

Ю.Б. Кирста, Б.Ю. Кирста

**ИНФОРМАЦИОННО-ФИЗИЧЕСКИЙ ЗАКОН
ПОСТРОЕНИЯ ЭВОЛЮЦИОННЫХ СИСТЕМ.
СИСТЕМНО-АНАЛИТИЧЕСКОЕ
МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭКОСИСТЕМ**



Министерство образования и науки РФ
Институт водных и экологических проблем СО РАН
Алтайский государственный технический
университет им. И.И. Ползунова

Ю.Б. Кирста, Б.Ю. Кирста

**ИНФОРМАЦИОННО-ФИЗИЧЕСКИЙ ЗАКОН
ПОСТРОЕНИЯ ЭВОЛЮЦИОННЫХ СИСТЕМ.
СИСТЕМНО-АНАЛИТИЧЕСКОЕ
МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭКОСИСТЕМ**

Монография

Издание второе, исправленное и дополненное



Барнаул

Издательство
Алтайского государственного
университета
2014

УДК 577.3:519.72
К 435

Рецензент:

академик Академии наук Туркменистана,
член-корр. Российской академии наук *А.Г. Бабаев*

К 435 Кирста, Ю. Б.

Информационно-физический закон построения эволюционных систем. Системно-аналитическое моделирование экосистем [Текст] : монография / Ю.Б. Кирста, Б.Ю. Кирста. – Изд-е второе, испр. и доп. – Барнаул : Изд-во Алт. ун-та, 2014. – 283 с.
ISBN 978-5-7904-1682-8

Предлагаемое исследование продолжает анализ «мировой динамики», начатый в известных докладах Римского клуба. Представлен фундаментальный информационный закон эволюционного построения систем – квантовых физических, биологических, социальных и других. Закон базируется на древней альтернативной концепции строения физического мира как единства трех категорий – материи, меры и информации. Выявлены и проанализированы гомологичные иерархические организации биосферы и человеческого общества (социосферы) с передачей информации между их иерархическими уровнями последовательно от клеточно-метаболических до экосистемных и религиозных. Из-за такой передачи информации, в частности, формируются «золотые» пропорции (ряд Фибоначчи) в растительном мире. Вложенные друг в друга по определенным схемам циклы функционирования указанных уровней составляют центральный механизм биологических (биосферных и социосферных) часов. Математически обоснована теория этногенеза Л.Н. Гумилева, проанализирована динамика этнических и религиозных систем. Дан прогноз циклов развития России, США, Китая, Израиля. Охарактеризовано информационно-ритмическое влияние биосферы и социосферы на климат.

Разработана универсальная математическая модель агроклиматического потенциала территорий, описывающая с теоретически наилучшей точностью фенологическое развитие растений, влагообмен в почве и формирование урожая зерновых. Оценены изменения климата и агроклиматического потенциала для зернопроизводящих зон России и США.

Книга предназначена для ученых различных специальностей, включая математическое моделирование сложноорганизованных природных и социальных систем, мировую динамику, экологию, биоинформатику, синергетику и др. Она будет также полезна всем специалистам, интересующимся эволюцией жизни на Земле, прошлым, современным и будущим развитием человеческого общества.

Печатается по решениям ученых советов Института водных и экологических проблем СО РАН и Алтайского государственного технического университета им. И.И. Ползунова.

ISBN 978-5-7904-1682-8

© Кирста Ю.Б., Кирста Б.Ю., 2014
© Оформление. Издательство Алтайского государственного университета, 2014

The Ministry of Education and Science of the Russian Federation
Institute for Water and Environmental Problems
I.I. Polzunov Altai State Technical University

Yu. Kirsta, B. Kirsta

**THE INFORMATION-PHYSICAL PRINCIPLE
OF EVOLUTIONARY SYSTEMS FORMATION.
SYSTEM-ANALYTICAL MODELING
OF ECOSYSTEMS**

Monograph

Second revised edition



Barnaul

Publishing
Altai State University
2014

Reviewer:

A.G. Babaev, Academician of the Academy of Sciences of Turkmenistan,
Correspondent Member of the Russian Academy of Sciences

Kirsta, Yu. B.

The Information-Physical Principle of Evolutionary Systems Formation. System-Analytical Modeling of Ecosystems [Text]
: Monograph / Yu. B. Kirsta, B. Yu. Kirsta. – Barnaul : Publishing Altai State University, 2014. – 283 p.
ISBN 978-5-7904-1682-8

The research continues the "world dynamics" analysis initiated in the renowned reports of the Club of Rome. The fundamental information principle of evolutionary formation of systems (i.e. quantum physical, biological, social and others) is presented. The law is based on the ancient alternative concept of physical world structure as the unity of three categories: matter, measure and information. Homologous hierarchical organizations of the biosphere and human society (sociosphere) with serial information transfer between their hierarchical levels – from cell metabolic to ecosystem and religious ones – are identified and analyzed. In particular, such a transfer generates "divine" ratios (Fibonacci series) in the plant world. Specifically nested cycles of levels' functioning are the central mechanism of biological (biospheric and sociospheric) clocks. The Gumilev's theory of ethnogenesis was proved mathematically, ethnic and religious systems dynamics therewith was analyzed. The authors predicted the development cycles for Russia, USA, China and Israel. The information-rhythmic influence of the biosphere and sociosphere on climate was discussed.

The universal mathematical model of agro-climatic potential of territories, which describes phenology of plants, soil and moisture transfer, and crop formation with theoretically best accuracy, was developed. Changes in climate and agro-climatic potential for grain-producing areas of Russia and the United States were assessed.

The book is intended for scientists of different disciplines, i.e. mathematical modeling of complex natural and social systems, world dynamics, ecology, bioinformatics, synergetics, etc. The monograph will be useful for specialists who are interested in evolution of life on the Earth as well as the past, present and future development of human society.

The publication has been approved by the Academic Boards of the Institute for Water and Environmental Problems SB RAS and I. I. Polzunov Altai State Technical University

ISBN 978-5-7904-1682-8

© Kirsta Yu. B., Kirsta B. Yu., 2014
© Appearance. Publishing Altai State University, 2014

ОГЛАВЛЕНИЕ

Условные обозначения	9
Введение	11
Глава 1. Информационно-физический закон построения природных эволюционных систем	14
1.1. Альтернативное представление о структуре физического мира как «материи – меры – информации»	16
1.2. Информационно-физический закон построения природных систем	19
1.3. Отражение информационно-физического закона в завещании Гермеса Трисмегиста	28
Глава 2. Исследования биосферы как информационно-иерархической системы материально-энергетических процессов	32
2.1. Эволюционное развитие биологических систем	34
2.2. Циклическая организация материально-энергетических процессов биосферы	45
2.3. Информационно-иерархическая природа биосферных процессов	50
Глава 3. Анализ информационно-иерархической организации биосферы	59
3.1. Организация молекулярно-генетических уровней	59
3.2. Организация фотосинтетических уровней	68
3.3. Организация экосистемных уровней	78
3.3.1. Сукцессионные процессы биогеоценозов	78
3.3.2. Иерархические уровни экосистем	84
3.4. Информационно-иерархическая организация биосферы	93
Глава 4. Анализ информационно-иерархической организации социосферы и проблемы ее устойчивого развития	106
4.1. Анализ исторического развития человеческого общества	106
4.1.1. Основные циклы развития	106
4.1.2. 198-летние циклы развития	114
4.2. Информационно-иерархическая организация социосферы	117
4.3. Совместное развитие социосферы и биосферы	126
4.3.1. Взаимодействие социосферы и биосферы и их влияние на климат	126

4.3.2. Современное состояние и перспективы развития социосферы	138
Глава 5. Математическое моделирование природных эволюционных систем	147
5.1. Современное состояние моделирования экосистем	147
5.2. Методология системно-аналитического моделирования и точность математических моделей	154
5.2.1. Системный информационно-иерархический подход и язык моделирования	154
5.2.2. Метод моделирования и три теоретически наилучшие точности математических моделей	158
5.3. Системно-аналитическое моделирование агроэкосистем	165
5.3.1. Подмодель фенологического развития	167
5.3.2. Подмодель влагообмена в почвах	173
5.3.3. Подмодель формирования урожая	189
Глава 6. Математическое моделирование агроклиматического потенциала территорий и региональных изменений климата	196
6.1. Модель агроклиматического потенциала и климатических трендов	196
6.2. Адекватность модели агроклиматического потенциала и реализация принципа Ле Шателье в агроэкосистемах	205
6.3. Влияние климатических изменений и деятельности человека на развитие опустынивания для юга Западной Сибири	209
6.4. Динамика агроклиматического потенциала и региональных климатических изменений	215
6.4.1. Динамика агроклиматического потенциала и изменений климата в зернопроизводящих зонах России и США	215
6.4.2. Прогноз агроклиматического потенциала и изменений климата Сибири и России	221
Заключение	238
Библиографический список	243
Приложение	263
1. Вывод уравнений Шредингера и Дирака	263
2. Формирование информации квантовыми физическими системами. Вывод соотношения неопределенностей Гейзенберга	272

TABLE OF CONTENTS

List of symbols	9
Introduction	11
Chapter 1. The information-physical principle of natural evolutionary systems formation	14
1.1. An alternate concept of physical world structure as “matter – measure – information”	16
1.2. The information-physical principle of natural systems formation	19
1.3. The information-physical principle in the Hermes Trismegistus’s will	28
Chapter 2. Study of the biosphere as an information-hierarchical system of material and energy processes	32
2.1. Evolutionary development of biological systems	34
2.2. Cyclic organization of material and energy processes of the biosphere	45
2.3. Information-hierarchical nature of biospheric processes	50
Chapter 3. Analysis of information-hierarchical organization of the biosphere	59
3.1. Organization of molecular genetic levels	59
3.2. Organization of photosynthetic levels	68
3.3. Organization of ecosystem levels	78
3.3.1. Succession processes of biogeocenoses	78
3.3.2. Hierarchical levels of ecosystems	84
3.4. Information-hierarchical organization of the biosphere	93
Chapter 4. Analysis of information-hierarchical organization of sociosphere and the problems of its sustainable development	106
4.1. Analysis of historical development of human society	106
4.1.1. Major cycles of development	106
4.1.2. The 198-year cycles	114
4.2. Information-hierarchical organization of the sociosphere	117
4.3. Joint development of the biosphere and sociosphere	126
4.3.1. Interaction of the biosphere and sociosphere, and their impact on climate	126
4.3.2. Current state and prospects for sociosphere development	138

Chapter 5. Mathematical modeling of natural evolutionary systems	147
5.1. Current ecosystems modeling	147
5.2. Methodology for system-analytical modeling; accuracy of mathematical models	154
5.2.1. The system information-hierarchical approach and simulation language	154
5.2.2. The simulation method and three theoretically best accuracies of mathematical models	158
5.3. System-analytical modeling of agro-ecosystems	165
5.3.1. Submodel of phenological development	167
5.3.2. Submodel of moisture transfer in soils	173
5.3.3. Submodel of crop formation	189
Chapter 6. Mathematical modeling of agroclimatic potential of territories and regional climate change	196
6.1. Model of agroclimatic potential and climate trends	196
6.2. Adequacy of the agroclimatic potential model; realization of the Le Chatelier's principle in agroecosystems	205
6.3. Impact of climate change and human activities on desertification in the south of West Siberia	209
6.4. Dynamics of agroclimatic potential and regional climate change	215
6.4.1. Dynamics of agroclimatic potential and climate change in the grain-producing areas of Russia and the United States	215
6.4.2. Forecast of agroclimatic potential and climate change in Siberia and Russia	221
Conclusion	238
References	243
Appendix	263
1. Derivation of the Schrödinger and the Dirac equations	263
2. Manifestation of information by quantum physical systems. Derivation of Heisenberg's uncertainty relation	272

УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

АП	–	агроклиматический потенциал территории
БП	–	базовый процесс
БС	–	биологическая система (природная)
ГИС	–	геоинформационная система
ДНК	–	дезоксирибонуклеиновая кислота
ИУ	–	иерархический уровень структурно-функциональной организации систем
ММ	–	математическая модель
ММ АП	–	математическая модель агроклиматического потенциала территории
ПХ/ПХ-Н ₂	–	двухэлектронная окислительно-восстановительная пара пластохинон-пластохинол
РНК	–	рибонуклеиновая кислота: мРНК – матричная, рРНК – рибосомная, тРНК – транспортная, про-тРНК – предшественник тРНК
САМ	–	системно-аналитическое моделирование
СФО	–	структурно-функциональная организация систем
ФФ	–	фотофосфорилирование (циклическое и нециклическое)
30S, 50S	–	субчастицы рибосомы прокариотов
ADP	–	аденозиндифосфат
ATP	–	аденозинтрифосфат
Calvin-цикл	–	цикл Кальвина в клеточном метаболизме
Citrate-цикл	–	цитратный цикл в клеточном метаболизме
C ^N	–	N-летний цикл развития систем
E. coli	–	бактерия <i>Esherichia coli</i> (кишечная палочка)
FADH ₂	–	флавинадениндинуклеотид
Fatty acid-цикл	–	биохимический цикл жирных кислот в клеточном метаболизме
NADP	–	никотинамидадениндинуклеотидфосфат
NADPH	–	восстановленный никотинамидадениндинуклеотидфосфат
H	–	одно из четырех значений информации для схем квантования иерархических уровней (ИУ)
H ⁺	–	ион водорода

Krebs-цикл	– биохимический цикл Кребса в клеточном метаболизме
P_i	– неорганический фосфат (H_3PO_4)
P_{680}, P_{700}	– пигменты систем фотофосфорилирования
Pentose-цикл	– пентозофосфатный цикл в клеточном метаболизме
pH	– водородный показатель кислотно-основного равновесия среды (химических условий)
R	– одно из четырех значений информации для схем квантования иерархических уровней (ИУ)
S^N	– система с N -летним циклом развития
Urea-цикл	– цикл мочевины в клеточном метаболизме
Ψ -функция	– волновая пси-функция, описывающая поведение микрочастиц в пространстве и времени

ВВЕДЕНИЕ

Изучение человеком окружающего мира всегда имело познавательно-прикладной характер. Особое значение оно приобрело в наше время при резком усилении воздействия человека на природу и ее использовании в своих интересах. Именно человеческая деятельность привела к лавинообразному нарастанию проблем взаимодействия с природой. В результате перед естественными науками остро встала задача по исследованию многообразных природных процессов и выяснению лежащих в их основе закономерностей.

