.
330. *Apter M.* A formal model of biological development // *Изв. АН ЭССР. Физ.-мат.*, **22**, № **3**, 1973.
331. *Towards a Theoretical Biology / Ed. C. Waddington, 1-4.*- Edinburgh: Univ. Press, 1970.
332. *Baiano I.* Computer Models and Automata Theory in Biology and Medicine // *Mathematical Modelling*, no. **7**, 1986, pp. 1513-1577.
333. *Biomathematics: Extended Survey of the Books and Reports.*- Berlin: Springer, 1989.
334. *Hopenstead F., Peskin C.* *Mathematics in Medicine and Life Sciences.*- Berlin: Springer, 1994.

335. *Peitgen H. et al. Chaos and Fractals: New Frontiers of Science.*- N.Y.: Springer, 1992.
336. *Rozenberg G. Bibliography of L-Systems // Theor. and Comput. Sci., 1, no. 5, 1977.*
337. *Lindenmayer A., Culik K. Growing Cellular Systems // Intern. J. Gen. Sys., 1981.*
338. *Lindenmayer A. Developmental algorithms for multicellular organisms: A survey of L-systems // Journal of Theoret. Biology, 54, 1975, pp. 3-22.*
339. *Laing R. Automation Introspection // JCSS, 13, 1976, pp. 206-218.*
340. *Laing R. Artificial Molecular Machines / The 1st Intern. Symp. on USAL, Tokyo, 1975.*
341. *Laing R. Formalisms for Living Systems / Techn. Rept. N-08226-8-T, Michigan, 1969.*
342. *Herman G. On Universal Computer-Constructors // Inf. Proc. Letters, 2, 1973, pp. 73-76.*
343. *Wigner E.P. The Probability of the Existence of a Self-Reproducing Units / The Logic of Personal Knowledge.- London, 1961, pp. 124-139.*
344. *Richardson D. Continuous Self-Reproduction // JCSS, 12, no. 1, 1976.*
345. *Антер М. Кибернетика и развитие.- Москва: Изд-во Мир, 1970, 214 с.*
346. *Luck H., Luck J. Automata Theoretical Explanation of Tissue Growth / Proc. Intern. Symp. on Mathematical Topics in Biology, Japan, Kyoto, 1978, pp. 174-185.*
347. *Rose S. Cellular Interaction during Differentiation // Biol. Rev., 32, 1958, pp. 351-382.*
348. *Wolpert L. Cell Position and Cell Lineage in Pattern Formation and Regulation // Stem Cells and Tissue Homeostasis, Cambridge University Press, 1978, pp. 29-47.*
349. *Waddington C. New Patterns in Genetics and Development.- Columbia Press, 1962.*
350. *Le Hoi. On Machines as Living Things // Acta Cybernetica, 111/4, 1978, pp. 281-285.*
351. *Tsanev R., Sendov B. Possible Molecular Mechanisms for Cell Differentiation in Multicellular Organisms // Journal of Theoretical Biology, 30, 1971, pp. 337-393.*
352. *SuperComputing EUROPE / European Exhibitions and Conf. on Supercomputing.- London: London University Computer Centre, 2000.*
353. *Euro-Par'96 - Parallel Processing / Ed. L. Bouge.- Lyon: Springer-Verlag, 1996.*
354. *Neural Computers / Ed. R. Eckmiller.- Heidelberg: Springer-Verlag, 1988, 280 p.*
355. *Organizational Change, Evolution, Structuring and Awareness // Esprit Project Report / Ed. N. Guimaraes.- Lisboa: Springer-Verlag, 1997, 285 p.*
356. *Vector and Parallel Processing / Proc. of the 3rd Intern. Conf.- Porto, 1998.*
357. *Applied Parallel Computing / Ed. K. Madsen.- Berlin: Springer-Verlag, 1996, 722 p.*
358. *Grandall R. Projects in Scientific Computations.- N.Y.-Berlin: Springer, 1994, 546 p.*
359. *Esprit 95/96: Research Reports Esprit.- The Netherlands: Springer-Verlag, 1996.*
360. *The Second Conference on Cellular Automata for Research and Industry / Ed. S. Bandini.- Milan: Springer-Verlag, 1997, 197 p.*
361. *Computer Architecture-97 / Ed. R. Pose.- Clayton: Springer-Verlag, 1997, 300 p.*
362. *The International Conference on High-Performance Computing and Networking.- Brussels: Palais des Congress, 1996, 356 p.*
363. *High-Performance Computing and Networking / Ed. P. Slot.- Amsterdam, 1997.*
364. *Journal of Artificial Life and Robotics.- Tokyo: Springer-Verlag.*

