

# Синергетика

От прошлого  
к будущему

№- 68

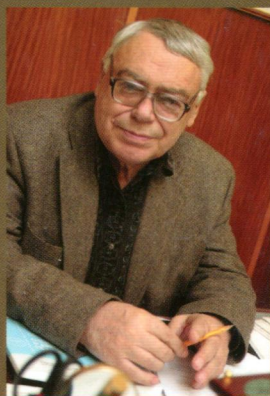


Председатель  
редколлегии серии  
профессор  
Г. Г. Малинецкий

**Г. С. Голицын**

Академик РАН

Обладатель медали  
Альфреда Вегенера



## СТАТИСТИКА и ДИНАМИКА ПРИРОДНЫХ ПРОЦЕССОВ и ЯВЛЕНИЙ

Методы,  
инструментарий,  
результаты



РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК  
Институт физики атмосферы им. А. М. Обухова

**Г. С. Голицын**

**СТАТИСТИКА И ДИНАМИКА  
ПРИРОДНЫХ  
ПРОЦЕССОВ И ЯВЛЕНИЙ**

**Методы, инструментарий,  
результаты**



URSS

МОСКВА



Настоящее издание осуществлено при финансовой поддержке  
Российского фонда фундаментальных исследований  
(проект № 12-05-07104)

**Голицын Георгий Сергеевич**

**Статистика и динамика природных процессов и явлений: Методы, инструментарий, результаты.**  
М.: КРАСАНД, 2012. — 400 с. (Синергетика: от прошлого к будущему. № 68.)

Большинство природных процессов стохастичны по своей природе и описываются распределениями вероятности и их моментами: средними, дисперсиями, спектрами и более высокими моментами. Зачастую в определенных интервалах эмпирические распределения имеют степенную форму: законы мелкомасштабной турбулентности; распределения частота-энергия землетрясений, извержений вулканов, наводнений; спектр космических лучей и ряд других закономерностей. В книге предлагаются методы исследования подобных процессов, и на этой основе единым образом объясняются формы перечисленных выше распределений, причем для последних четырех процессов это сделано впервые, как и для целого ряда других. Излагаются необходимые основы теории вероятностей и стохастических процессов, теории подобия и размерностей, построение общих моделей для объяснения наблюдаемых результатов; это сформулированные автором «правила скорейшей реакции системы на внешние воздействия» и «случайные блуждания в пространстве импульсов». С этих общих позиций излагаются прежние результаты автора: теория подобия общей циркуляции планетных атмосфер, конвекция и турбулентность вращающихся жидкостей и многие другие; все иллюстрируется конкретными природными примерами. Из новых результатов также рассматривается энергетический цикл морского волнения, распространение примеси в поле случайных ветровых волн, некоторые количественные условия возникновения ураганов, проблемы эволюции галактик и их скопления.

Книга предназначена для широкого круга научных работников, студентов и аспирантов, интересующихся конкретными и общими природными закономерностями и методами их изучения и постижения.

**Golitsyn G. S. Statistics and Dynamics of Natural Processes and Phenomena: Methods, Tools and Results**

The majority of processes in Nature are stochastic and are described by probability distributions and their moments: mean values, variances, spectra and higher moments. Quite often, in certain intervals, their empirical distributions are power laws: small-scale turbulences, frequency-size distributions for earthquakes, volcanic eruptions or floods, cosmic rays spectrum and many others. The book describes study methods for such processes and explains the distribution shapes for the above processes on a single base. It's worth noting that for the last four processes it is done for the first time ever. The necessary basis is presented for the probability theory and stochastic processes, for the theory of similarity and dimensions. Some general rules and models are proposed formulated by the author as "the rule of the fastest response of a system to an external forcing" and "the random walks in the momentum space". From these positions the author reformulates some of his previous results such as similarity theory for atmospheric circulation, convection and turbulence in rotating fluids and many others. All this is illustrated by examples found in Nature. New results obtained by the author are related to the sea surface and air-sea interactions: energy cycle for the wind waves, eddy diffusion in their random field, some quantitative conditions for the origin and development of hurricanes, problems of galaxies and clusters evolution.

The book is intended for a wide range of scientists and students who are interested in specific and general laws of Nature and methods for their study.

## **ИЗДАНИЕ РФФИ НЕ ПОДЛЕЖИТ ПРОДАЖЕ**

Издательство «КРАСАНД».

117335, Москва, Нахимовский пр-т, 56. Формат 60×90/16. Печ. л. 25. Зак. № 21.

Отпечатано в ООО «Чебоксарская типография № 1».

428019, г. Чебоксары, пр-т И. Яковлева, 15.