«Расширяющееся вторжение человека в биосферу Земли и дальнейшее развитие человечества на нашей планете безотлагательно требуют все более глубокого знания закономерностей протекающих в природе эволюционных процессов», – еще в 80-е гг. XX в. сделал вывод Н.В. Тимофеев-Ресовский [Тимофеев-Ресовский и др., 1977, с. 17]. Новая функция науки – предотвращение экологического кризиса и обеспечение перехода к сознательному управлению человеком биосферы – подчеркивается В.И. Вернадским и современными экологами. Сейчас в развитых и развивающихся странах появляется все больше исследовательских центров по изучению биосферы и климата, ежегодно проводятся сотни конференций и симпозиумов, касающихся этой тематики.

С многочисленными последствиями воздействия на природу мы сталкиваемся постоянно. Например, сельскохозяйственное освоение территории европейских стран в Средние века привело к тому, что от покрывающих Европу лесов сейчас осталось лишь 5–15%. Проблема прекращения интенсивной вырубki и сохранения лесов стоит перед Южной Америкой и Африкой. Все большего внимания требуют глобальное потепление и дестабилизация климата, равно как процессы климатического и антропогенного опустынивания, захватывающие обширные территории Евразии и Америки.

С прогнозом возможных неблагоприятных изменений биосферы и среды нашего обитания вследствие развития мирового сообщества в условиях научно-технической революции выступил в начале 1970-х гг. так называемый «Римский клуб» – международная неправительственная организация, созданная итальянским экономистом А. Печчеи. Исследователи Дж. Форрестер, Л. Клейн, Д. и Л. Медоузы, М. Месарович, Э. Пестель и другие на основе математического моделирования дали прогноз

относительно наступления в ближайшие десятилетия глобального эколого-экономического кризиса. Подобные результаты были получены крупными научно-исследовательскими группами и в последующем. Хотя все прогнозы выполнялись без учета закономерностей развития биосферы, они привлекли внимание мировой общественности. В настоящее время изменения окружающей среды стали действительно глобальными, и пришло осознание того, что дальнейший прогресс и само существование человечества невозможны без целенаправленного поддержания среды и научно обоснованного использования природных ресурсов.

Вовлечение в исследования биологических/экологических систем представителей физических наук пока не привело к «прорывным» результатам, решающим проблемы природопользования. Это связано с тем, что физика как наука традиционно опирается на относительно небольшое число строгих устойчивых законов, тогда как природные эволюционные системы непрерывно трансформируют закономерности поведения с целью наилучшей адаптации к меняющимся условиям среды. Описывать же бесконечное число вырабатываемых организмами реакций на меняющиеся факторы среды с помощью нескольких физических законов невозможно даже теоретически. Поэтому для описания динамики таких природных объектов применяется системный анализ и разрабатываются математические модели, отражающие конкретные особенности их жизнедеятельности.

Настоящая работа посвящена исследованию общих принципов организации эволюционно развитых природных систем. В ней предложен принципиально новый информационно-иерархический подход, позволяющий выявить последовательные иерархические уровни структурно-функциональной организации систем и охарактеризовать динамику их процессов с использованием информации Шеннона. Подход использует, в числе прочих, методологию системного анализа, широко применяющегося в математическом моделировании сложноорганизованных объектов. С помощью этой методологии на большом ряде примеров доказано существование строгих информационно-физических закономерностей в строении и функционировании природных систем.

В ходе исследований установлен информационно-физический закон накопления информации в природных эволюционных системах, в том числе относящихся к биосфере Земли. Эта информация характеризует непосредственно организацию систем. Согласно закону накопление такой информации происходит последовательно по иерархическим уровням организации систем в ходе их эволюции. Физический обмен информацией между уровнями объединяет их в одну пирамидальную информационно-иерархическую организацию, т.е. собственно систему. Эволюция биосферы заключается в накоплении указанной

информации по всем иерархическим уровням ее организации. Данный результат исследований созвучен выводам В.И. Вернадского о возрастании организованности живого вещества в ходе эволюции и объясняет давно искомую причину такого возрастания. Таким образом, в работе представлено новое научное направление, связанное с информационными принципами организации и эволюции биосферы, в том числе ритмическими взаимодействиями природных систем друг с другом.

Обоснованность результатов исследования определяется большим количеством и разнообразием проанализированных данных об организации и динамике квантовых физических, молекулярно-генетических, метаболических, экологических и социальных систем. Решена проблема биологических часов, а также проблема информационной организации белковых и языковых текстов, поставленная математиками К.Е. Шенноном, А.Н. Колмогоровым и биологом М. Ичасом. Информационно-физический закон и системно-аналитическое моделирование решают проблему долгосрочного прогноза и управления экологическими и социальными системами.

Предлагаемая работа суммирует результаты многолетних исследований различных (преимущественно биологических) эволюционно развитых систем, выполненных в рамках системного информационно-иерархического подхода в 1987–2012 гг. В основу исследований лег опыт первого автора по анализу динамики таких сложноорганизованных природных объектов, как экосистемы. Этот опыт был приобретен в 1970–1980-х гг. в Институте пустынь АН Туркменской ССР под руководством доктора географических наук Б.Т. Кирста, академика Н.Т. Нечаевой и президента АН Туркменской ССР академика А.Г. Бабаева. Анализ иерархической организации динамики климата проводился авторами совместно. Большая часть работы была выполнена в Институте водных и экологических проблем СО РАН. Исследования в области квантовой механики осуществлены на кафедре экспериментальной физики Алтайского государственного технического университета им. И.И. Ползунова.

Авторы считают своим долгом выразить благодарность всем коллегам и особенно О.В. Ловцкой (Институт водных и экологических проблем СО РАН) за обсуждение результатов и помощь в работе. Авторы приносят также извинения за недостаточную терминологическую проработанность текста, что вызвано объединением в монографии различных областей знаний и введением новых понятий.

Исследования в разное время поддерживались грантами Министерства образования РФ (УР 08.01.017), Российского фонда фундаментальных исследований (02-05-81013 Бел 2002а, 12-05-98068-р-сибирь-а), Российского гуманитарного научного фонда (05-06-90604а/Б), Междисциплинарным интеграционным проектом СО РАН № 70.

Глава 1

ИНФОРМАЦИОННО-ФИЗИЧЕСКИЙ ЗАКОН ПОСТРОЕНИЯ ПРИРОДНЫХ ЭВОЛЮЦИОННЫХ СИСТЕМ

Предлагаемая работа выполнена в рамках информационно-иерархического подхода и системного анализа сложноорганизованных биологических и других систем. Подход основан на установленном авторами информационно-физическом законе эволюционного построения этих систем. В связи с фундаментальностью закона затрагивается широкий круг научных вопросов и проблем. Информационно-физический (далее – информационный) закон достаточно прост в математическом плане и применим к эволюционно развитым системам. К настоящему времени он многократно подтвержден приложениями к анализу разнообразных систем – генетических, лингвистических, биохимических, биологических, социальных, физических и др. [Кирста, 1991; Kirsta, 1992, 1994, 2001, 2006a, b, 2010; Kirsta Yu., Kirsta V., 2010, Кирста и др., 2003; Кирста Ю.Б., Кирста Б.Ю., 2009]. Согласно закону все природные объекты входят в структурированные информационно-иерархические системы, имеющие последовательно возрастающие иерархические уровни организации, начиная от микрочастиц и заканчивая Вселенной в целом.

В настоящее время даже при хорошо разработанном математическом аппарате естественным наукам не удастся объяснить появление и устойчивость иерархической организации множества окружающих нас биологических систем. В частности, описывающие эти системы дифференциальные уравнения при варьирующих факторах среды (вариациях параметров уравнений) не дают устойчивого решения (устойчивого фазового портрета). Введение в решение уравнений дополнительных критериев, например устойчивости по Ляпунову или самоорганизации по Пригожину, проблему не решило. Это касается и биохимических систем, включая клеточный метаболизм. В свою очередь, физической наукой сейчас активно разрабатываются различные гипотезы о строении материи от уровня элементарных частиц до Вселенной в целом [Баранников, Фирсов, 2006], и не вызывает сомнения, что для любого нового физического явления будет оперативно создана объясняющая его тео-

рия. Но по-прежнему не удастся описать сложные многоэлектронные оболочки молекул (включая биологические) и получить устойчивое решение соответствующих уравнений при меняющихся воздействиях среды и учете соотношения неопределенностей Гейзенберга.

Предположим, что мы хотим иметь полную информацию о каком-либо живом организме (одноклеточном или многоклеточном), чтобы описать его динамику/развитие как это принято в физике. Пусть мы имеем все физико-химические характеристики каждого атома и заряда, их координаты, скорости и уравнения движения. После этого мы произвольно поменяем атомы местами и опять охарактеризуем их аналогичным образом. В обоих случаях мы получили одинаковый объем информации. Тогда возникает вопрос – где находится информация о сложной эволюционно выработанной организации организма, о строго определенном пространственном расположении молекул, внутриклеточных и других структур организма, о сложнейшей логистике транспорта электронов, ионов, молекул, веществ, энергии и их трансформации, т.е. обо всем, что отличает его от «перемешанной» кучки атомов для второго случая. По самым скромным оценкам такая информация на много порядков превышает ту, которая содержится в генах, кодирующих белки и функциональные цепи РНК [Leonov, 2010]. Очевидно, в естественных науках, включая физику, нет никаких оценок такого вида информации. По этой причине, например, физик Пайерс [Peierls, 1979, с. 347] делает вывод, что «новые концепции должны использоваться дополнительно к существующим физическим концепциям, чтобы адекватное описание жизни стало возможным».

Отсутствие эффективных подходов к анализу сложноорганизованных биологических систем может объясняться ограниченными представлениями о последних. Ситуация в общем типична для всей истории развития науки. В качестве примера можно указать на отсутствие у естественных наук такой фундаментальной категории физического мира, как информация, хотя любая наука, изучая законы строения материи, имеет дело именно с информацией [Davies, 2010].

Возьмем другой пример. Читая книгу, каждый из нас получает одинаковую информацию. Иначе говоря, последняя существует объективно, независимо от читателя. Поскольку в естественных науках отсутствует категория информации, не следует ожидать и адекватного описания ими окружающего мира, в частности физикой. Рассмотрим возможное принципиальное решение изложенной проблемы.

Найденный информационный закон опирается на представление об окружающем мире как единстве «материи – меры – информации». Оно является не менее древним, чем популярная сейчас концепция

строения мира – «материя + пространство + время» [Концепция..., 2002; Ермилов, Матвеев, 2006]. На данный закон и на первое представление о мире указывается, например, в древнем завещании Гермеса Трисмегиста на дошедшей до нас изумрудной таблице [The Internet..., 2007]. Поскольку концепция «материя + пространство + время» сейчас активно применяется в теоретической физике, требуется проведение сравнительного анализа этих двух мировоззрений.

Представление о физическом мире как «материи – меры – информации» использовалось в эзотерических знаниях жрецов Древнего Египта, которые унаследовал еврейский народ при исходе из этой страны под предводительством пророка Моисея [Ермилов, Матвеев, 2006]. Один из главнейших отделов священного учения иудеев Каббалы – «Книга Творения» (Сефер Иецира) – указывает на создание Богом мира посредством трех сеферим. «Тридцатью двумя путями – чудными, мудрыми, начертал IA, IEVE, Саваоф, Бог Израиля... – и создал мир Свой тремя сеферим: сефар, сипур и сефер» [Шмаков, 1916]. Объяснение создания мира именно 32 путями мы дадим позже. Рассмотрим сначала три сеферим.

В. Шмаков разъясняет понятия «сефар», «сипур» и «сефер» по книге «Cuzary», написанной Jehouda Hallevi (1070–1143) [Ha-Levi, 1979]. Термин «сефар» (Sephah) обозначает совокупность чисел – мер длины, веса, движения, гармонии и др. То же говорит и Коран [25: 2]: «Аллах создал всякую вещь и измерил ее мерой». В свою очередь, «сипур» (Sipur) является божественным словом и голосом, создающим вещи разнообразных форм, т.е. отвечает внешним и внутренним формам материальных объектов. Термин «сефер» (Sephah) характеризует «писание» или плоды творения Бога, что и есть собственно вещи как материальные объекты. Все три термина – сефар, сипур и сефер – в современной интерпретации отвечают трем взаимосвязанным категориям – мере, информации и материи соответственно, которые отдельно друг от друга существовать не могут [Концепция..., 2002].

1.1. Альтернативное представление о структуре физического мира как «материи – меры – информации»

Сравним популярную концепцию строения физического мира, разделяющую мир на категории материи/энергии, пространства и времени, с концепцией «материя – мера – информация». Априори будем считать, что категории в каждой концепции должны быть фундаментально различными характеристиками физического мира, и поэтому их взаимная трансформация принципиально невозможна.