365. *Hramkovic J. Communication Complexity and Parallel Computing.*- Kiel: Verlag, 1997.
366. *Sipper M. Evolution of Parallel Cellular Machines.*- Lausanne: Springer, 1997, 199 p.
367. *Applied Parallel Computing Industrial Computation and Optimization / Ed. K. Madsen.*- Lyngby: Springer-Verlag, 1996, 722 p.
368. *Current Contents: Engineering, Computing & Technology.*- Philadelphia: ISI, 1996.
369. *Jan van Leeuwen. Computer Science Today.*- Heidelberg: Springer-Verlag, 1996.
370. *Gruska J. Synthesis, structure and power of systolic computations // J. Theor. Comp. Sci., 71, 1990.*
371. *Computer Science: Books-Journals-Electronic Media.*- Berlin: Springer-Verlag.
372. *Shields M. The Semantics of Parallelism.*- London: Springer-Verlag, 1997, 500 p.
373. *Trends in Parallel and Supercomputing.*- Amsterdam: North-Holland, 1988.
374. *Computational Systems: Natural and Artificial / Ed. H. Haken.*- N.Y.: Springer, 1987.
375. *Glushkov V., Letichevskii A. A Theory of Algorithms and Discrete Processors // Advanced in Information Systems Science, vol. 1, New-York, 1969, pp. 123-139.*
376. *Toffoli T. CAM: A High-Performance Cellular-Automaton Machine // Physica 10D, 1984.*
377. *Computer Design, 27, no. 20, 1988 (см. также все последующие выпуски).*
378. *Toffoli T. Cellular Automata as an Alternative to (rather than an approximation of) Differential Equations in Modelling Physics // Physica 10D, 1984, pp. 117-127.*
379. *Hardy J. et al. Molecular Dynamics of a Classical Lattice-Gas // Phys. Rev. A13, 1976.*
380. *Касами Т. Теория кодирования.*- Москва: Изд-во Мир, 1978, 620 с.
381. *Каляев А. Построение однородных управляющих структур адаптивных автономных роботов // Микропроцессорные средства и системы, 4, 1985, с. 68-78.*
382. *Arbib M., Amari S. Dynamic Interaction in Neural Networks.*- N.Y.: Springer, 1988.
383. *Proceedings of the 7th Intern. Conf. on Math. and Comp. Modelling, Chicago, 1989.*
384. *Aiello G. et al. A Parallel Processor for Simulation of Izing Spin Systems // Computer Physics Communications, 56, 1989, pp. 141-146.*
385. *Tobler W. Cellular Geography // Philosophy in Geography.*- Dodrecht: D Reidel, 1979.
386. *Vichniac G. Simulating Physics with Cellular Automata // Physica 10D, 1984, pp. 96-115.*
387. *Creutz M. Deterministic Izing Dynamics // Annals of Physics, 167, 1986, pp. 62-76.*
388. *Margolus N. Physics-Like Models of Computation // Physica 10D, 1984, p. 81-95.*
389. *Гинзбург С. Математическая теория контекстно-свободных языков.*- М.: Мир, 1970.
390. *Гросс М., Лантен А. Теория формальных грамматик.*- Москва: Изд-во Мир, 1971.
391. *Packard N., Wolfram S. Two-Dimensional Cellular Automata // J. Stat. Phys., 38, 1989.*
392. *Hayes B. Cellular Automaton Offers a Model of World // Sci. Amer., 250, no. 3, 1984.*
393. *Pomeau Y. Invariant in Cellular Automata // Journal of Physics, 3, 1983, pp. 478-489.*
394. *Tucker J. CAM: The Ultimata Parallel Computer // High Technology, 4, (6), 1984.*
395. *Kobuchi Y. A Note on Symmetrical Cellular Spaces // Inf. Proc. Letters, 23, 1987.*
396. *Nasu M. Maps of 1-Dimensional Tesselation Automata and Homomorphisms of Graphs / The 5th IBM Symp. on Math. Foundat. of Comp. Sciences, IBM Japan, 1980.*

397. *Barca D. et al.* Cellular automata for simulation lava flows: A method and examples of the *Ethean* eruptions // *Transp. Theory and Stat. Phys.*, **23** (1-3), pp. 195-232, 1994.
398. *Ishihara K. et al.* Numerical simulation of lava flows some volcanoes in Japan / *Proc. in Volcanology*. Vol. 2, ed. by *J. Fink.*- Tokyo: Springer-Verlag, 1989.
399. *Avolio M., Gregorio S.* A cellular «Blocks» model for large surface flows and applications to lava flows // *ACRI-2004*, LNCS 3305.- Berlin: Springer-Verlag, 2004, pp. 415-434.
400. *Coppola L. et al.* Simulation of restricted self-diffusion // *Molecular Simulation*, vol. 7, Gordon and Breach Science Publishers S.A., 1991, pp. 241-247.
401. *Gregorio S. et al.* Mount ontake landslide simulation by the cellular automata model *SCIDDICA-3* // *Phys. Chem. Earch (A)*, vol. 24, no. 2, 1999, pp. 131-137.
402. *Gregorio S. et al.* Applying cellular automata to complex environmental problems: *The simulation of the bioremediation of contaminated soils* // *Theoretical Computer Science*, **217**, 1999, pp. 131-156.
403. *Systolic Parallel Processing* // *APC Volume 5*, 1993, 712 p.
404. *Peitgen H. et al.* *Fractals in the Fundamental and Applied Sciences.*- Berlin: Springer-Verlag, 1991.
405. *Pickover C.A.* *Chaos and Fractals.*- Berlin: Springer-Verlag, 1998, 468 p.
406. *Цейтлин Г.Е.* Некоторые вопросы теории многомерных периодически определенных преобразований на однородных структурах / Труды 4-й Всес. конф. по однородным вычислительным системам и средам.- Киев: Изд-во Наукова Думка, 1975, 229-231.
407. *Wolfram S.* *A New Kind of Science.*- N.Y.: Wolfram Media, 2002, ISBN 1-57955-008-8.
408. *Астафьев Г.Б. и др.* Клеточные автоматы.- Саратов: Изд-во «Колледж», 2003, 23 с.
409. *Rennard J.-P.* Implementation of logical functions in the game «*Life*» // *Collision Based Computing* / Ed. by *A. Adamatzky*, Springer, 2002, pp. 419-512.
410. *Cannataro M. et al.* A parallel cellular automata environment on multicomputers for computational science // *Parallel Computing*, **21** (1995), pp. 803-823.
411. *S. Di Gregorio et al.* High performance scientific computing by a parallel cellular environment // *Future Generation Computer Systems*, **12** (1997), pp. 357-369.
412. *Britti V. et al.* A cellular model for soil erosion by rainfall // *ISCS-99*, Roma, 1999.
413. *S. Di Gregorio et al.* A microscopic freeway traffic simulator on a highly parallel system // *Parallel Computing: State-of-the Art and Perspectives.*- Amsterdam: Elsevier, 1996.
414. *S. Di Gregorio et al.* *SCIDDICA-3*: A cellular automata model for landslide simulation / *Advances in Intelligent Systems*. Ed by *F.C. Morabito*, IOS Press, 1997, pp. 324-330.
415. *Bellman R. et al.* Mathematics in medicine: Tumor detection, radiation dosimetry, and simulation in psychotherapy, in the collection [2], pp. 282-314.
416. *Akishin P.G. et al.* Simulation of earthquakes with cellular automata // *Discrete Dynamics in Nature and Society*, vol. 2, no. 4, 1999.
417. *Королев Л.Н.* О задачах системного программирования в нечисловой обработке / *Современные проблемы прикладной математики и матфизики.*- Москва: Наука, 1988.
418. *Wolf-Gladrow D.A.* *Lattice-Gas Cellular Automata and Lattice Boltzmann Models.*- Berlin: Springer-Verlag, 2000, 308 p.
419. *Rocha L.M.* *Evolutionary Systems and Artificial Life.*- Los Alamos: Los Alamos National Laboratory, Lecture Notes, *NM 87545*, 1997.