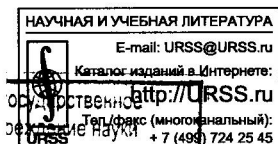
ISBN 978-5-396-00477-1

© КРАСАНД, 2012

13072 ID 167480



9 785396 004771



## Оглавление

От редакции . . . . .	7
Предисловие . . . . .	9
<i>Литература</i> . . . . .	21
Основные работы автора по тематике книги . . . . .	22
<b>Глава 1. Общие сведения</b> . . . . .	<b>26</b>
1.1. Необходимые сведения из теории случайных процессов . . . . .	26
1.1.1. Корреляционные и структурные функции, спектры энергии . . . . .	26
1.1.2. Дельта-коррелированные случайные процессы . . . . .	29
1.1.3. Поток случайных событий . . . . .	32
Приложение к п. 1.1 . . . . .	39
<i>Литература</i> . . . . .	40
1.2. Подобие в механике . . . . .	41
<b>Глава 2. Методы теории подобия и размерности с иллюстрациями</b> . . . . .	<b>47</b>
2.1. Общие сведения по понятиям размерности и подобия . . . . .	48
<i>Литература</i> . . . . .	52
2.2. Параметры подобия в геофизической гидродинамике . . . . .	52
<i>Литература</i> . . . . .	64
2.3. Примеры использования методов анализа размерности и теории подобия . . . . .	65
2.3.1. Теория турбулентности Колмогорова—Обухова . . . . .	65
2.3.2. Задача о сильном взрыве в газовой среде . . . . .	68
2.3.3. Методы теории размерности в квантовой механике . . . . .	74
<i>Интегральный поток теплового излучения</i> . . . . .	75
<i>Атомные масштабы на примере водорода</i> . . . . .	78
<i>Масштабы Планка</i> . . . . .	78
<i>Квантовая электродинамика</i> . . . . .	79
<i>Другие классические масштабы</i> . . . . .	79
2.3.4. Форма для энергетического спектра космических лучей галактического происхождения . . . . .	80
2.3.5. Общая циркуляция медленно вращающихся планетных атмосфер . . . . .	81
2.3.6. Кинетическая энергия синоптических вихрей . . . . .	82
2.3.7. Кинетическая энергия ураганов . . . . .	84
2.3.8. Скорость гребных судов в зависимости от числа гребцов . . . . .	85
<i>Литература</i> . . . . .	86

2.4.	Турбулентные пограничные слои . . . . .	88
2.4.1.	Пограничный слой в жидкости с нейтральной стратификацией . . . . .	88
2.4.2.	Стратифицированный турбулентный пограничный слой: теория Мони́на—Обухова . . . . .	91
	<i>Литература</i> . . . . .	97
2.5.	Свободная конвекция, ее энергетика и скорости . . . . .	98
	<i>Литература</i> . . . . .	107
2.6.	Остывание слоя жидкости . . . . .	108
	<i>Литература</i> . . . . .	118
2.7.	Нестационарные процессы тепло- и массообмена . . . . .	119
2.7.1.	Шлюзование . . . . .	119
2.7.2.	Проветривание комнаты . . . . .	120
2.7.3.	Термохалинная циркуляция через проливы . . . . .	123
	<i>Литература</i> . . . . .	126
2.8.	Акустический шум нагруженных кристаллов . . . . .	126
	<i>Литература</i> . . . . .	128
2.9.	Механизм образования пузырьков воздуха при обрушении волн на поверхности моря . . . . .	128
	<i>Литература</i> . . . . .	132
2.10.	О дроблении струек на капли в турбулентном потоке . . . . .	132
	<i>Литература</i> . . . . .	135
2.11.	Подобие в процессах, описываемых уравнениями параболического типа . . . . .	136
	<i>Литература</i> . . . . .	138
<b>Глава 3.</b>	<b>Правило скорейшей реакции на внешние воздействия . . . . .</b>	<b>139</b>
3.1.	Физический смысл и примеры . . . . .	139
3.2.	Расход воды в трубах . . . . .	140
3.3.	Планетные атмосферы: динамика и термический режим . . . . .	143
3.3.1.	Общие сведения . . . . .	143
3.3.2.	Астрономические параметры планет . . . . .	146
3.3.3.	Атмосферные параметры . . . . .	148
3.3.4.	Масштабы и параметры подобия . . . . .	149
3.3.5.	Случай $\Pi_\omega \gg 1$ . Планеты-гиганты . . . . .	157
	<i>Литература</i> . . . . .	159
3.4.	Конвекция при вращении . . . . .	160
	<i>Литература</i> . . . . .	167
3.5.	Теплопередача при быстром вращении . . . . .	167
	<i>Литература</i> . . . . .	171
3.6.	Турбулентность и вращение . . . . .	171
	<i>Литература</i> . . . . .	176
3.7.	Циркуляция звездных атмосфер на примере Солнца . . . . .	177
	<i>Литература</i> . . . . .	183