Материя может наблюдаться в различных формах: обычного вещества (в твердом, жидком, газообразном, плазменном состояниях), вакуума, физических полей и др. Вакуум как среда не может представлять собой категорию «ничто», так как в «ничто» не может ничего существовать. Подобно веществу вакуум может включать в себя и переносить электромагнитные и другие поля. Тем самым он обладает свойствами, подобными свойствам вещества, и по принятому положению принципиального различия категорий его следует отнести к одной из форм материи. Это полностью соответствует существующим представлениям о физическом квантовом вакууме. В свою очередь, поля современная физика рассматривает как элементарные частицы, переносящие взаимодействия, и тем самым тоже относит их к материи. К отдельным формам материи относятся темное вещество и темная энергия (космический вакуум), открытые в последние годы астрофизиками [Баранников, Фирсов, 2006]. Таким образом, *материя как категория* представляет собой некую абстрактную субстанцию, которая может принимать различные формы.

Материя как субстанция без формы в познаваемом мире невидима/отсутствует. Она всегда определенным образом структурирована, и все формы материи представляют собой иную категорию физического мира, которая проявляется при взаимодействиях материальных объектов. Эта физическая категория передается/воспринимается материальными объектами (как энергия, импульс, масса, размеры и другие характеристики объектов) и тем самым является информацией в широком смысле этого слова. Таким образом, при исследовании окружающего мира нам следует пользоваться второй, качественно отличной от материи категорией – *информацией*.

Неотъемлемым свойством информации является возможность ее передачи другим материальным объектам. Например, это отражение в нашем сознании окружающего мира, образование идентичных копий (с полной информацией оригинала) попавшего в организм вируса при вирусной инфекции, передача информации между запутанными атомами об их квантовом состоянии [Kim, Cho, 2009] или ее передача со сверхсветовой скоростью между двумя запутанными фотонами [Salart et al., 2008a, b]. Исследования свойств информации как таковой сейчас активно ведутся в квантовой физике с целью построения квантовой теории информации [Холево, 2002; Lloyd, 2008].

При экспериментальном изучении материальных объектов и процессов трансформации материи определяется часть объективно содержащейся в них информации в виде различных характеристик. Возьмем, например, такие характеристики, как масса (m) и энергия (E).

Эти характеристики взаимосвязаны через константу (скорость света в вакууме c) по известной формуле А. Эйнштейна $E = mc^2$ и в соответствии с априорно принятым качественным различием категорий должны относиться к одной категории – информации.

Категория пространства в традиционном представлении «материя + пространство + время» используется для определения положения материальных объектов (микрочастиц, атомов, звезд и пр.) и выражается как расстояние или объем. Тем самым она представляет собой характеристику вакуума как материальной среды, т.е. информацию. В свою очередь, категория времени (t) связана с расстоянием (l) и константой скорости света в вакууме (c) по формуле $l = c t$, аналогично случаю массы и энергии. Следуя исходному положению, что качественно различные категории не могут выражаться одна через другую, время тоже должно отнести к категории информации. В частности, время является координатой в едином четырехмерном пространстве-времени (x, y, z, t), которое используется в большинстве теорий современной физики.

Согласно экспериментальным данным материальные объекты (например микрочастицы) имеют ряд строго определенных количественных характеристик (величину заряда, массы, спина и др.). Тем самым, помимо материи и информации, должна существовать еще «количественная» категория – *мера*.

При получении экспериментальной информации человек использует определенную систему мер. Например, вещество мы характеризуем через определенные единицы массы или веса, а энергию – через единицы ее количества. Конечно, выбранные человеком единицы измерений не являются собственно категорией меры и отражают лишь необходимость ее применения.

В квантовой механике существование естественной «природной» меры проявляется непосредственно и известно под термином «квантование». Квантование означает дискретность отдельных характеристик материи (моментов импульса микрочастиц, заряда и др.), т.е. их формирование из определенных элементов, являющихся собственно мерами. Что касается пространства и времени, то сейчас имеются теоретические основания полагать, что предельно малыми длиной и временем (универсальными мерами) являются соответственно планковская (гравитационная) длина $\sim 10^{-35}$ м и планковское время $\sim 10^{-44}$ с, в пределах которых уже невозможно однозначно разделить прошлое и будущее [Баранников, Фирсов, 2006]. Современные эксперименты по изучению гравитационных волн также показывают возможность суще-

ствования конечной меры у пространства и времени [Chown, 2009; Leonov, 2010].

Таким образом, мы видим, что концепция «материя – мера – информация» отличается по категориям от традиционного представления о физическом мире как «материя + пространство + время», которое является лишь частным случаем первой.

1.2. Информационно-физический закон построения природных систем

Мы можем дать следующую краткую формулировку установленного информационно-физического закона: *«Информация иерархической организации эволюционно развитой системы достигает максимального значения, которое возможно для этой системы, и этим стабилизирует ее организацию»*. Формальная логика его существования полностью отвечает изложенной выше концепции, общей цикличности и иерархическому строению природных систем.

Закон характеризует объекты физического мира в качестве иерархически организованных материальных систем, последовательно объединяющихся в пространстве и времени (например, подобно биологической организации гены – клетки – организмы – экосистемы – биосфера) и имеющих определенную информацию. Последняя является неотъемлемым свойством каждой системы, характеризует непосредственно ее организацию и достигает в ходе ее становления максимально возможного значения, обеспечивая этим стабилизацию структурно-функциональной организации (СФО) системы. В случае биосферных/биологических систем под СФО мы будем понимать единую совокупность биотических и абиотических элементов этих систем со всеми взаимодействиями между ними. Иерархические уровни (ИУ) СФО представлены самостоятельно функционирующими материальными подсистемами последовательно возрастающих рангов. Их эволюционное построение базируется на конкуренции за ресурсы с одновременным вписыванием в ритмику среды. Устойчивое существование биологических систем все более высокого ранга и с более длительными циклами развития обеспечивается через захват ресурсов, остающихся невостребованными в момент окончания менее продолжительных циклов жизнедеятельности конкурирующих систем.

В основе функционирования всех ИУ в СФО систем лежат базовые процессы (БП), циклически повторяющиеся во времени. БП определенным образом трансформируют получаемую от низких по рангу ИУ энергию для ее передачи на более высокие ИУ. Повторяющиеся

циклы развития каждого ИУ/БП вложены в больший цикл ИУ следующего ранга по определенным схемам (рис. 1.1). Такая вложенность циклов БП, а значит, и всех процессов систем формирует строго определенный иерархический отсчет времени в этих системах, т.е. собственно иерархические внутрисистемные (в биологии – биологические) часы.

Схемы характеризуют единообразную организацию ИУ в пределах каждого цикла его развития, а цикл предшествующего ИУ служит мерой для этой организации, т.е. является для нее элементарным. В связи с наличием такой меры внутренние процессы предшествующего ИУ (осуществляющиеся в пределах элементарного цикла) неразличимы в цикле данного ИУ, что названо квантованием динамики БП и ИУ. Выбор той или иной схемы квантования организации на каждом ИУ определяется условием совпадения циклов отдельных ИУ с ритмичной факторов среды (суточной, годовой и др.). Отметим, что именно квантование обеспечивает устойчивое функционирование всех биологических систем и биосферы в целом (см. главу 3).

Каждая схема квантования может быть охарактеризована четырьмя взаимосвязанными типами информации – H , R , $|H \ln H|$, $|R \ln R|$, характеризующими организацию системы/цикла ИУ (табл. 1.1) [Kirsta, 1992]. Тем самым каждый ИУ имеет собственную информацию о своей организации (далее – информацию), одинаковую для повторяющихся циклов развития этого ИУ. Классическая трактовка информации (в теории информации это энтропия распределения вероятностей) подразумевает наличие какого-либо множества однотипных событий и вероятностей их наступления. Здесь и далее мы будем рассматривать информацию более широко, включая в нее как вероятностные, так и непосредственные долевого вклада компонентов в формируемый ими объект/систему. Математически информацию мы будем определять как нормированную информацию Шеннона [Шеннон, 1963; Kirsta, 1992], т.е. классическую информацию Шеннона $\sum p_k \times \ln p_k$ (где p_k – вероятностный или долевого вклад компонента k), деленную на ее максимально возможное значение. Отметим, что последнее достигается при учете всех компонентов объекта и условия равенства их вероятностных/долевых вкладов. Переход от классической шенноновской информации к нормированной необходим для введения единого универсального масштаба ее измерения, а значит, и возможности ее сравнения у различных систем. При этом новое выражение для информации удовлетворяет всем требованиям, предъявляемым к понятию информации/энтропии в информационно-теоретическом контексте [Седов, 1985; Николис, Пригожин, 1990].

В математической статистике и теории информации наряду с классической информацией Шеннона часто используются и другие ее понятия, например, по Р. Хартли (предложил свою трактовку за 20 лет до К. Шеннона) или по Р. Фишеру. Более того, поиски таких понятий идут постоянно [Short, Wehner, 2010]. Исследования показали, что введенная нормированная информация Шеннона физически присутствует во всех природных эволюционно развитых системах и обеспечивает информационный обмен между ними. Поэтому другие математически альтернативные понятия информации рассматривать нецелесообразно.

Мерой введенной информации является значение 1. Это значение отвечает первоначальному формированию фаз (или характерных интервалов) из циклов предшествующего ИУ до их объединения в полный цикл рассматриваемого ИУ (см. рис. 1.1). Действительно, для одной фазы, состоящей из n циклов функционирования предшествующего ИУ, введенная информация (нормированная информация Шеннона) составит:

$$\text{Информация} = -\left(\sum_{k=1}^n p_k \times \ln p_k\right) / \ln n = -\left(\sum_{k=1}^n \frac{1}{n} \times \ln \frac{1}{n}\right) / \ln n = \frac{\ln n}{\ln n} = 1,$$

где $p_k = 1/n$ – долевой вклад k -го цикла предшествующего ИУ в фазу;

$$\sum_{k=1}^n p_k = 1.$$

Ометим, что натуральный логарифм \ln здесь может быть заменен на другой с любым основанием.

После формирования из i фаз уже полного цикла ИУ, вместо информации 1 появляется информация H и R (см. табл. 1.1). По аналогии с последним уравнением, для полного цикла ИУ мы можем записать:

– в случае автономного БП с i фазами

$$H = -\left(\sum_{k=1}^n \frac{1}{n} \times \ln \frac{1}{n}\right) / \ln N = (\ln n) / \ln N$$

$$\text{и } R = -\left(\sum_{k=1}^i \frac{1}{i} \times \ln \frac{1}{i}\right) / \ln N = (\ln i) / \ln N, \quad (1.1a)$$

– в случае j параллельных взаимосвязанных БП

$$H = -\left(\sum_{k=1}^j \frac{1}{j} \times \ln \frac{1}{j}\right) / \ln N = (\ln j) / \ln N$$

$$\text{и } R = -\left(\sum_{k=1}^m \frac{1}{m} \times \ln \frac{1}{m}\right) / \ln N = (\ln m) / \ln N, \quad (1.1б)$$

где N – общее число циклов предшествующего ИУ, объединенных в одном цикле рассматриваемого ИУ, $N = n \cdot i$ или $N = m \cdot j$; n – число циклов предшествующего ИУ, имеющихя в одной фазе автономного

БП; m – число циклов предшествующего ИУ в каждом из параллельных БП, или иначе, число фаз в полном цикле (каждая из которых содержит j циклов).

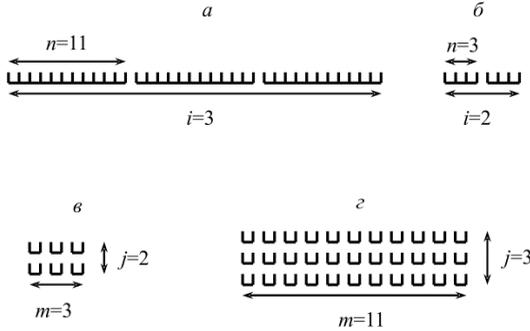


Рис. 1.1. Схемы организации ИУ (квантования БП):

с автономным БП, имеющим три (а) и две фазы (б), двумя (в) и тремя (г) параллельными БП; схемам отвечает информация H , равная 0,682 (а), 0,618 (б), 0,382 (в) и 0,318 (г); символом \sqcup обозначен повторяющийся цикл развития систем предшествующего ИУ; i, j, n, m – численные характеристики схем (табл. 1.1)

Из (1.1а) и (1.1б) следует, что величины H и R для всех схем квантования удовлетворяют уравнению $H + R = 1$ и могут принимать значения лишь от 0 до 1. При этом информация H и R представляет собой классическую информацию Шеннона (числитель), деленную на ее потенциально максимальное значение (знаменатель), которое достигается при $n = N, i = N, j = N$ или $m = N$. Отметим, что H и R в физико-математической литературе также называют энтропией и избыточностью соответственно.

Кроме H и R , у схем квантования появляется дополнительная информация $|H \ln H|, |R \ln R|$. Она обусловлена разделением информации 1 на доли H и R (выполняется $H + R = 1$) и тем, что информация H, R об организации системы представляет собой такую же реально существующую характеристику материальной системы, как энергия или масса. Отметим, что величины $|H \ln H|, |R \ln R|$ не превышают значения $1/e$, где e – натуральное число.