420. *Preston K.* Cellular Automata / Encyclopedia of Physical Science and Technology, vol. 1, Academic Press, 1987, pp. 17-34.
421. *Demongeol J., Tchuente M.* Cellular Automata and Dynamic Systems // Encyclopedia of Physical Science and Technology, vol. 1, Academic Press, 1987, pp. 35-44.
422. *Ванаг В.* Исследование пространственно распределенных динамических систем методами вероятностного клеточного автомата // УФН, т. 169, № 5 (1999), с. 481-505.
423. *Zuse K.* Rechnender Raum, Elektronische Datenverarbeitung, vol. 8, p.p. 336-344, 1967.
424. *Parallel Algorithms and Applications* / Ed. G. Megson, University of Reading, U.K., 1999.
425. *Green D.G.* Cellular Automata / Preprint.- Australia: Charles Sturt University, 1993.
426. *Lilly H.A.* The use of cellular automata in the classroom / Proc. of the ACM/IEEE Conf. on Supercomputing, San Diego, California, 1995.
427. <http://citeseer.ist.psu.edu/93693.html>
428. *Spezzano G., Talia D.* CARPET: A programming language for parallel cellular processing / Proc. European School on Parallel Programming Environments, 96, France, 1996.
429. *Rendell P.* A Turing Machine in Conway's Game Life.- Полное изложение работы находится на сайте http://www.cs.ualberta.ca/~bulitko/F02/papers/tm_words.pdf.
430. *Toffoli T., Margolus M.* The CAM-7 Multiprocessor: A Cellular Automata Machine / Tech. Memo LCS-TM-289, MIT Lab. for Comp. Sci., 1985.
431. *Schrandt R., Ulam S.* On Patterns of Growth of Figures in Two Dimensions // Notices of the American Mathematical Society, 7, p. 642, 1960.
432. *Holladay J., Ulam S.* On Some Combinatorial Problems in Pattern of Growth // Notices of the American Mathematical Society, 7, p. 234, 1960.
433. *Schrandt R., Ulam S.* On recursively defined geometrical objects and patterns of growth (in the collection [128], pp. 232-243).
434. *Ulam S.* On some mathematical problems connected with pattern of growth of figures / Proc. of Symp. in Applied Mathematics, 14, pp. 215-224, 1962 (also in the collection [128], p. 219).
435. *Renz W. et al.* Interactive visualization of three-dimensional cellular automata // Computers in Physics, 8, no. 5, September 1994, p. 550.
436. *Eckart D.* Cellular automata simulation system, ver. 2 / SIGPLAN notices, 27(8):99, 1992.
437. *StarLogo.* Logo Computer Systems Inc., N. Y., 1999
438. *Seutter F.* CEPROL: A cellular programming language // Parallel Comp., 2, 1985.
439. *Hasselbring W.* CELIP: A cellular language for imaging processing // Parallel Comp., 14, 1990.
440. *Mou Z.* CAL: A cellular automata language // Proc. of the 27th Conf. on Parallel Processing for Scientific Computing, SIAM Press, 1995, pp. 722-727.
441. *Мазуренко В.И., Основина Л.В.* Основные результаты научной активности ТТГ по параллельной обработке и параллельным алгоритмам (1979-1982), в книге [12], с. 347-357.
442. *Parallel Processing and Parallel Algorithms - Survey* / Ed. V. Z. Aladjev.- Tallinn: Estonian Branch of the VGPTI, 1983, 255 p.
443. *Encyclopaedia of Mathematics*, vol. 1.- London: Kluwer Academic, 1988, pp. 300-301.
444. *Bays C.* A new game of three-dimensional Life // Complex Systems, 5, 1, 1991, pp. 15-18.

445. *Baranoff S.* Cellular automata on personal computer / Proc. of *EuroForth-92* Conf., Southampton, UK, October 1992, pp. 79-80.
446. *Luciano R. da Silva L. and et al.* Simulations of mixtures of two Boolean cellular automata rules // *Complex Systems*, 2, 1988, pp. 29-37.
447. *Ladd S.* C++ Simulations and Cellular Automata.- Book and Disk., M and T Books, 1995.
448. *Wojtowicz M.* 1D and 2D cellular automata explorer, <http://psoup.math.wisc.edu/mcell/>.
449. *Rucker R., Walker J.* CellLab.- <http://www.fourmilab.ch/cellab/>.
450. *Maydwell G.* The super animation-reduction cellular automata simulator (SARCASim).- <http://www.collidoscope.com/ca/>
451. *Francis E.* Cellular automata simulation engine.- www.alcyone.com/software/cage/.
452. *Hiebeler D.* A brief review of CA packages // *Physica D45*, p. 463, 1990.
453. *Myczkowski J.* Parallel programming for cellular automata // Cellular Automata and Modeling of Compl. Phys. Syst. / Eds. *P. Manneville et al.*- Berlin: Springer-Verlag, 1989.
454. *Hansen P.* Parallel cellular automata: A model program for computational science // *Concurrency: Practice and Experience*, 5, no. 5, 1993, pp. 425-448.
455. *Wuensche A.* Attractor Basins of Discrete Networks / Cognitive Science Research Paper, 461, PhD Thesis.- Sussex: University of Sussex, 1997.
456. *Wuensche A.* Classifying of cellular automata automatically / Tech. Rep. 98-02-018, Santa Fe, 1998.
457. *Wegner T., Tyler B.* Fractal Creations. Second edition.- Waite Group Press, 1993 (see also <http://spanky.triumf.ca/www/fractint/fractint.html>)
458. *Rudolf L.* Computer modeling and computational paradigm / Fundamentals in Complex Systems.- Boston: New England Complex Systems Institute, October 1999.
459. *Stiles P., Glickstein I.* Highly parallelizable route planner based on cellular automata algorithms // *IBM Journal of Research and Development*, 38, no. 2, p. 167, March 1994.
460. *The NAG Parallel Library* / Technical Report.- Oxford: NAG Ltd., 1999.
461. *Algorithms for Parallel Processing* / Eds. *M. Heath et al.*- Berlin: Verlag, 1999, 366 p.
462. *Roosta S.* Parallel Processing and Parallel Algorithms.- Heidelberg: Verlag, 1999, 550 p.
463. *The International Workshop on Parallel Processing by Cellular Automata* / Central Institute of cybernetics and information processes of Academy of Sciences of GDR, Berlin, 1982.
464. *Proceedings of the 2nd International. Workshop on Parallel Processing by CA and Arrays (PARCELLA-84)* / Eds. *G. Wolf et al.*- Berlin: Akademie-Verlag, 1984.
465. *Proceedings of the 3rd International. Workshop on PARCELLA-86* / Eds. *G. Wolf et al.*- Amsterdam: North-Holland, September 9-11, 1986.
466. *Proceedings of the 4th International. Workshop on PARCELLA-88* / Eds. *G. Wolf et al.*, LNCS 342.- Amsterdam: North-Holland, 1988.
467. *Proceedings of the 5th International Workshop on PARCELLA-90* / Eds. *G. Wolf et al.*- Berlin: Akademie-Verlag, September 17-21, 1990.
468. *Hemmerling A.* On the power of cellular parallelism, in the Proceedings [465].
469. *Spirakis P.* Fast parallel algorithms and the complexity of parallelism, in the Proceedings [466].
470. *Parallel Problem Solving from Nature* / Eds. *Manner R., Manderick B.*- Brussels, 1992.