<b>Глава 4. Реакция на случайные воздействия . . . . .</b>	<b>184</b>
4.1. Лагранжево описание турбулентности и случайные блуждания в пространстве импульсов . . . . .	184
<i>Литература</i> . . . . .	194
4.2. Статистическое описание рельефа поверхности планеты . . . . .	194
<i>Литература</i> . . . . .	201
4.3. Распределения по размерам для озер и рек. Ущерб от наводнений . . . . .	201
4.3.1. Распределения вероятностей . . . . .	201
4.3.2. Число наводнений в зависимости от понесенного ущерба . . . . .	204
4.3.3. Статистика мутьевых «грибов» на поверхности океана вблизи устьев рек . . . . .	208
<i>Литература</i> . . . . .	209
4.4. Статистика землетрясений . . . . .	209
<i>Литература</i> . . . . .	218
4.5. Статистика извержений вулканов . . . . .	219
4.6. Распределение литосферных плит по размерам . . . . .	223
<i>Литература</i> . . . . .	229
4.7. Распределение по энергии числа объектов, сталкивающихся с Землей . . . . .	229
<i>Литература</i> . . . . .	233
4.8. Климатическая система как пример долгопериодных откликов на короткопериодные воздействия . . . . .	233
<i>Литература</i> . . . . .	235
<b>Глава 5. Функции распределения, отличные от фрактальных . . . . .</b>	<b>236</b>
5.1. Распределение Гиббса . . . . .	236
5.2. Понятие об общей теории статистических распределений В. П. Маслова . . . . .	239
5.3. Функции распределения вероятностей, встречающиеся в геофизике . . . . .	244
5.4. Функции распределения интенсивных атмосферных вихрей . . . . .	247
5.5. Функции распределения для стока рек . . . . .	252
<i>Литература</i> . . . . .	253
<b>Глава 6. Развернутые описания ряда результатов . . . . .</b>	<b>256</b>
6.1. Теория турбулентности Колмогорова—Обухова . . . . .	257
6.1.1. Общие сведения . . . . .	257
6.1.2. Теория локально однородной и локально изотропной турбулентности . . . . .	258
6.1.3. Другие феноменологические выводы результатов КО41 . . . . .	261
6.1.4. Флуктуации пассивного скаляра . . . . .	265
6.1.5. Двумерная и геострофическая турбулентность . . . . .	268
6.1.6. Спиральная турбулентность . . . . .	275
<i>Литература</i> . . . . .	280

6.2. Морское волнение и водная поверхность . . . . .	284
6.2.1. Общие сведения . . . . .	284
6.2.2. Законы разгона и их следствия . . . . .	286
6.2.3. Энергетический цикл морского волнения . . . . .	289
6.2.4. Спектр ветрового волнения . . . . .	295
6.2.5. Дрейфовое течение и перемешивание верхнего слоя океана . . . . .	302
6.2.6. Циркуляция Лэнгмюра . . . . .	305
6.2.7. Теплообмен и газообмен между океаном и атмосферой . . . . .	309
<i>Литература</i> . . . . .	314
6.3. Турбулентная диффузия в атмосфере и на поверхности океана . . . . .	317
6.3.1. Атмосферная диффузия . . . . .	317
6.3.2. Коэффициент горизонтальной турбулентной диффузии примеси на водной поверхности в зависимости от стадии развития волнения . . . . .	321
<i>Литература</i> . . . . .	331
6.4. Тропические и полярные ураганы и их аналоги . . . . .	332
<i>Другие аналоги ураганоподобных вихрей</i> . . . . .	345
<i>Литература</i> . . . . .	349
6.5. Энергетический спектр космических лучей с энергией, большей 10 ГэВ . . . . .	351
<i>Литература</i> . . . . .	361
6.6. Масштабы в скоплениях галактик, критерии подобия и спектры . . . . .	361
6.6.1. Измеряемые величины и параметры подобия . . . . .	362
6.6.2. Галактические масштабы . . . . .	366
6.6.3. Скопление галактик и их параметры подобия . . . . .	368
6.6.4. Турбулентность галактического газа . . . . .	373
6.6.5. Галактическое магнитное поле . . . . .	374
<i>Литература</i> . . . . .	374
6.7. Физическая картина эволюции литосферы . . . . .	375
<i>Литература</i> . . . . .	380
6.8. Энергетический цикл геодинамики и сейсмического процесса . . . . .	381
<i>Литература</i> . . . . .	387
6.9. Звездотрясения . . . . .	388
<i>Литература</i> . . . . .	392
<b>Послесловие</b> . . . . .	<b>393</b>
<i>Литература</i> . . . . .	394
<b>Список использованных сокращений</b> . . . . .	<b>395</b>