Значения четырех указанных типов информации определяют общую информацию, характеризующую организацию отдельного ИУ: – в случае автономного БП с i фазами

$$I_1 = i(H + |H \ln H|) + (R + |R \ln R|) = i(H - H \ln H) + (R - R \ln R), \tag{1.2a}$$

– в случае j взаимосвязанных параллельных БП

$$I_2 = (H + |H \ln H|) + j(R + |R \ln R|) = (H - H \ln H) + j(R - R \ln R), \quad (1.26)$$

где I_1 и I_2 – общая информация ИУ, достигнутая в процессе его становления при автономном БП и параллельных взаимосвязанных БП соответственно; H и R – информационные характеристики схемы организации/квантования ИУ (см. рис. 1.1, табл. 1.1 и 1.2); i и j – целочисленные характеристики схем.

Через множители i и j учитывается собственная организованность каждой фазы в (1.2а) и (1.2б) соответственно.

Таблица 1.1

Численные характеристики распространенных схем организации ИУ
(квантования БП) у иерархически организованных систем*

Характеристика	Число фаз i (автономный БП, $i = 3, 2, 1$)			Число параллельных БП j (взаимосвязанные БП, $j = 2, 3, \dots$)		
	3	2	1	2	3	...
N	33	6	1	6	33	...
n	11	3	1	–	–	–
m	–	–	–	3	11	...
H	0,682	0,618	(0,5)	0,382	0,318	...
R	0,318	0,382	(0,5)	0,618	0,682	...
$ H \ln H $	0,261	0,297	($\frac{1}{2}\ln 2$)	0,368	0,364	...
$ R \ln R $	0,364	0,368	($\frac{1}{2}\ln 2$)	0,297	0,261	...

* N – общее число циклов (повторений циклической динамики) предшествующего иерархического уровня (ИУ), объединенных в один цикл рассматриваемого ИУ и суммируемых по его базовым процессам (БП); n – число циклов предшествующего ИУ, объединенных в одной фазе (характерном интервале) в случае автономного БП; m – число циклов предшествующего ИУ, входящих в цикл рассматриваемого ИУ для каждого из параллельных БП (или, иначе, m – число фаз в полном цикле); H и R – информационные характеристики схем организации ИУ; $H + R = 1$, $H = (\ln n) / \ln N$, $R = (\ln i) / \ln N$, $N = n \cdot i$ в случае автономного БП или $H = (\ln j) / \ln N$, $R = (\ln m) / \ln N$, $N = m \cdot j$ в случае параллельных БП; $|H \ln H|$ и $|R \ln R|$ – абсолютные значения $H \ln H$ и $R \ln R$; \ln – натуральный логарифм. Значения H максимизируют общую информацию ИУ в уравнениях (1.2а), (1.2б) с формированием известной последовательности обобщенных «золотых» сечений, а также значений N , n , m . Величины в скобках, характеризующие вырожденную схему квантования ($i = N = 1$), по отдельности не фиксированы и удовлетворяют требованию максимума общей информации ИУ при условии $H + R = 1$, т.е. $(H + R + |H \ln H| + |R \ln R|) = (1 + \ln 2)$.

В соответствии с информационным законом эволюционное развитие природных систем представляет собой накопление информации. Когда информация достигает максимально возможного значения для конкретной системы, СФО последней становится эволюционно устойчивой. Найдем условия достижения величинами I_1 и I_2 в (1.2а) и (1.2б) максимума. Известно, что функция достигает максимума, когда ее первая производная равна нулю, а вторая меньше нуля. Беря первую производную по H от I_1 и I_2 и используя условие $H + R = 1$, получаем

$$\frac{dI_1}{dH} = -i \ln H + \ln R = 0, \quad (1.3а)$$

$$\frac{dI_2}{dH} = -\ln H + j \ln R = 0. \quad (1.3б)$$

Вторые производные от I_1 и I_2 равны соответственно $(-i/H-1/R) < 0$ и $(-1/H-j/R) < 0$. Таким образом, мы получили условия для максимума I_1 и I_2 . Решение уравнений (1.3а) и (1.3б) при условии $H + R = 1$ и целочисленных значениях i и j дает ряд значений H и R . Последующей подстановкой H и R в (1.1а) и (1.1б), с учетом равенств $N = n \cdot i$ и $N = m \cdot j$ соответственно, находим также целочисленные значения n , m , N (см. табл. 1.1 и 1.2). В таблице 1.1 даны наиболее распространенные схемы квантования ИУ СФО. В таблице 1.2 приведены и другие возможные схемы квантования параллельных БП, которые могут быть полезны при анализе СФО природных систем.

Таким образом, информационный закон характеризует эволюционное накопление информации об иерархической организации систем. Это накопление идет при формировании отдельного ИУ и образовании всей СФО системы от нижнего до верхнего ИУ. Общее количество накопленной в СФО информации, очевидно, может быть расчислено как сумма информации всех ИУ системы.

Рассмотрим полезную аналогию для уравнений (1.3а) и (1.3б), связанную с визуальной оценкой длины каких-либо объектов человеком. Пусть линейный объект разделен, например, на части A и B . Согласно установленному Э. Вебером и Г.Т. Фехнером закону [Fechner, 1876; Сороко, 1984] мы зрительно получаем информацию об относительной длине каждой из частей согласно логарифмической шкале. Тогда визуальные оценки длин A и B соответственно составят:

$$\text{информация } (A) \sim \ln \frac{A}{A+B},$$

$$\text{информация } (B) \sim \ln \frac{B}{A+B}.$$

Таблица 1.2

Численные характеристики * схем организации ИУ (квантования БП)
у иерархически организованных систем с параллельными БП

Число параллельных БП j	N	m	H	R
2	6	3	0,3820	0,6180
3	33	11	0,3177	0,6823
4	152	38	0,2755	0,7245
5	710	142	0,2451	0,7549
6	3210	535	0,2219	0,7781
7	14245	2035	0,2035	0,7965
8	62344	7793	0,1883	0,8117
9	269847	29983	0,1757	0,8243
10	$1,157 \cdot 10^6$	$1,157 \cdot 10^5$	0,1649	0,8351
11	$4,928 \cdot 10^6$	$4,480 \cdot 10^5$	0,1556	0,8444
12	$2,085 \cdot 10^7$	$1,737 \cdot 10^6$	0,1474	0,8526
13	$8,769 \cdot 10^7$	$6,745 \cdot 10^6$	0,1402	0,8598
14	$3,671 \cdot 10^8$	$2,622 \cdot 10^7$	0,1338	0,8662
15	$1,530 \cdot 10^9$	$1,020 \cdot 10^8$	0,1280	0,8720
16	$6,352 \cdot 10^9$	$3,970 \cdot 10^8$	0,1228	0,8772

* Обозначения характеристик см. в таблице 1.1 и на рисунке 1.1.

При любых количественных оценках обязательно существование категории меры, в качестве которой должна выступать наименьшая из полученных информаций. Можно полагать, что наиболее эстетичное и гармоническое соотношение длин A и B достигается, когда одна оценка кратна другой как мере. Тогда получаем соотношение

$$k \times \text{информация}(A) = \text{информация}(B) \quad \text{или} \quad k \ln \frac{A}{A+B} = \ln \frac{B}{A+B},$$

где k – целое положительное число.

Использование натурального ряда чисел $k = 1, 2, 3, 4, \dots$ в последнем уравнении дает последовательность относительных длин:

$$\frac{A}{A+B} = 0,500; 0,618; 0,682; 0,725 \dots;$$

$$\frac{B}{A+B} = 0,500; 0,382; 0,318; 0,275 \dots.$$

Эта последовательность совпадает с полученной для H и R (см. табл. 1.1, 1.2) и называется обобщенными «божественными» (в отечественной литературе – «золотыми») сечениями, которые известны в архитектуре, искусстве и математике [Шевелев и др., 1990]. Известны и многочисленные случаи устойчивых в своем развитии природных си-

стем, компоненты которых характеризуются значениями информации/энтропии, отвечающими данной последовательности [Сороко, 1984].

Вернемся к нашему закону. Важнейшим свойством информации является ее передача вовне другим системам. В результате анализа различных природных систем выяснилось, что информация об организации каждого ИУ передается вовне с помощью определенных носителей, формируемых в ходе БП. Эти носители представляют собой информационные энергетические/вещественные и временные продукты БП, которые поступают на более высокий по рангу ИУ, где их энергия и вещество используются для образования новых информационных продуктов. Тем самым все ИУ объединяются в одну целостную СФО. При этом системы каждого ИУ передают вовне только информацию о своей организации. Например, к таким продуктам БП относятся молекулы-энергоносители АТФ, NADH, NADPH, фруктозо-1,6-дифосфат у растений. Отметим, что создание и передача информационных продуктов идут вне зависимости от обмена физической энтропией между неравновесными системами [Николис, Пригожин, 1979] и не затрагивают классических представлений об этой энтропии и статистических распределениях Больцмана, Ферми, Бозе у элементов физических систем. Кроме того, указанные распределения отвечают различным случаям решения полученного ниже уравнения Шредингера (1.11а) при наложении на них определенных требований симметрии [Эренфест, 1972, с. 79–82].

Мы получили, что в процессе эволюционного становления системы каждого ИУ с достижением устойчивости ее СФО из меры информации l (цикла предшествующего ИУ) формируются два типа информации H и R (фазы и весь цикл ИУ). Эти два типа порождают еще два $|H \ln H|$, $|R \ln R|$. Из полученных четырех типов информации складывается общая информация I_1 или I_2 нового ИУ, сопровождающаяся структуризацией материи в форме информационных энергетических/вещественных и временных продуктов, передаваемых другим системам. Тем самым в соответствии с «Книгой Творения» реализуются все три категории – материя, мера и информация.

Каждая информация – H , R , $|H \ln H|$, $|R \ln R|$ – переносится соответствующим информационным продуктом системы. Анализ экспериментальных данных показывает [Kirsta, 1994], что первые два типа информации – H , R – обычно переносятся продуктами как нормированная информация Шеннона:

$$\text{информация} = - \frac{\sum_{k=1}^l p_k \times \ln p_k}{\ln l}, \quad (1.4)$$

где l – число созданных структурных элементов, составляющих информационный продукт; p_k – долевой (непосредственный или вероятностный) вклад элемента k в продукт, $\sum_{k=1}^l p_k = 1$.

Анализ также показывает, что величины структурных элементов варьируют около их среднего значения, определяемого схемой квантования, и тем самым могут переносить еще и информацию $|H \ln H|$, $|R \ln R|$. Информация таких случайных вариаций оценивается как энтропия нормального распределения вероятностей. Последнее имеет наибольшую информацию/энтропию по отношению к другим статистическим распределениям с такими же значениями дисперсии [Корн Г., Корн Т., 1984]:

$$\text{информация} = - \int_{-\infty}^{+\infty} \varphi(x) \ln \varphi(x) dx = \ln \sqrt{2\pi e \sigma^2}, \quad (1.5)$$

где $\varphi(x)$ – плотность нормального распределения вероятностей для отклонений x долевого вклада элемента от требуемого схемой квантования значения; $\pi = 3,1416$; $e = 2,7183$; σ – стандартное (среднеквадратичное) отклонение для x .

Очевидно, единицей измерения (мерой) x и σ должно служить непосредственно среднее значение характеризуемого структурного элемента, т.е. x и σ должны быть на это значение *нормированы*. Отметим также, что в (1.5), как и в (1.4), вместо двоичного логарифма используется натуральный логарифм.

Таким образом, в соответствии с количеством слагаемых в (1.2а) или (1.2б) мы имеем четыре типа информации, которые могут переносить продукты систем согласно (1.4) и (1.5). В случае автономного БП (уравнение (1.2а)) в каждой из i фаз формируются два энергетических/вещественных продукта с информацией H , $|H \ln H|$ согласно (1.4), (1.5). Периоды существования/стабилизации этих продуктов в ходе БП, в свою очередь, являются структурными элементами двух временных продуктов всего цикла ИУ, которые характеризуются соответственно информацией R , $|R \ln R|$, также согласно (1.4), (1.5). В случае j параллельных БП (уравнение (1.2б)) каждому БП отвечают два временных продукта с информацией R , $|R \ln R|$ и два энергетических/вещественных продукта для всего цикла ИУ с информацией H , $|H \ln H|$.

Анализ динамики различных природных систем показал, что они обладают двумя типами внутрисистемного времени [Kirsta, 2001, 2003]. У биологических систем каждый временной R - или $|R \ln R|$ -продукт формируется на основе физического или биологического ти-

пов внутрисистемного времени, которые закономерно сменяют друг друга в цикле ИУ [Kirsta, 2003, 2006b]. Физический тип времени представляет собой ход физического/календарного времени, а биологический тип – ход циклов предшествующего ИУ, темп которого зависит от факторов среды (например, от температуры у холоднокровных организмов). Очевидно, что без формирования системами в их цикле двух типов времени было бы невозможно создание и двух отдельных информационных R - и $|R \ln R|$ -продуктов.

Отметим, что количество фаз i у автономного БП не может быть больше трех, так как для значений $i \geq 4$ образование R - и $|R \ln R|$ -продуктов невозможно. Периоды физического или биологического типа внутрисистемного времени, формирующие эти продукты, состоят из неделимых (из-за квантования) циклов ИУ двумя рангами ниже (см. вывод уравнения (5.2)). Несложно показать, что любые варианты длительности таких периодов дают величину R больше, чем необходимо для схемы квантования с $i \geq 4$.