471. *High Performance Computing in Science and Engineering* / Eds. E. Krause, W. Jäger.- Berlin-Heidelberg: Springer-Verlag, 1999, 500 p.
472. *High-Performance Computing and Networking* / Proc. of the 7th Intern. Conf. *HPCN Europe* / Eds. R. Sloot et al.- Amsterdam: Springer-Verlag, 1999, 1318 p.
473. *High Performance Computing* / Proc. of the 2nd Intern. Symp.- Kyoto, 1999, 408 p.
474. *Handbook on Parallel and Distributed Processing* / Eds. J. Blazewicz et al.- Berlin-Heidelberg: Springer-Verlag, 1999, 635 p.
475. Lucquin B., Pironneau O. *Introduction to Scientific Computing*.- London: John Wiley, 1998.
476. *Parallel Computations* / Eds. R. Zinterhof et al, 4th Intern. *ACPC* Conf.- Salzburg, 1999.
477. *Computer Science* / Newsletter.- Berlin-New York: Springer-Verlag, 1985-2007.
478. Jorrand Ph. Term Rewriting as a Basis for the Design of a Functional and Parallel Programming Language / Lect. Notes Comp. Sci., 232 (1986).
479. *Parallel Symbolic Languages and Systems* / Ed. T. Ito.- Paris: Springer, 1996.
480. *The 2nd Intern. Conf. on Massively Parallel Computing Systems*, Ischia, 1996.
481. Milne G. et al. Realising massively concurrent systems on the *SPACE* machine / Proc. of *IEEE* Workshop on *FPGAs* for Custom Comp. Machines, pp. 26-32, Napa, CA, 1993.
482. *Genetic Programming* / Eds. R. Poli et al., Proc. of the 2nd European Workshop.- Berlin: Springer-Verlag, 1999, 283 p.
483. Miller M. et al. Representing and computing regular languages on massively parallel networks // *IEEE Transactions on Neural Networks*, 2(1): 56-72, 1991.
484. Wuensche A. *DDLab* manual: Cellular Automata – *Random Boolean Networks*.- Discrete Dynamics Lab., Santa Fe Institute, 1996, 60 p.
485. Hillis W. The connection machine: *A computer architecture based on cellular automata* // *Physica*, 10D, 1984, pp.213-228.
486. Allinson N., Sales M. *CART* – A cellular automata research tool // *Microprocessors and microsystems*, 16(8): 4093, 1992.
487. Boghosian B. Cellular automata simulation of two-phase flow on the *CM-2* connection machine computer // *Supercomputing*, vol. II: Science and Applications, 1989, pp. 34-44.
488. Bouazza K. et al. Experimental cellular automata on the *ArMen* machine / Proc. of the Workshop on Algorithms and Parallel VLSI Architectures II, France, 1991, pp. 317-322.
489. Carrera J. et al. Architecture of a *FPGA*-based coprocessor: The *PAR-1* / Proc. of *IEEE* Workshop on *FPGAs* for Custom Computing Machines, Napa, April 1995, pp. 20-29.
490. Chowdhury D. et al. Cellular automata based synthesis of easily and fully testable *FSMs* / Proc. of the *IEEE/ACM* Intern. Conf. on Computer-Aided Design, November 1993.
491. Drayer T. et al. *MORRPH*: A Modular and reprogrammable real-time processing hardware / Proc. of *IEEE* Workshop on *FPGAs* for Custom Comp. Machines, Napa, 1995.
492. Eckart J. A parallel extendible scalable cellular automata machine: *PE-SCAM* / Proc. of the Conf. on Computer Science, ACM Press, March 1992, pp. 467-472.
493. *Cellular Automata* / Eds. Farmer J. et al.- Amsterdam: North-Holland, 1984.
494. Marriott A. et al. *VLSI* implementation of smart imaging system using two-dimensional cellular automata // *IEEE Proc.*, G, Circuits, Devices and Syst., 138(5):582, October 1991.

495. Pries W. *et al.* Group properties of cellular automata and VLSI applications / *T-COMP*, 35, 1986.
496. <http://linwww.ira.uka.de/bibliography/Parallel/cellular.automata.html>.
497. Hunt U.J., Some Methods of Calculation of Carrying Capacity of the Railways of Baltic Region / Proc. Intern. Conf. *TRANSBALTICA-99*, April 1999, Vilnius, pp. 392-398.
498. Dupuis A., Chopard B. Parallel simulation of traffic in Geneva using cellular automata // *Parallel and Distributed Computing Practices Journal*, 3, 1999.
499. Chowdhury D., Schadschneider A. Self-organization of traffic jams in cities: *Effects of stochastic dynamics and signal periods* // *Physical Review E*, vol. 59, 1999.
500. *Traffic and Mobility: Simulation-Economics-Environment* / Eds. W. Brilon *et al.*- Berlin-Heldelberg: Springer-Verlag, 1999, 450 p.
501. *Environment and planning*, A, 22 (1990), 23 (1991), pp. 511-544, 25 (1993), p. 75.
502. Green D. *et al.* A generic approach to landscape modelling // *Mathematics and Computers in Simulation*, 32, 1990.
503. Kirley M. *et al.* Investigation of a cellular genetic algorithm that mimics evolution in a landscape / Proc. of the 2nd Conf. on simulated evolution and learning / Eds. Xin Yao *et al.*- Canberra, 1998.
504. Parisi D. A Cellular Automata Model of the Expansion of the Assyrian Empire, *in the book* [360].
505. Hogeweg P. Cellular automata as a paradigm for ecological modeling // *Applied Mathematics and Computation*, 27, 1988, pp. 81-100.
506. Silvertown J. *et al.* Cellular automaton models of interspecific competition for space - *The effect of pattern on process* // *Journal of Ecology*, 80, 1992, pp. 527-534.
507. Colasanti R., Grime J. Resource dynamics and vegetation processes: a deterministic model using two-dimensional cellular automata // *Functional Ecology*, 7, 2, 1993, p. 169.
508. Green D. *et al.* Simulating spatial patterns in forest ecosystems // *Mathematics and Computers in Simulation*, 27, 1985, pp. 191-198.
509. Green D. Cellular automata models of crown-of-thorns outbreaks // *Acanthaster and the Coral Reef* / *Lecture Notes in Biomathematics*, 88.- Berlin: Springer-Verlag, 1990.
510. Huberman B., Glance N. Evolutionary games and computer simulations // *Proc. of the National Academy of Sciences, USA*, 90, 1993, pp. 7716-7718.
511. Nowak M., May R. Evolutionary games and spatial chaos // *Nature*, 359, 1992.
512. Satoh K. Computer experiment on the complex behavior of a two-dimensional cellular automaton as a phenomenological model for an ecosystem // *JPSJ*, 58, no. 10, 1989.
513. Satoh K. Single and multiarmed spiral patterns in a cellular automata model for an ecosystem // *Journal of the Physical Society of Japan (JPSJ)*, 59, no. 12, 1990, pp. 4204-4207.
514. Bradbury R. *et al.* The idea of complexity in ecology // *Senckenbergiana maritima* 27, (3/6), 1996.
515. Bhargava S. *et al.* A stochastic cellular automata model of innovation diffusion / *Technological forecasting and social change*, 44, no. 1, August 1993, p. 87.
516. Jebelean T. Long Integer Multiplication by Cellular Automata: *An Annotated Bibliography* / *Techn. Rep., RISC-Linz*, Johannes Kepler University, Linz, Austria, 1993.
517. Miya E. Multiprocessor - Distributed Processing Bibliography / *Proc. of the Entity-Relationship Conference*, North-Holland, Karlsruhe, October 1992.
518. Bayrak C. *et al.* The annotated bibliography on cellular automata / *Tech. Rep., 90-CSE-30*, Southern Methodist University, 1990.

519. *Gutowitz H.* Maps of recent CA and lattice gas automata literature // *Physica D45*, 1990.
520. *Dehne P., Sack J.-R.* A Survey of Parallel Computational Geometry Algorithms / Proc. of the 4th Int. Workshop on Parallel Processing by Cellular Automata and Arrays, 1988.
521. *Cimagalli V., Balsi M.* Cellular Neural Networks: A Review / Proc. of the 6th Italian Workshop on Parallel Architectures and Neural Networks, Vietri sul Mare, Italia, May 1993.
522. *Maruoka A., Kimura M.* Injectivity and surjectivity of parallel maps for cellular automata // *JCSS*, 18, 1979, pp. 47-64.
523. *Langton C.* Studying artificial Life with cellular automata // *Physica D22*, 1986.
524. *Langton C.* *Artificial Life*.- Redwood City: Addison-Wesley, 1989.
525. *Langton C. et al.* *Artificial Life II*.- Addison-Wesley, Reading, MA, 1990.
526. *Thalmann D.* A Lifegame Approach to Surface Modelling and Rendering // *The Visual Computer*, 2, no. 6, 1986, pp. 384-390.
527. *Sutner K.* The sigma-game and cellular automata // *American Math. Monthly*, 97, 1990.
528. *Alstrom P, Leao J.* Self-organized criticality in the game of life // *Phys. Rev. E49*, 4, 1994.
529. *Bays C.* A new candidate rule for the game of three-dimensional life // *Complex Systems*, 6, 1992.
530. *Garcia J. et al.* Nonlinear dynamics of cellular-automaton game of life // *Phys. Rev. E48*, 5, 1993.
531. *Sipper M.* Studying artificial life using a simple, general cellular model // *Art. Life J.*, 2, no. 1, 1995.
532. *Poupet V.* Simulating 3D Cellular Automata with 2D Cellular Automata / *MFCS 2004*, eds. *J. Fiala et al.*, LNCS 3153.- Berlin-Heidelberg: Springer-Verlag, 2004, pp. 439-450.
533. *Rroka Z.* Simulations between cellular automata on Cayley graphs // *Theor. Comp. Sci.*, 225, 1999.
534. *Martin B.* A geometrical hierarchy on graphs via cellular automata // *Fundamenta Informaticae*, 52, 2002, pp. 157-181.
535. *Мартыненко Б.* Языки и трансляция.- С.-Петербург: Изд-во С.-Петербургского ун-та, 2004.
536. http://www.geocities.com/ca_hs_ref, <http://www.cellular-automata.narod.ru>
537. *Miranda E. R.* *Composing Music with Computers*.- Oxford: Focal Press, 2001.
538. *Miranda E.* Granular synthesis of sounds by means of cellular automata // *Leonardo*, 28(4), 1995.
539. *Dewdney A.* A cellular universe of debris, droplets, defects and demons // *Sci. Amer.*, August 1989.
540. *Porter R., Bergmann N.* Evolving FPGA based cellular automata // LNCS 1585.- Berlin: Springer-Verlag, 1999.
541. *Cattaneo G., Margara L.* Topological denitions of chaos applied to cellular automata dynamic // LNCS 1450.- Berlin-Heidelberg: Springer-Verlag, 1998.
542. *Пачински А.* *Cellular Automata: A Discrete Universe*.- Singapore: World Sci. Pub., 2001.
543. *Gunji Y.* The algebraic properties of finite cellular automata // *Physica D41*, 2, 1990.
544. *Clementi A., Impagliazzo R.* Graph theory and interactive protocols for reachability problems on finite cellular automata // LNCS 778.- Berlin-Heidelberg: Springer, 1994.
545. Библиотека программных средств для Maple - www.aladjev-maple-book.narod.ru/
546. *Дмитриев А.С. и др.* Динамический хаос как парадигма современных систем связи // *Зарубежная радиоэлектроника, № 10*, 1997.
547. *Дмитриев А.С., Старков С.О.* Передача сообщений с использованием хаоса и классическая теория информации // *Зарубежная радиоэлектроника, № 11*, 1998.