1.3. Отражение информационно-физического закона в завещании Гермеса Трисмегиста

Спустя 10 лет после формулировки информационно-физического закона обнаружилось, что он был известен жрецам Древнего Египта. Закон отражен в завещании Гермеса Трисмегиста, отождествляемого с египетским богом Тотом. Именно этот закон обеспечил известный из Библии прогноз жрецов о двух последовательных семилетних периодах высоких и низких урожаев [Бытие 41]. Выяснением его сути занимались многие поколения эзотериков и исследователей, включая Пифагора, Ньютона и др. В частности, справедливыми оказались представления школы Пифагора о том, что есть правила (данный закон), по которым «числа управляют миром», т.е. динамикой природных систем, включая развитие человеческого общества.

Сравним изложенный закон со «словами тайн» Гермеса Трисмегиста в его известном завещании на изумрудной таблице. Это следует сделать как дань памяти многотысячелетним усилиям расшифровки последнего как эзотерического текста, хотя ничего общего с эзотеризмом оно не имеет. Завещание, например, в переводе Исаака Ньютона [The Internet..., 2007] гласит нижеследующее.

1. Истинно – без всякой лжи, достоверно и в высшей степени истинно. **2.** То, что находится внизу, соответствует тому, что пребывает сверху; и то, что пребывает сверху, соответствует тому, что находится внизу, чтобы осуществить чудеса единой вещи. **3.** И так все

вещи произошли от Одного посредством Единого: так все вещи произошли от этой одной сущности через приспособление. **4.** Отец ее есть Солнце, мать ее есть Луна. Ветер ее в своем чреве носил. Кормилица ее есть Земля. **5.** Сущность сия есть отец всяческого совершенства во всей Вселенной. **6.** Сила ее остается цельной, когда она превращается в землю. **7.** Ты отделишь землю от огня, тонкое от грубого нежно, с большим искусством. **8.** Эта сущность восходит от земли к небу и вновь нисходит на землю, воспринимая силу высших и низших (областей мира). Так ты обретаешь славу всего мира. Поэтому от тебя отойдет всякая тьма. **9.** Эта сущность есть сила всех сил: ибо она победит всякую тонкую вещь и проникнет всякую твердую вещь. **10.** Так сотворен мир. **11.** Отсюда возникнут всякие приспособления, способ которых таков (как изложено выше). **12.** Поэтому я назван Триждывеличайшим, ибо владею тремя частями вселенской Философии. **13.** Полно то, что я сказал о работе произведения Солнца.

1-й пункт утверждает достоверность излагаемого в завещании.

2-й пункт говорит о единообразной реализации схем квантования для всех ИУ – от нижнего (микрочастицы, см. главу 2) до верхнего (см. пункт 5), что приводит к объединению ИУ в единые системы, т.е. собственно вещи.

В 3-м пункте постулируется, что все ИУ сформировались из цикла/системы предшествующего ИУ, отвечающего мере информации 1, с помощью единого для всех ИУ информационного закона путем приспособления циклов каждого ИУ к ритмике среды через выбор соответствующих схем квантования (см. рис. 1.1, табл. 1.1 и 1.2).

В 4-м пункте говорится о сущности, под которой подразумевается собственно информация ИУ в иерархической организации биосферы, формирующейся из минеральных веществ Земли за счет энергии Солнца [Kirsta, 2001]. Луна же своим притяжением, видимо, поддерживает равновесное состояние континентов Земли за счет их периодического приподнятия (приливной эффект) с сопутствующим перемещением под них подкорового вещества. В отсутствие Луны последнее должно выдавливаться из-под континентов из-за действующей на них силы тяжести, опускающей их вниз.

Пункт 5 говорит о выполнении информационного закона во всей Вселенной. По некоторым астрофизическим данным, Вселенная включает в себя обычное (называемое еще барионным) вещество, темное вещество и темную энергию в соотношении 5 : 25 : 70, или в долях вкладов 0,05 : 0,25 : 0,70 [Баранников, Фирсов, 2006]. Поэтому материя Вселенной в качестве информационного энергетического/веществен-

ного продукта переносит согласно (1.4) информацию $H = 0,68$. Эта информация соответствует циклу существования Вселенной [Carr, Coley, 2011] с тремя фазами, состоящему из 33 циклов предшествующего ИУ (см. табл. 1.1). Напомним, что значение $H = 0,68$ максимизирует информацию I_1 в (1.2а), определяя тем самым схему квантования из 33, или более точно $31,8 \approx 32$, циклов предшествующего ИУ. Существование последних отражено в Книге Творения как 32 пути сотворения мира.

По правилам формирования информационных продуктов в цикле с двумя или тремя фазами соотношение их энергетических/вещественных элементов должно быть одного масштаба и закономерно меняться по ходу цикла, формируя тем самым информационные временные продукты [Kirsta, 2006b]. Именно этой причиной может быть обусловлена взаимная близость космической энергии обычного вещества, энергии темного вещества и темной энергии, не имеющая до сих пор физического объяснения.

Пункты 6–8 касаются организации биосферы и переноса информации климатическими факторами, в том числе осадками, образующимися из испаряемой на земле влаги и выпадающими обратно (п. 4.3.1 [Kirsta, 2001; Кирста Ю.Б., Кирста Б.Ю., 2008]).

Пункт 9 говорит о безусловном выполнении информационного закона для всех систем/объектов физического мира. Пункт 10 подтверждает сказанное в предыдущих пунктах. Пункт 11 говорит об эволюции всех природных систем в рамках информационного закона.

Пункт 12 указывает на знание Гермесом Трисмегистом концепции строения мира «материя – мера – информация», непосредственно связанной с информационным законом. Концепция и закон являлись тайной, и египетские жрецы распространяли среди населения Египта четырехчленное представление о мире – в современной терминологии это категории материи, энергии, пространства и времени [Концепция..., 2002; Ермилов, Матвеев, 2006]. Пункт 13 подтверждает пункт 4, где говорится о построении информационных продуктов биосферных систем за счет энергии Солнца.

В Древнем Египте существовала секретная методология агрометеорологических прогнозов, основанная на информационном законе. Можно также отметить, что египетские жрецы, осведомленные о «божественных» сечениях (см. табл. 1.1 и 1.2), положили их в основу метеорологии Древнего Египта [Шмелев, 1993] (см. главу 4).

Таким образом, нами рассмотрена концепция строения физического мира с тремя взаимосвязанными категориями – материей, мерой и информацией – расширяющая традиционное представление о фи-

зическом мире как «материя + пространство + время». Показано, что наряду с такими физическими характеристиками, как энергия, импульс и другие, материальные объекты/системы обладают еще одной важной физической характеристикой – информацией.

Формирование и передача информации у материальных систем осуществляются согласно установленному информационному закону. Закон непосредственно связан с информацией и мерой как объективно существующими категориями физического мира, поэтому его можно рассматривать как один из важных законов строения материи. Он имеет дело с простейшим вариантом информации, характеризующим непосредственно иерархическую вложенность циклов функционирования природных систем. Закону подчиняется иерархическая организация биохимических, биологических и других эволюционно развитых систем. Реализации закона в квантовой физике вынесены в приложение как не имеющие прямого отношения к основной идее излагаемого материала – анализу динамики сложноорганизованных систем.

Выводы

1. Рассмотрена древняя альтернативная концепция строения физического мира как единства трех объективно существующих категорий: материи – меры – информации. Она дополняет современные научные категории материи, пространства и времени качественно новыми – мерой и информацией – и обеспечивает более адекватное представление об окружающем нас физическом мире.
2. Дано понятие информации, характеризующей непосредственно организацию природных материальных систем как определенную вложенность материальных процессов друг в друга.
3. Дана математическая формулировка информационно-физического закона, отражающего информационные свойства материи и процессов ее трансформации. В соответствии с законом организация эволюционных систем является иерархической. ИУ имеют собственную относительно независимую организацию, которая стабильна при максимальной величине отвечающей ей информации. Это приводит к квантованию ИУ по единообразным схемам, характеризующим вложенность процессов/организации ИУ последовательно от низких ИУ к более высоким.

Глава 2

ИССЛЕДОВАНИЯ БИОСФЕРЫ КАК ИНФОРМАЦИОННО-ИЕРАРХИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ МАТЕРИАЛЬНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

Понятие о биосфере как особой оболочке Земли, включающей живые организмы, было предложено австрийским геологом Э. Зюссом [Suess, 1875]. Это понятие представляло собой дальнейшее развитие идей Ж.-Б. Ламарка, Ч. Дарвина о тесной взаимосвязи живых организмов между собой и со средой, являясь в то же время большим научным и эмпирическим обобщением накопленных экспериментальных данных [Вернадский, 1926]. Основы современного учения о биосфере как оболочке Земли, в которой развивается жизнь, были заложены в 20-х гг. XX столетия В.И. Вернадским [1926, 1965, 1978, 1989]. Он относил к биосфере верхние слои литосферы, гидросферу и нижнюю часть атмосферы с нижней границей биосферы, расположенной на глубине 2–3 км для суши и 1–2 км для дна океана, и верхней границей, отвечающей защитному озоновому экрану атмосферы на высоте 20–25 км. В.И. Вернадский рассматривал биосферу как результат взаимодействия живого вещества (всех живых организмов) с косным (не входящим в состав организмов). Им впервые были сформулированы представления о биосфере как целостной организованной системе живых организмов и среды обитания, причем системе, связанной также с окружающим Землю космическим пространством. В.И. Вернадский понимал под эволюцией биосферы процесс ее адаптации ко всему комплексу меняющихся во времени абиотических и биотических факторов земной и космической среды. Иначе говоря, биосфера рассматривалась как единая самоорганизующаяся система, подчиняющаяся законам эволюционного развития. Достаточно полные обзоры вопроса можно найти во многих работах [Вернадский, 1926; Тимофеев-Ресовский и др., 1977; Камшилов, 1979, и др.].

Свободная энергия поставляется биосфере в форме световой энергии Солнца, которая усваивается биологическими системами (БС) биосферы и трансформируется в химическую, электрическую, механическую и в конечном итоге в тепловую формы энергии. Такая одноплавленная трансформация световой энергии в тепловую (последняя

не может быть реассимилирована) с выполнением всевозможных видов работ является неотъемлемым свойством живого вещества и основой всей жизни [Вернадский, 1989]. Э. Бауэром [1935] сформулирован принцип «устойчивого неравновесия», согласно которому все живые системы никогда не находятся в равновесии и за счет получаемой ими свободной энергии совершают постоянную работу против сил, приводящих их в равновесие, требуемое законами физики и химии. Взаимосвязанные процессы трансформации свободной энергии и вещества составляют сущность функционирования БС начиная от молекулярно-генетических ИУ и кончая ИУ биосферы в целом. Можно сказать, что весь органический мир – это исторически сложившаяся форма организации потоков энергии и вещества [Колчинский, 1989]. Именно по этой причине В.И. Вернадский [1988, 1989] рассматривал превращение энергии Солнца в энергию организмов в качестве глобальной функции живого вещества, меняющей миграцию химических элементов в биосфере, а само вещество – как носитель свободной энергии в биосфере.

С физической точки зрения БС являются открытыми неравновесными термодинамическими системами, существование которых основано на постоянном притоке свободной энергии из среды в количестве, компенсирующем ее потери [Опарин, 1960]. В открытых исходно неупорядоченных системах могут осуществляться процессы самоорганизации, тогда как в замкнутых системах все процессы ведут к тепловому равновесию и физическому хаосу. Подобный термодинамический подход обычно используется при разработке критериев эволюции БС [Термодинамика..., 1976]. Исследования открытых самоорганизующихся систем активно велись в последнее время и объединены под общим названием «синергетика» [Хакен, 1980, 1985]. Область интересов синергетики охватывает физические, химические, биологические системы потокового типа, в которых могут образовываться упорядоченные пространственно-временные структуры. При этом взаимодействие с внешней средой считается обязательным условием существования систем. Н.Ф. Реймерс [1990, с. 475] дает следующее определение системы: «Система – саморазвивающаяся и саморегулирующаяся определенным образом упорядоченная материально-энергетическая совокупность, существующая и управляемая как относительно устойчивое целое за счет взаимодействий, распределения и перераспределения имеющихся, поступающих извне и продуцируемых этой совокупностью веществ, энергии, информации, и обеспечивающая преобладание внутренних связей (в том числе перемещений вещества, энергии и передачи информации) над внешними». К сожалению, исследования информационных аспектов функционирования

самоорганизующихся иерархических систем не получили в синергетике должного развития.

2.1. Эволюционное развитие биологических систем

По гипотезе А.И. Опарина [1957], жизнь возникла в гидросфере Земли как следствие взаимодействий простейших органических соединений. Существующие оценки дают очень малую вероятность такого возникновения. Однако при учете, что только в нашей Галактике имеется порядка 100 млрд звезд (и, видимо, близкое к этому количество планет) и есть возможность переноса органических молекул метеоритами, эта вероятность достигает приемлемых значений. Не касаясь степени достоверности таких соображений, мы увидим, что в полном соответствии с гипотезой А.И. Опарина именно молекулярно-генетические БС составляют низшие ИУ биосферы. Этому отвечает и вывод В.М. Жданова [1990, с. 22] о том, что «для эволюции биологических макромолекул характерна самоорганизация, которая уже имеет место на уровне примитивных нуклеиновых кислот». Согласно данному автору в начале эволюции полипептидные цепи (составляющие вместе с нуклеиновыми кислотами основу органической жизни) состояли лишь из 10 аминокислот вместо современных 20, а первичный генетический код был «двухбуквенным» вместо современного «трехбуквенного». В то время – более 3,5 млрд лет назад – появились примитивные клеточные структуры, характеризующиеся более сложной, чем у молекулярно-генетических БС, метаболической СФО. Переход к прокариотам с еще более усложненной иерархической СФО произошел в промежутке 4–3 млрд лет назад. Около 2,5 млрд лет назад сформировались универсальные для всех организмов аминокислотный состав белков и генетический код. Одновременно формировались и надорганизменные БС – экосистемы прокариотов. Можно предполагать, что к этому периоду относится и дифференциация одноклеточных организмов на продуцентов и редуцентов, обеспечивающая в экосистемах замкнутость круговорота веществ. Как отмечает А.В. Лаппо [1987], некоторые экосистемы прокариотов, в частности экосистемы строматолитов, оказались очень устойчивыми и сохранились неизменными до нашего времени, просуществовав 2,7 млрд лет. Дальнейшее усложнение СФО прокариотов и появление эукариотов произошло приблизительно 3–2 млрд лет назад. Следующим шагом в эволюции биосферы было появление многоклеточных организмов (губок) предположительно 1,5 млрд лет назад. Этим же временем датируют и эволюцию растений, начавшуюся с появления водорослей и грибов. Обра-

зование основных типов водных растений и выход их на сушу принято относить ко времени палеозоя, т.е. около 500 млн лет назад. Эволюцию животных, выделившихся из эукариотов, видимо, еще до образования многоклеточных организмов, датируют, подобно растениям, временем 1,5 млрд лет назад. Выход животных на сушу произошел примерно 300 млн лет назад. И наконец, около 1 млн лет назад появился человек. Таким образом, в ходе эволюции последовательно возникали все более сложные БС с сопутствующей дифференциацией их организации.

Организацию органического мира Земли общепринято считать иерархической [Шмальгаузен, 1938, 1939–1940, 1968а; Bertalanffy, 1952, 1960; Берталанфи, 1969; Камшилов, 1974, 1979; Тимофеев-Ресовский и др., 1977]. Эволюция биосферы обычно рассматривается начиная с ИУ организмов и выше. С этого же ИУ начинается и обозначенная еще в 1866 г. Э. Геккелем область традиционных экологических исследований. Познание эволюции биосферы подразумевает решение ряда вопросов [Колчинский, 1990]:

- о сущности эволюционного процесса;
- о взаимосвязи эволюционных преобразований на уровне биологических видов и биосферы в целом;
- об основных тенденциях в эволюции биосферы как целостной системы;
- о принципах выделения главных этапов эволюции биосферы, и др.

В настоящем исследовании в целом получен ответ на подобные вопросы. Мы считаем, что в основе формирования всех ИУ биосферы лежит информационный закон, который можно также назвать **законом эволюционного накопления информации**. Эволюционный процесс охватывает все ИУ организации жизни – от низших генетических [Жданов, 1990] до высшего ИУ, характеризующего биосферу в целом. Поэтому традиционное представление об эволюционирующей биосфере, включающей только ИУ организмов и выше, является достаточно условным. В дальнейшем мы будем рассматривать биосферу как совокупность всех ИУ организации живых организмов. Опираясь на представления В.И. Вернадского и других исследователей, мы будем определять ее как поверхностную оболочку Земли, включающую иерархически организованную совокупность разнообразных эволюционирующих БС – трансформаторов свободной энергии и вещества.

Следуя за В.И. Вернадским, мы не будем касаться основы понятий «жизнь» и «живое», так как иначе неизбежно вышли бы за пределы изучаемых в науке явлений жизни в область такой формы движения материи, как мысль и разум [Тейяр де Шарден, 1965]. Понимая

под БС или живым веществом по В.И. Вернадскому самоорганизующуюся материю, мы будем относить к БС все природные системы, обладающие генетическим наследованием их СФО. Таким образом, БС будут характеризоваться нами как циклически самоорганизующиеся в потоке солнечной энергии системы материально-энергетических процессов, имеющих генетическую основу жизнедеятельности. Отметим, что такое понятие БС, вполне согласуясь с подчинением их информационному и другим физическим законам, нами не считается полностью исчерпывающим, поскольку реальность всегда сложнее ее любого научного объяснения [Казначеев, 1989].

Основы научной теории эволюции органического мира были заложены трудами Ч. Дарвина еще в конце XIX в. Многочисленные исследования в различных научных областях, включая биологические науки, позволили собрать значительный фактический материал о путях, факторах и закономерностях эволюционного процесса. Обобщение накопленных данных и разработка единой теории эволюции были начаты в 40-х гг. XX в. И.И. Шмальгаузен и Дж. Хаксли. Эта задача остается актуальной и в настоящее время.

В основе современных представлений об эволюции биосферы лежат дарвиновская теория эволюции и генетика. Объединение дарвинизма с генетикой и развитие известного учения о микро- и макроэволюции началось в 1930-х гг. [Dobzhansky, 1937; Timofeef-Ressovsky, 1939; Шмальгаузен, 1938, 1939–1940, 19686; Тахтаджян, 1970; и др.]. К микроэволюции относят генетические изменения организмов, не выводящие последних за пределы вида, а к макроэволюции – преобразования организмов в следующих за видом таксономических подразделениях – родах, семействах и т.д. С точки зрения генетики вид представляет собой естественную биологическую единицу, члены которой (организмы) связаны воедино участием в общем генофонде [Margulis, 1982; Одум, 1986]. Общеизвестно, что одним из основных факторов эволюции являются мутации генов, определяющие дискретное возникновение и наследование новых признаков у разновидностей, переходящих в последующем в виды организмов [Коржинский, 1899; Тимофеев-Ресовский и др., 1977]. Именно спонтанный мутационный процесс определяет обязательное существование гетерогенности в генофонде любой природной популяции [Четвериков, 1926; Медников, 1990]. Гетерогенность генофонда и естественный отбор Ч. Дарвина являются основой эволюционного процесса, позволяющего организованным в популяции организмам приспособиться к меняющимся условиям среды. Тем самым обеспечивается продолжительное существование вида как такового в форме популяций, адаптирующихся к кон-

клеточным условиям среды. Подобно тому как популяции вида представляют собой объект микроэволюции, для макроэволюции центральным объектом является филетическая линия, т.е. цепь видов, связанная отношением предок – потомок. В такой линии генофонд каждого вида представляет собой несколько измененную наследственную информацию предшествующего вида – предка [Бердников, 1990]. Наряду с широко распространенными представлениями о популяционном характере видообразования и популяции как элементарной единице эволюционного процесса [Наумов, 1963; Шварц, 1971; Тимофеев-Ресовский и др., 1977; Одум, 1986] популяцию и вид можно трактовать как генетическую, реагирующую на внешние воздействия систему адаптивных норм развития [Яблоков, 1987]. Генофонд вида можно рассматривать не как одну реализуемую в имеющихся условиях норму, а как совокупность различных программ развития. Эта совокупность наследуется в процессе эволюции не одного, а многих видов, обогащаясь от вида к виду. При этом скачкообразное видообразование при изменении условий среды не означает создание полностью новой программы развития, а отвечает запуску и дальнейшему совершенствованию одной из имеющихся в генофонде заблокированных программ. При видообразовании возможно также использование готовой генетической информации из генофондов других видов, относящихся даже к далеким таксономическим группам. Такой перенос осуществляется вирусами, которые в связи с этим квалифицируются как важные факторы эволюции органического мира [Жданов, 1990]. Изложенное позволяет объяснить существование гомологических рядов в наследственной изменчивости, описанных Н.И. Вавиловым; существование экотипов, хорошо известных ботаникам; встречающуюся относительно высокую скорость возникновения видов, которая характеризуется не геологическими периодами в миллионы лет [Бердников, 1990], а несколькими тысячелетиями [Медников, 1990].

Известный принцип Реди «все живое из живого» отражает существование на протяжении всей истории биосферы генетической связи между имеющимися БС и эволюционно предшествующими им БС. Тем самым генетическая передача СФО, или закон наследственности, является важнейшей отличительной особенностью всех природных БС и их эволюции. Выше указывалось, что на молекулярно-генетическом ИУ биосферы постоянно протекает спонтанный мутагенез (мутационный процесс), являющийся неотъемлемым свойством живого вещества [Тимофеев-Ресовский и др., 1977]. Поскольку молекулярно-генетический ИУ биосферы лежит в основании ее иерархической СФО, мутагенез обеспечивает возможность трансформации всех ИУ ее СФО и приспособления природных БС к меняющимся условиям

среды их обитания. При этом наследственная изменчивость, будучи объективно случайной, позволяет БС приспособиться к различным изменениям среды. Наследственная изменчивость СФО всех БС обеспечивает в итоге непрерывный процесс биогенеза биосферы Земли, включая флоро- и фауногенез.

Таким образом, мутагенез поставляет на каждый ИУ биосферы устойчиво самовоспроизводящиеся из цикла в цикл гетерогенные БС, различающиеся в той или иной степени СФО. Все эти варианты БС подвергаются классическому дарвиновскому отбору, который действует исключительно путем «дифференциального успеха» [Пианка, 1981]. В результате отбора достигается наиболее полное соответствие циклов развития БС с ритмикой важнейших факторов среды и накопление возможных вариантов их СФО. В связи с автономностью функционирования каждого ИУ можно полагать независимым и направление отбора вариантов СФО на каждом ИУ. В частности, показано, что направление естественного отбора в пределах отдельно взятых групп организмов не может быть изменено межгрупповым отбором [Wright, 1931]. В то же время иерархическая СФО БС включает в себя все СФО более низких ИУ как подсистемы. Поэтому отбор СФО любой БС означает отбор всех иерархически подчиненных ей СФО более «мелких» БС, относящихся к низким ИУ. Тем самым эволюция биосферы представляет собой единый процесс, охватывающий все ИУ ее иерархической СФО. При этом отбор БС на каждом ИУ эволюционно сопряжен с отбором БС, относящихся к более высоким ИУ. Такая сопряженность органической эволюции неоднократно отмечалась, например, для видообразования, происходящего в составе, под контролем и совместно с биогеоценозами [Шмальгаузен, 1968а, б; Шварц, 1973; Номоконов, 1989]. В свою очередь, эволюционное развитие биогеоценозов связано с эволюционирующим составом флоры и фауны, т.е. с эволюцией БС высоких ИУ биосферы.

«В процессе отбора сохраняются не столько организмы как таковые, сколько конкретные способы взаимодействия со средой», – заключает М.М. Камшилов [1974, с. 42]. Действительно, на любом ИУ биосферной СФО мы видим сохранение из цикла в цикл конкретных способов организации материально-энергетических процессов среды, т.е. программ циклического развития БС. Каждая программа имеет смысл лишь в среде существования данной БС и становится бессмысленной при помещении БС в иную среду. Иначе говоря, само понятие БС и ее циклического развития, по существу, включает среду обитания. На это еще раз указывает М.М. Камшилов [1979], говоря о поглощении из среды веществ, энергии и внешней информации при расшифровке в фенотипе «генотипической информации». Таким образом,

неправильно было бы полагать, что программы развития природных БС обусловлены исключительно молекулярно-генетическим ИУ их СФО. Эти программы подразумевают определенную организацию процессов в конкретной среде обитания БС и получение от этой среды определенной информации/сигналов. Возвращаясь к естественному отбору, мы можем говорить о нем как обязательном механизме, поддерживающем и обеспечивающем существование программ развития путем их адаптации к постоянно меняющейся среде. Это касается каждого ИУ организации любой природной БС и наиболее ярко проявляется у видов, эволюционирующих в меняющихся условиях среды [Шмальгаузен, 1938; Timofeeff-Ressovsky, 1939; Риклефс, 1979; Медников, 1990].

Эволюционный отбор БС и поддержание целостности иерархической СФО биосферы в постоянно меняющейся среде обеспечивается не только мутагенезом, но и отсутствием в информационном законе (п. 1.2) пространственного аспекта развития природных систем. Это позволяет БС разных ИУ и с различными вариациями СФО появляться, сосуществовать и распространяться в пространстве. В то же время каждой БС отвечают определенные размеры, характерные для ИУ, к которому она относится. Например, для фотосинтетических БС это размеры тилакоида в хлоропластах растений, а для биогеоценоза (экосистемы) – размеры его биотопа. Отметим, что по этой причине в занимаемом биосферой пространстве в каждый момент времени существует конечное число разных БС, принадлежащих конкретному ИУ биосферы. Пространство, занимаемое БС, не всегда четко ограничено. Так, экосистемы имеют размытые пространственные границы подобно таким же размытым границам входящих в них популяций видов [Миркин, Розенберг, 1983; Войткевич, 1988]. Такая особенность экосистем позволила даже не вводить в их понятие пространственных ограничений [Tansley, 1935; Исаков и др., 1980].

Мутагенез и отсутствие пространственного аспекта в информационном законе определяют такое важнейшее свойство БС, как захват ими всякого свободного пространства биосферы, или «всюдность жизни» по В.И. Вернадскому [1926, 1989]. Действительно, захват пространства живым веществом является очевидным следствием «мутационного» появления БС с новыми эволюционно отбираемыми СФО, позволяющими осваивать новые материально-энергетические ресурсы среды. Вслед за В.И. Вернадским это свойство природных БС неоднократно и с разных сторон обсуждалось в литературе. Так, Р. Фишер [Fisher, 1930] математически сформулировал и доказал теорему о росте организованности живого вещества в результате естественного отбора, обуславливающего возрастание способности использовать жизненные

ресурсы. На повышение как сложности и устойчивости сообществ организмов, так и эффективности использования ими ресурсов среды в результате естественного отбора указывал Р. Риклефс [1979]. Л.И. Номоконов [1989] рассмотрел захват пространства новыми видами растений и животных с формированием на местообитании старых аборигенных видов нового биогеоценоза (т.е. смену старой СФО биогеоценоза на новую), что можно характеризовать как сукцессию селектоценогенетического типа по В.Н. Сукачеву [1927, 1964а, б].