548. *Barca D. et al.* Cellular automata for simulating lava flows: *A method and examples of the Etnean eruptions* // *Transport Theory and Statistical Physics*, **23(1-3)**, 1994.
549. *Bennett C.H et al.* Cellular Automata '86 Conference / Tech. Rep. *MIT/LCS/TM-317*, MIT Lab. for Comp. Sci., 1986.
550. *Binder P.M.* Domains and synchronization in high-dimensional cellular automata // *Phys. Rev.*, **E51**, 1995.
551. *Bruyn L., Van Den Bergh.* Algebraic properties of linear cellular automata // *Linear algebra and its applications*, **157**, 1991.
552. *Bunimovich L.A., Troubetzkoy S.* Rotators, periodicity, and absence of diffusion in cyclic cellular automata // *Journal of Stat. Phys.*, **74(1/2)**, 1994.
553. *Chopard B., Droz M.* Cellular automata model for heat conduction in a fluid // *Physical Letters, A*, **126 (8/9)**, 1988.
554. *Chou Hui-Hsien.* Self-Replicating Structures in a Cellular Automata Space / PhD Dissertation, *CS-TR-3715/UMIACS-TR-96-85*, Univ. of Maryland, 1996.
555. *Culik K., Yu S.* Undecidability of CA classification schemes // *Complex Systems*, **2**, 1988.
556. *Culik K. et al.* Formal languages and global CA behavior // *Physica D45*, 1990.
557. *D'amico et al.* On computing the entropy of cellular automata / *LNCS 1443*.- Berlin, 1998.
558. *Das R. et al.* A genetic algorithm discovers particle-based computation in cellular automata / *Parallel Problem Solving in Nature*.- Berlin: Springer-Verlag, 1994.
559. *Durand B.* Automates cellulaires: reversibilite et complexite / PhD Thesis, Ecole Normale Supérieure de Lyon, 1994.
560. *Gács P.* Reliable cellular automata with self-organization / *Proc. of the Conf. on Foundations of Comp. Sci.*, 1997.
561. *Griffeath D., Gravner J.* Cellular automaton growth on Z^1 : Theorems, examples, and problems // *Advances in Appl. Math.*, **21**, 1998.
562. *Huang W.* General Purpose Cellular Automata Programming / Tech. Rep. *TR #02-03*, Iowa, 2002.
563. *Li W. et al.* Transition phenomena in CA rule space // *Physica D45*, 1990.
564. *Mitchell M. et al.* Evolving cellular automata to perform computations: *Mechanisms and impediments* // *Physica D75, (1-3)*, 1994.
565. *Sarkar P.* A brief history of cellular automata // *ACM Comp. Surveys*, **32**, no. **1**, 2000.
566. *Kier L.B. et al.* *Modeling Chemical Systems using Cellular Automata*.- Berlin: Springer, 2005.
567. *Аладьев В.З., Бойко В.К., Ровба Е.А.* Классические однородные структуры: *Теория и приложения*.- Гродно: Изд-во ГрГУ, Гродненский государственный университет, 2008, 486 с.
568. *Жукова Е.А.* *Hi-Tech: Динамика взаимодействий науки, общества и технологий / Автореферат дисс. на соискание ученой степени доктора философских наук*, Томск, 2007.
569. *Лебедев А.* Вероятностные методы классификации клеточных автоматов / *Фундаментальная и прикладная математика*, **8**, № **2**, 2002, 621- 626.
570. *Задорожный В.Н.* Общая статистическая структура простейших клеточных автоматов // *Омский научный вестник*, № **2(31)**, 2005, 152-157.
571. *Задорожный В.Н., Юдин Е.Б.* Мультиагентный подход в имитационном моделировании клеточных автоматов и сетевых структур // *Имитационное моделирование: Теория и практика, ИММОД-2007*, Санкт-Петербург, 2007.