Одновременное существование природных БС с отличающимися вариантами СФО находит отражение в мозаичности строения биосферы. Появление мозаичности связано, очевидно, с всегда имеющейся пространственной неоднородностью среды. В разных материально-энергетических условиях среды вырабатываются специфические, наиболее оптимальные для них варианты СФО у БС. Наиболее крупные участки земной поверхности, отличающиеся рядом особенностей энергомассообмена, принято характеризовать как климатические или ландшафтно-географические зоны и провинции [Бигон и др., 1989; Номоконов, 1989]. К каждой зоне приурочен определенный тип природных сообществ (биомов), к которым относятся тундра, тайга, смешанный и лиственный леса, дождевой и сезонный тропические леса, степь, тропические саванны и скраб, пустынная растительность, средиземноморская растительность (чапараль), горная растительность [Сох, Мооге, 1999]. Биомы, в свою очередь, подразделяются на более мелкие БС – биогеоценозы, или экосистемы, существование которых также связано с определенными, но уже меньшими по размеру природными зонами [Номоконов, 1989]. Характерные черты энергомассообмена биогеоценозов в этих зонах могут сохраняться в течение десятков и сотен миллионов лет [Бердников, 1990], что позволило рассматривать биогеоценозы в качестве элементарных функциональных единиц биосферы [Лаппо, 1987; Номоконов, 1989]. Пространственная неоднородность среды обуславливает также существование мозаичного климатика – мозаики открытых климатических сообществ с зависящим от условий среды составом [Уиттекер, 1980; Одум, 1986]. В качестве другого примера пространственной мозаичности БС можно назвать многоклеточный организм, отдельные клетки которого выступают в качестве различных вариантов БС одного ИУ, находящихся в разных условиях функционирования.

Для биосферы в целом характерен постоянный рост разнообразия БС, обычно отождествляемый с ее эволюцией. На непрерывность эволюции у организмов и биогеоценозов указывают многие исследователи [Тимофеев-Ресовский и др., 1977; Гиляров, 1980; Вернадский,

1988; и др.]. К ее основным факторам принято относить мутагенез, освоение новых материально-энергетических ресурсов среды и биогенную трансформацию этой среды. О мутагенезе как причине появления новых, все более специализированных к неоднородным условиям среды вариантов БС говорилось выше. Роль второго фактора ярко проявляется в видообразовании, при котором «значительная часть видов организмов, в частности растений, является морфологическими видами, созданными благодаря химическим особенностям той среды, на которой они живут, и того состава, какой они при этом получают» [Вернадский, 1978, с. 28]. Третий фактор – биогенная трансформация среды – является следствием жизнедеятельности организмов. Трансформация среды обычно считается необратимой, из чего делается вывод о необратимости во времени и эволюции [Камшилов, 1974]. В то же время очевидно, что необратимость эволюции и роста разнообразия БС биосферы определяется всей совокупностью указанных факторов. Эмпирический закон необратимости эволюции, подразумевающий закрепление естественным отбором полезных мутаций в организмах, был сформулирован еще в 1893 г. Л. Далло [Dollo, 1893] и далее развит Н.В. Тимофеевым-Ресовским [1977]. В.И. Вернадский [1989] принял необратимость эволюции живых естественных тел за одно из принципиальных отличий живого вещества от космого.

Эволюционная трансформация СФО природных БС, идущая под действием мутагенеза и сопровождающаяся ростом их разнообразия, должна происходить в рамках информационного закона. На каждом временном цикле любого ИУ биосферы мы имеем в общем случае новую трансформированную на предыдущем цикле среду и отвечающие ей трансформированные СФО природных БС. Циклы, по сути, формируют известную спираль эволюционного развития. Циклы развития БС отдельных ИУ биосферы имеют характерную для них продолжительность, определяющуюся ритмами внешних космофизических факторов и составляющую сутки, год и т.д. вплоть до геологических периодов в сотни миллионов лет [Максимов, 1989; Зубаков, 1990]. Таким образом, на каждую эволюционную спираль БС конкретного ИУ биосферы с меньшим временным шагом накладывается спираль следующего ИУ с большим шагом. Сохранение накопленного генофонда живых организмов и его обогащение в каждом новом цикле обеспечивают преемственность эволюционного развития биосферы и появление наиболее оптимальных вариантов СФО БС [Медников, 1990]. Сосуществование старых и новых вариантов природных БС, в том числе видов организмов, типично для биосферы. Так, «в каждый геологический период и в каждой ландшафтно-географической зоне

биогеоценозы и биогеоценогический покров в целом развиваются на базе наличной флоры и фауны и «осколков» растительности и животного населения предшествующего периода» [Номоконов, 1989, с. 344].

Для эволюционной трансформации СФО любой БС обязательно постепенное изменение (сдвиг) биотических и абиотических условий среды в течение цикла развития БС. При резких существенных изменениях среды СФО БС не успевает трансформироваться из-за конечной скорости мутагенеза, и БС разрушается. В то же время среда сама по себе представляет результат жизнедеятельности БС. В связи с этим для устойчивого существования БС обязательно самоподдержание ими стабильности среды обитания. Отметим, что это требование отражено, например, в концепции экосистемы [Одум, 1986] и биогеоценоза [Сукачев, 1964б; Быков, 1970]. К одному из основных способов стабилизации среды относится организация природными БС круговорота биогенных веществ, который позволяет поддерживать на постоянном уровне объемы необходимых для БС субстратов в среде. Уже самые ранние в эволюционном отношении экосистемы из одноклеточных организмов обеспечивали подобный круговорот за счет дифференциации этих организмов на продуцентов и редуцентов [Наумов, 1971]. Это наблюдается и у современных экосистем. При этом интенсивность потоков биогенных веществ в биосфере достигает значительных величин: порядка 230 млрд т в сухом весе для ежегодно производимого продуцентами органического вещества [Базилевич и др., 1971]. Стабильность объема необходимых продуцентам субстратов, например CO_2 , достигается также за счет определенного количества CO_2 в атмосфере в качестве буфера.

Стабилизация природными БС среды обитания необходима и для поддержания устойчивого функционирования более низких ИУ их СФО, так как в силу последовательного построения иерархических СФО нарушение любого ИУ вызовет цепную реакцию разрушения всех вышележащих ИУ. Такую стабилизацию среды мы видим, например, у теплокровных животных. Самоподдержание последними постоянной температуры организма позволяет стабилизировать условия функционирования всех ИУ их СФО начиная с молекулярно-генетического.

Мы рассматривали эволюцию природных БС, полагая иерархическую СФО биосферы в основном построенной. Остановимся на особенностях изначального построения этой СФО снизу вверх. Характерным временем функционирования каждого ИУ биосферной СФО является длительность его цикла. Поэтому построение, равно как и темпы эволюции СФО, у БС каждого ИУ замедляются по сравнению с более

низким ИУ во столько раз, во сколько различаются длительности циклов этих ИУ. Из таблиц 1.1, 1.2 и рисунка 1.1 следует, что замедление этих темпов отвечает содержащемуся в цикле ИУ количеству последовательных элементарных циклов, которое составляет от 3 и более. Поэтому темпы построения и эволюции СФО (БС) для каждого следующего ИУ биосферы будут замедляться не менее чем в 3 раза, а для очередного N -го по положению ИУ – не менее чем в 3^N раз. Таким образом, темпы эволюционного построения очередных ИУ иерархической СФО биосферы были быстрыми для ее первых молекулярно-генетических ИУ и резко замедлялись по мере создания новых, более высоких ИУ. Этот вывод согласуется с мнением многих исследователей о существовании фотоавтотрофных БС практически с начала геологической истории Земли, что подтверждается данными по изотопному составу углерода в древнейших осадочных породах [Вернадский, 1965, 1988; Cloud, 1976; Соколов, 1976; Заварзин, 1984а, б; Войткевич, 1988].

Следует отметить, что построение очередного ИУ биосферы заметно ограничивает возможности эволюционной трансформации СФО предшествующего(их) ИУ, поскольку СФО последнего(их) уже является частью самостабилизирующейся СФО нового ИУ и должна иметь определенную ритмику и БП. В связи с этим наиболее стабильным в эволюционном отношении должен быть низший ИУ биосферы – молекулярно-генетический. Именно поэтому современный генетический код всех организмов не изменялся на протяжении последних 2 млрд лет [Жданов, 1990]. «Превращение биосферы в самоорганизующуюся систему... все в большей мере ограничивает эволюционные возможности отдельных видов», – отмечает и М.М. Камшилов [1979, с. 223], но уже для «видового» ИУ биосферы.

В соответствии с информационным законом (п. 1.2) информационные продукты БП каждого ИУ используются в качестве субстратов БП следующего ИУ. Данная информационно-субстратная связь пронизывает снизу доверху иерархическую СФО любой природной БС, обеспечивая тем самым ее существование и целостность. Эта связь, являющаяся «физической» основой целостности СФО БС, требует, в свою очередь, пространственного совмещения БС всех ИУ этой СФО. Такое совмещение мы видим по всей СФО биосферы:

- в использовании органических молекул как продуктов БП в качестве субстрата при образовании компактных совокупностей молекул – рибосом, митохондрий и т.п.;
- образовании из подобных совокупностей клеток, из клеток – многоклеточных организмов, из организмов – экосистем и т.д.

Поскольку информационные продукты состоят, по крайней мере, из двух структурных элементов (см. уравнение (1.4)), необходимо совмещение БС, создающих эти элементы. Такое совмещение БС иногда характеризуется как их симбионтные отношения. Например, считается, что эукариоты произошли от симбиоза двух различных прокариотических форм – анаэробной и аэробной (способной к дыханию) [Жданов, 1990]. Аналогичным образом предполагается, что потомками симбионтов являются такие субклеточные структуры, как митохондрии и хлоропласты.

Многие существующие представления об эволюционном развитии органических форм жизни, основанные на опыте и интуиции исследователей, близки в своей основе к установленному информационному закону. Приведем некоторые из них.

✓ В.И. Вернадский [1926] в качестве важнейшей тенденции эволюции биосферы выделяет возрастание ее организованности. Согласно информационному закону возрастание организованности, или, иначе, накопление информации, обязательно для БС.

✓ А.Б. Новиков [Novikoff, 1945] выдвигает концепцию интегративных уровней организации материи с ее последовательной эволюцией через все более высокие порядки интеграции. Эта концепция полностью отвечает закону, хотя данный автор, как и многие другие исследователи [Bertalanffy, 1952; Ушаков, 1963; Жирмунский, Кузьмин, 1990], различает лишь небольшое число уровней организации живой материи: клеточного, тканевого, органоидного, организменного, популяционного (биогеоценологического).

✓ Согласно М.М. Камшилову [1974, с. 36] «эволюция – это основной процесс, в течение которого повышается уровень сложности организмов и, следовательно, накапливается информация». Он указывает также: «Основной организационный принцип эволюции – дифференциация форм движения материи, основанная на прогрессирующей интеграции все новых структурных элементов, постоянно возникающих в ходе дифференциации» [1974, с. 60]. Закон основан на том же.

✓ «Каждая система обладает определенным запасом информации, под которым понимают количественную меру организованности этой системы. Очевидно, чем более сложна (а значит, и дискретна) экологическая система, тем... выше ее информативность» [Стадницкий, Родионов, 1988, с. 93]. В законе подразумевается то же.

✓ Э.И. Колчинский [1990, с. 17] характеризует развитие биосферы как увеличение неорганической и органической информации, отмечая, что «возрастание информационной емкости биосферы, т.е. усложнение ее структуры и взаимодействий между ее компонентами, резко

повышало целостность биосферы...». Согласно закону данное представление соответствует последовательному построению ИУ биосферы.

2.2. Циклическая организация материально-энергетических процессов биосферы

Жизнь как физически неравновесная организация вещества существовала на протяжении всей геологической истории Земли, что подтверждается имеющимися данными палеонтологии, петрографии, минералогии и геохимии [Вернадский, 1978; Колчинский, 1990]. В то же время существование собственно БС зависит от наличия энергетических и материальных ресурсов, которые всегда конечны. Противоречие конечности ресурсов и вечности жизни (или достаточно длительного существования БС) решается в природе образованием биологического круговорота, основанного на циклической последовательности утилизации и восстановления материальных ресурсов. Подобный круговорот органических и минеральных веществ характеризуется как одна из существенных особенностей организации жизни, в частности, на высоких ИУ биосферы [Камшилов, 1979; Одум, 1986]. При этом единственным исчерпаемым ресурсом является энергия, и при прекращении ее поступления все БС разрушаются.

Функционирование природных БС означает их последовательный переход из одного состояния в другое. Например, в БС фотосинтеза, использующих солнечную энергию как ресурс, электроны регулярно поднимаются фотонами на более высокий по сравнению с занимаемым энергетический уровень-состояние и переходят обратно в свое первоначальное состояние с отдачей энергии другим БС [Сент-Дьерди, 1964]. Ритмично и поступление солнечной энергии к БС биосферы, имеющее суточные, годовые, 11-летние и другие ритмы. Поэтому для наиболее эффективного развития БС необходимо их циклическое функционирование во времени, отвечающее ритмике поступления энергии как важнейшего ресурса [Чижевский, 1976].