572. *Задорожный В.Н.* Имитационное и статистическое моделирование.- Омск, 2007.
573. *Бандман О.Л.* Параллельная реализация асинхронных клеточно-автоматных алгоритмов // Вестник Томского государственного университета.- Приложение № 18, 2006.
574. *Nagel K., Schreckenberg M.* A cellular automaton model for freeway traffic // J. Physique I France 2.
575. *Короновский А., Трубецков Д.* Нелинейная динамика в действии.- Саратов: «Колледж», 2002.
576. *Малинецкий Г., Степанцов М.* Клеточные автоматы для расчета некоторых газодинамических процессов // Ж. вычисл. матем. и матем. физ., 36, № 5, 1996.
577. *Тарасевич Ю.Ю.* Математическое и компьютерное моделирование, Астрахань, 2004.
578. *Шредер М.* Фракталы, хаос, степенные законы.- Москва: РХД, 2005, ISBN 5-93972-041-2.
579. *Ашихмин В.Н. и др.* Введение в математическое моделирование.- Москва: Изд-во Логос, 2004.
580. *Малинецкий Г., Степанцов М.* Моделирование динамики движения толпы при помощи клеточных автоматов с окрестностью Марголуса // Изв. Вузов, Прикладная нелинейная динамика, 5, № 5, 1997.
581. *Новое в синергетике / Новая реальность, новые проблемы, новое поколение.*- Москва: Наука, 2007.
582. *Коротаев А. и др.* Законы истории. Математическое моделирование исторических макропроцессов: Демография, экономика, войны.-Москва: Изд-во КомКнига, 2005.
583. *Breukelaar R., Bäck Th.* Using a genetic algorithm to evolve behavior in multi dimensional cellular automata, Universiteit Leiden, 2300 RA Leiden, The Netherlands.
584. *Inverso S. et al.* Evolutionary methods for 2D cellular automata computation.- <http://www.cs.rit.edu/~drk4633/mypapers/gacaProj.pdf>, 2002.
585. *Mitchell M., Crutchfield J.* The evolution of emergent computation / SFI Tech. Rept., 94-03-012, Proc. of the National Academy of Sciences, USA, 1994.
586. *Бандман О.Л.* Список публикаций автора по КА (СА).- <http://www.ssdonline.sccc.ru/o-1/>
587. *Бандман О.Л.* Параллельная реализация клеточно-автоматных алгоритмов пространственной динамики / Сибирский журнал вычислительной математики, 4, 2007.
588. *Бандман О.Л.* Отображение физических процессов на их клеточно-автоматные модели // Вестник Томского Гос. Университета, Томск: Изд-во ТГУ, № 3, 2008.
589. *Кудрявцев и др.* Введение в теорию автоматов.- Москва: Изд-во Наука, 1985, 318 с.
590. *Подколзин А.С.* О сложности моделирования в однородных структурах / Проблемы кибернетики, 34, 1978, 109-131.
591. *Landauer R.* Irreversibility and heat generation in the computing process / IBM J. of Res. and Development, vol. 5, no. 3, 1961, pp. 183-191.
592. *Fredkin E., Toffoli T.* Conservative logic // Int. J. of Theor. Physics, vol. 21, no. 3/4, 1982.
593. *Валиев К., Кокин А.* От квантов к квантовым компьютерам // Природа, № 12, 2002.
594. *Бенне Ш., Ландауэр Р.* Физические пределы вычислений / В мире науки, № 9, 1985.
595. *Soma N.Y., Melo J.P.* On irreversibility of von Neumann additive cellular automata on grids // Discrete Applied Mathematics, vol. 154, 5, April 2006, pp. 861-866.
596. *Cellular Automata: Theory and Experiment / Ed. H. Gutowitz.*- Massachuzets: MIT Press, 1991.
597. *Imai K., Morita K.* Firing squad synchronization problem in reversible cellular automata // Theoretical Computer Science, vol. 165, 2, October 1996, pp. 475-482.

598. *Romani F.* The parallelism principle: Speeding up the cellular automata synchronization // *Information and Control*, vol. **36**, **3**, March 1978, pp. 245-255.
599. *Bernardia V., Duranda B., Kari J.* A new dimension sensitive property for cellular automata // *Theoretical Computer Science*, vol. **345**, **2-3**, 2005, pp. 235-247.
600. *Supratid S., Sadananda R.* Determinism in cellular automata-investigation of transition rules / *Intelligent Sensing and Information Processing*, 2004, pp. 391 – 396.
601. *Das A., Chaudhuri P.* Vector space theoretic analysis of additive cellular automata and its application for pseudoexhaustive test pattern generation // *IEEE*, vol. **42**, **3**, 1993, pp. 340-352.
602. *Schroeder M.* *Fractals, Chaos, Power Laws.*- New York: W.H. Freeman, 1991, 371 p.
603. *Delorme M., Mazoyer J.* *Cellular Automata: A Parallel Model.*- Berlin: Springer, 1999, 373 p.
604. *Dubacq J.-C. et al.* Kolmogorov complexity and cellular automata classification // *Theoretical Computer Science*, vol. **259**, no. **1**, 2001, pp. 271-285.
605. *Al-Rabadi, Anas N.* Reversible Logic Synthesis / *From Fundamentals to Quantum Computing, XXIII.*- Berlin: Springer, 2004, ISBN 978-3-540-00935-1, 427 p.
606. *James D., Niraj K. Jha.* Reversible logic synthesis with Fredkin and Peres gates // *ACM Journal on Emerging Technologies in Computing Systems*, vol. **4**, **1**, 2008, ISSN 1550-4832.
607. *Kerntopf P.* A new heuristic algorithm for reversible logic synthesis // *Design Automation Conf. (DAC)*, ACM, Anaheim, CA, USA, 2004.
608. *Anas N., Al-Rabadi, Zwick M.* Reversible modified reconstructability analysis of Boolean circuits and its quantum computation // *Kybernetes*, vol. **33**, **5/5**, 2004, pp. 921-932, ISSN 0368-492X.
609. *Feynman R.P.* *Feynman Lectures on Computation.*- N.Y.: Perseus Books, 1996.
610. *Frank M.P.* Reversibility for Efficient Computing / Ph.D. thesis, *EECS Department*, Massachusetts Institute of Technology, 1999.
611. *Frank M.P.* Approaching the physical limits of computing // *Thirty-Fifth International Symp. on Multiple-Valued Logic*, University of Calgary, Calgary, Canada, 2005, pp. 168-185.
612. *Zheng Y., Huang C.* A novel Toffoli network synthesis algorithm for reversible logic / *Proc. Asia & South Pacific Design Automation Conference (ASP-DAC)*, 2009.
613. *Вунин Г.Н.* Теория систем.- Москва: Изд-во Радио и Связь, 1978, 288 с.
614. *Evolving Cellular Automata: Papers* – <http://cse.ucdavis.edu/~evca/evabstracts.html>
615. *Jiao J. et al.* Building blocks for the molecular expression of quantum cellular automata: Isolation and characterization of a covalently bonded square array of two Ferrocenium and two Ferrocene complexes // *J. Amer. Chem. Soc.*, **125**(25), 2003, 7522-7523.
616. *Moore J., Hahn L.* A cellular automata approach to detecting interactions among single-nucleotide polymorphisms in complex multi-factorial diseases / *Pacific Symp. Biocomputing*, 2002.

Об Авторе: Аладьев Виктор Захарович

Аладьев В.З. родился **14.06.1942** в г. Гродно (Беларусь). После успешного завершения 2-й средней школы (Гродно) в **1959** поступил на 1-й курс физико-математического факультета Гродненского университета, а в **1962 г.** был переведен на отделение «Математики» Тартусского университета (Эстония). В **1966** успешно закончил Тартуский университет по специальности «Математика». В **1969** поступил в аспирантуру Академии Наук Эстонии по специальности «Теория вероятностей и математическая статистика», которую успешно закончил в **1972** сразу по двум специальностям «Теоретическая кибернетика» и «Техническая кибернетика». В том же году **Аладьеву В.З.** присвоена докторская степень по математике за первую монографию «*Mathematical Theory of Homogeneous Structures and Their Applications*». С **1969 г.** **Аладьев В.З.** – Президент созданной им Таллиннской творческой группы (ТТГ), чьи научные результаты получили международное признание, прежде всего, в области исследований по математической теории однородных структур (*Cellular Automata*). С **1972 по 1990 Аладьев В.** занимал ответственные посты (*главный инженер, заместитель директора по науке*) в ряде проектно-технологических и научных организаций г. Таллинна (ЭССР). В **1991 г.** **Аладьев В.З.** организовал научную фирму *VASCO Ltd.*, а с конца **1992 г.** **Аладьев В.З.** становится вице-президентом *Salcombe Eesti Ltd.* Деятельность **Аладьева В.З.** на данных постах неоднократно отмечалась наградами и премиями Совета министров СССР, ЦСУ СССР, ВППТИ ЦСУ СССР и др.

Аладьев В.З. является автором более **400** научных и научно-технических работ (*включая 70 книг, монографий и сборников статей*), опубликованных в бывшем СССР, России, ФРГ, Эстонии, Литве, Белоруссии, Украине, Чехословакии, Венгрии, Польше, Голландии, Болгарии, Великобритании, Японии, США, ГДР и Молдавии. С **1972 г.** он является референтом и членом редколлегии международного математического журнала «*Zentralblatt fur Mathematik*» и с **1980 г.** – членом *IAMM*. Им основана Эстонская школа по математической теории однородных структур (*Клеточных автоматов*), чьи фундаментальные результаты получили международное признание, внося определенный вклад в формирование нового раздела современной математической кибернетики.

Аладьевым В.З. введена ныне общепринятая русскоязычная терминология и получен целый ряд фундаментальных результатов по математической теории *однородных структур (Cellular automata)* и ее приложениям, в первую очередь, в математической биологии развития. Работы **Аладьева В.З.** получили отражение в математических энциклопедиях как советской, так и зарубежных, целом ряде монографий, статей и докладов в журналах, на международных конференциях различного уровня, часто цитируются ведущими исследователями в данной области.

Немало прикладных работ **Аладьева В.З.** относится также к информатике, среди которых можно отметить довольно широко известные книги и монографии по системам компьютерной алгебры и компьютерной математики (*MathCAD, Reduce, Mathematica, Maple*). Наряду с оригинальными изданиями им разработана большая библиотека новых программных средств для системы *Maple*, отмеченная сетевой наградой *Smart Award* от *Smart Downloads Network*, которая на сегодня весьма широко используется в СНГ и за ее пределами. Библиотека **Аладьева В.З.** версии **2.2013** для *Maple* существенно расширяет диапазон и эффективность использования системы *Maple* на платформе *Windows* благодаря находящимся в ней средствам в *трех* основных направлениях: **(1)** устранение ряда основных дефектов и недостатков, **(2)** расширение возможностей целого ряда стандартных средств, и **(3)** пополнение системы рядом новых средств, расширяющими возможности ее среды программирования, включая средства, улучшающие также уровень совместимости релизов **6–12**

системы. Основное внимание было уделено дополнительным средствам, созданным в процессе использования пакета *Maple* релизов 4–11, которые по ряду параметров существенно расширяют возможности системы и облегчают работу с ней. Текущая версия библиотеки содержит средства (*более 750*), ориентируемые на основные виды вычислений и обработки информации. Большой опыт использования этой библиотеки в целом ряде университетов и научно-исследовательских организаций СНГ и в других странах подтвердил ее высокие эксплуатационные характеристики при программировании различных приложений в системе *Maple*. Многие работы *Аладьева В.З.* в данном направлении представлены в интернете для свободного доступа, а также включены и в списки обязательной либо дополнительной литературы в программы университетов. Довольно широко известны и его мастер-классы, даваемые в университетах СНГ и в других странах.

В 1993 г. *Аладьев В.* по результатам своей многолетней научной активности был избран членом рабочей группы *IFIP (International Federation for Information Processing)* по математической теории однородных структур и ее приложениям. На целом ряде международных научных форумов по математике, кибернетике и других *Аладьев В.З.* участвовал в качестве члена оргкомитета либо приглашенного докладчика. В апреле 1994 *Аладьев В.З.* по совокупности научных исследований в области кибернетики избран академиком Российской Академии Космонавтики по отделению «Фундаментальных исследований», тогда как в сентябре 1994 г. *Аладьев В.* избирается академиком Российской Академии Ноосферы по отделению «Информатика». В сентябре 1995 г. *Аладьев В.З.* избирается действительным членом (академиком) Российской Академии Естественных Наук (РАЕН) по отделению «Ноосферные знания и технологии», а уже в 1998 г. он избирается почетным членом Российской Экологической Академии.

В ноябре 1997 г. *Аладьев В.З.* избран академик-секретарем *Балтийского* отделения Российской Академии Ноосферы, объединяющего ученых и специалистов *трех* стран Балтии и Белоруссии, работающих в области комплекса научных дисциплин, входящих в проблематику ноосферы и смежных с нею областей научной деятельности, включая теоретические и прикладные вопросы по проблематике однородных структур. По результатам реорганизации Российской Академии Ноосферы в Международную, в декабре 1998 *Аладьев В.* избирается Первым вице-президентом. В конце 1999 *Аладьев В.* по совокупности научных работ в области кибернетики и информатики избирается иностранным членом *РАЕН* по отделению «Информатики и кибернетики». Наиболее значительные научные результаты *Аладьева В.З.* относятся к математической теории *однородных структур (Клеточных автоматов)* и ее приложениям. Область научных интересов *Аладьева В.З.* включает математику, информатику, кибернетику, вычислительные науки, физику, технику и целый ряд других естественно-научных направлений. В <http://www.famous-scientists.ru/2763/> и <http://viperson.ru/wind.php?ID=535085> можно получить более детальную справку по автору.