Исследователями издавна отмечается временная цикличность природных БС, выражающаяся в их циклическом самовоспроизведении. К таким БС относятся первичные неклеточные формы жизни [Опарин, 1957]. Циклично развитие и такой сохранившейся до наших дней неклеточной формы, как вирусы, являющиеся хотя и клеточно-зависимыми, но автономными генетическими структурами [Жданов, 1990]. Клеточные формы БС, включающие одноклеточные и многоклеточные организмы, также обязательно проходят через циклы рождения и смерти. Это можно сказать о видах и более высоких таксоно-

мических единицах, развитие которых ритмично во времени [Риклефс, 1979]. Развитие таких природных БС, как экосистемы, или биогеоценозы, тоже имеет циклический характер – суточную, годовую и иную ритмику обмена веществ и энергии со средой [Сукачев, 1967; Одум, 1986]. Известные природные циклы, являющиеся формой существования экосистем и представляющие собой важнейшее системное качество природы [Максимов, 1984, 1989], тоже отражают цикличность динамики БС. Имеются многочисленные примеры сукцессионных смен видового состава биогеоценозов с циклами от десятков до тысяч лет [Раменский, 1938; Шенников, 1941; Ярошенко, 1953; Лавренко, 1959; Номоконов, 1959, 1989; Сукачев, 1964а; Максимов, 1984, 1989; Одум, 1986]. Вся эволюция органического мира, включая человека, характеризуется регулярной сменой этапов, определяемой ритмикой различных космофизических факторов с периодичностью от сотен тысяч до сотен миллионов лет [Зубаков, 1986, 1990; Жирмунский, Кузьмин, 1990]. Таким образом, признание цикличности как глобального неотъемлемого свойства живой природы, присущего всем ее процессам, является естественно-научным и философским обобщением огромного фактического материала, накопившегося за все время изучения природы [Степанов, 1966].

Системный подход к изучению природных явлений [Ляпунов, Титлянова, 1971; Одум, 1986] подразумевает неразрывную связь и теснейшую функциональную зависимость между природными БС и средой. Здесь под БС обычно понимается совокупность компонентов, связанных между собой отношениями, которые гораздо сильнее отношений с компонентами других БС или средой и которые тем самым определяют целостные свойства БС как таковой [Шмальгаузен, 1961; Реймерс, 1990]. В соответствии с указанным подходом функционирование и эволюция природных БС, с одной стороны, должны определяться особенностями среды, а с другой – быть достаточно независимыми от нее. Подобная двойственность наблюдается у всех БС. Например, это нашло отражение в представлениях об экосистемах, у которых развитие в целом полагается обеспеченным внутренними силами, а режим развития – меняющимися условиями среды [Быков, 1970].

Анализ обширного экспериментального материала показывает единство ритмической структуры Солнечной системы и развития различных природных БС [Чижевский, 1976; Шипунов, 1980; Казначеев, 1989]. Одним из космофизических факторов, определяющих цикличность функционирования БС, является поступление в биосферу солнечной энергии с суточной и годовой периодичностью. В качестве других факторов среды, например формирующих многолетние цикли-

ческие сукцессии экосистем, могут выступать гидрометеорологические характеристики среды, колебания которых связаны, в свою очередь, с ритмикой солнечной активности [Шнитников, 1969; Максимов, 1984, 1989; Дружинин, 1987; Зубаков, 1990; Усманов и др., 1990]. Нередко вследствие глобального характера факторов наблюдается синхронизация циклов различных территориально разделенных БС, как, например, при вспышках массового размножения животных одновременно в разных странах и даже на континентах [Максимов, 1984, 1989]. Аналогичная синхронизация наблюдается и в любом зональном биогеоценозе, где популяционные циклы, свойственные животным и растениям, синхронизируются в той или иной степени с имеющимся в данной зоне природным циклом [Максимов, 1984, 1989]. Необходимо отметить, что циклы БС не всегда совпадают с ритмикой факторов внешней среды. Например, если начало сукцессионного цикла экосистемы определяется прошедшим пожаром или штормовым ветром [Watt, 1947; Риклефс, 1979], то, очевидно, этот цикл не обязательно должен совпадать с ритмикой других факторов среды и будет поддерживаться экосистемой за счет ее саморегуляции. Такая независимость функционирования нередко наблюдается для различных популяций животных [Макфедьен, 1965] и сукцессий растительности [Одум, 1986]. Независимостью и устойчивостью характеризуются также биоритмы различных организмов. В частности, суточная ритмика физиологических процессов растений сохраняется в их эмбриональном периоде и в темноте [Юсуфов, 1986]. Все это позволило Л. Детари с В. Карцаги [1984] предполагать подчиненность биоритмов не периодическим воздействиям внешней среды, а определенным биологическим часам. Таким образом, и здесь проявляется двойственность функционирования БС, когда циклы последних могут синхронизироваться с ритмикой внешних факторов, а могут с ней и не совпадать.

Циклическое существование любой БС означает ее самовоспроизведение из цикла в цикл, т.е. качественное повторение в циклах всех ее основных материально-энергетических процессов. Это означает неизменность их СФО в каждом повторяющемся цикле, т.е. существование БС как таковой. При этом важнейшим условием существования БС является их устойчивость – «внутренне присущая системе способность выдерживать изменение, вызванное извне, или восстанавливаться после него» [Риклефс, 1979, с. 379]. Очевидно, что еще большую устойчивость будут иметь те БС, которые не только приспосабливаются, но и стабилизируют среду обитания. В первую очередь это касается внутренней среды с обычно сложной системой поддержания ее стабильности, что характерно для всех природных БС [Быков, 1970; Одум, 1986].

Любая БС биосферы состоит из БС более низкого ранга (низшего ИУ) и одновременно является частью БС более высокого ранга (высокого ИУ). Это касается и их СФО и характерных временных масштабов функционирования – циклов. Цикл каждой БС будет включать соответствующее количество меньших по длительности циклов, отвечающих ее подсистемам (БС низшего ИУ) и одновременно входить в более крупный цикл БС высокого ИУ. Вложенность СФО и динамики БС, когда «любой объект оказывается элементом объекта более высокого ранга и любой объект оказывается объектом, состоящим из предэлементов» [Левич, 1989, с. 308], представляет собой обобщение результатов большого числа исследований природных БС. Вложенность БС нашла отражение и в известном принципе эмерджентности, означающем появление у более крупных функциональных объектов (БС более высокого ИУ) новых свойств, отсутствующих на предшествующем ИУ и не вытекающих непосредственно из свойств функциональных единиц последнего [Одум, 1986].

Г. Патти [1970], характеризуя ритмику различных ИУ биосферы, отмечает, что множественность временных шкал представляет собой важнейший аспект жизни. Все БС биосферы приспосабливаются к ритмике среды, эволюционируя вместе с ней. В ритмику космофизических факторов среды, характеризующуюся продолжительностью вплоть до галактического года, вкладываются все циклы развития БС высоких ИУ биосферы – популяций, биогеоценозов и органического мира в целом [Максимов, 1989; Зубаков, 1990]. При этом каждый цикл всегда состоит из более элементарных циклов, характеризующих развитие БС более низкого ИУ [Степанов, 1966]. Такая же вложенность циклов развития отмечается у отдельных организмов, например у растений, рост которых прерывисто ритмичен [Юсуфов, 1986].

Последовательное эволюционное построение ИУ, слагающих СФО природных БС, означает создание в среде новой циклической организации материально-энергетических процессов с более протяженным временным циклом. Очевидно, что создание нового высшего ИУ в первую очередь должно быть увязано с соответствующей ритмикой условий среды. Подобная адаптация БС к ритмике среды изучается, например, в биогеоценологии [Максимов, 1989]. Существуют подобные направления и в других областях биологических наук, в частности это биоритмология, изучающая эволюционно выработанную и генетически закрепленную периодичность процессов в организмах [Соколов, Кузнецов, 1978; Биологические ритмы, 1984]. Вся СФО биосферы, начиная с молекулярно-генетического ИУ, формировалась в среде с исходно заданной ритмической структурой. Последняя вклю-

чает суточные, годовые, 11-летние и иные ритмы солнечной активности, непосредственно влияющей на биосферу, а также ритмы эксцентриситета Земли, галактический год, ритмы изменения параметров галактической орбиты Солнечной системы, влияющие на гидросферные и/или литосферные процессы и составляющие до сотен миллионов лет [Зубаков, 1986, 1990; Проблемы..., 1988]. Таким образом, циклы всех ИУ биосферы должны были вписываться в ритмическую структуру среды. Кроме того, продолжительность циклов каждого биосферного ИУ должна была обеспечивать и их вложение друг в друга согласно схемам квантования этих ИУ (см. рис. 1.1). В связи с тем, что ритмическая структура среды не дает требуемого точного вложения циклов по физическому/календарному времени, на каждом ИУ вырабатывался свой, обеспечивающий это вложение ход биологического времени. Последнее известно, например, как «кванты жизни» у живых организмов [Backman, 1943], биологическое время у растений [Сабинин, 1963; Кирста, 1986а], физиологическое – у животных [Зотин, Алексева, 1984] или метаболическое – у микроорганизмов [Левич и др., 1986]. Это свойство природных БС является одним из важнейших [Левич, 1986, 1989] и, как мы увидим, позволяет удовлетворить требования информационного закона по вложенности циклов при заданной ритмической структуре среды.

За последние десятилетия предложены различные объяснения регулярных циклов природных БС. Из основных можно назвать:

- теории, рассматривающие в качестве непосредственной причины циклов внешние космофизические факторы среды;
- метеорологические теории, в которых циклы объясняются автоколебательными процессами в системе «атмосфера – гидросфера Земли»;
- теории случайных флуктуаций, связывающие циклы со свойствами любой случайной последовательности;
- теории взаимодействия популяций и теории взаимодействия трофических уровней;
- теории, использующие гипотезу «возврата биогенных элементов».

Есть и другие объяснения циклов [Агарков и др., 1976; Одум, 1986; Максимов, 1989; Developments..., 1981–2003]. Обычно для объяснения устойчивого функционирования БС привлекаются эволюционно выработанные реакции и взаимодействия организмов, но не учитывается ритмическая организованность среды. В частности, в теориях взаимодействия популяций для объяснения колебаний численности организмов используется циклическая динамика систем типа «хищ-

ник – жертва». В то же время это не является истинным механизмом природных циклов популяций, определяющую роль в котором играют факторы внешней среды [Пианка, 1981; Максимов, 1984, 1989]. Отсутствие в теориях единого объяснения природы циклов и устойчивости БС привело в свое время Р. Риклефса [1979, с. 394] к выводу: «Экология как наука еще недостаточно созрела для того, чтобы можно было оформить собранные ею различные знания и концепции в единую теорию устойчивости». Информационный закон, очевидно, эту проблему полностью решает.

2.3. Информационно-иерархическая природа биосферных процессов

В соответствии с информационным законом все БС биосферы являются самоорганизующимися системами и формируют собственные циклы материально-энергетических процессов. При подстройке этих циклов через саморегуляцию БС к ритмике космофизических факторов влияние последних на среду усиливается. В противном случае формируются самостоятельные циклы БС, независимые от ритмики внешней среды. Это обстоятельство объясняет известные расхождения в данных и выводах исследователей, одни из которых подтверждают существование прямой связи, например, между многолетней ритмикой солнечной активности и ритмикой различных БС и среды [Чижевский, 1976, и др.], а другие отрицают прямую связь [Одум, 1986]. Аналогичная ситуация наблюдается и при объяснении многотысячелетних палеоклиматических ритмов, когда, с одной стороны, различные климатоседиментационные циклы хорошо коррелируют с соответствующими ритмическими вариациями характеристик земной орбиты [Haas et al., 1976; Зубаков, 1986, 1990], а с другой – роль орбитальных вариаций как непосредственной причины изменений климата представляется сомнительной [Кегг, 1984]. Мы видим справедливость обеих точек зрения и их взаимодополнение в рамках информационного закона.

Суточные и годовые циклы развития природных БС хорошо изучены на примере растений. У биогеоценотических процессов наблюдается также 3-, 6-, 11- и 33-летняя ритмика [Шнитников, 1969; Максимов, 1984, 1989], которая соответствует длительностям фаз или полных циклов БП, допускающих различные схемы квантования (см. рис. 1.1) при элементарном цикле в 1 год. Имеется много данных о вековых циклах сукцессионных смен растительности [Скрябин, 1949; Ритмы..., 1970; Максимов, 1989], которые относятся к более высокому биосферному ИУ, имеющему схему квантования автоном-

ного БП с 33-летним элементарным циклом (см. рис. 1.1, в). Палеонтологические данные о развитии органического мира также обнаруживают многоритмичный характер этого развития, например с цикличностью 400 тыс. лет, 2,5 млн лет и др. [Зубаков, 1990].

Обусловленный ритмикой космофизических факторов и БС многоритмичный характер колебаний климата от короткопериодических (десятки лет) до длиннопериодических (миллионы лет) наблюдается на протяжении всей геологической истории Земли [Лунгерсгаузен, 1959; Зубаков, 1990]. Общей особенностью этих колебаний, независимо от их длительности, является чередование двух климатически противоположных фаз – потеплений и похолоданий. Смены этих фаз (смены температурного тренда) характеризуются В.А. Зубаковым как достаточно резкие и глобально изохронные. При сопоставлении температурных, изотопных и инсоляционных кривых с изменениями в структуре биогеоценозов данный автор [1990, с. 189] приходит к выводу, что смены фаз «можно рассматривать как внешние информационно-энергетические сигналы», регулирующие эволюцию органического мира.

Наличие двух фаз климатических колебаний позволяет принять как типичные две схемы квантования ИУ, приведенные на рисунках 1.1, б и 1.1, в. Первая схема также содержит две фазы, а вторая совпадает с одной из этих фаз. Согласно этим схемам полный цикл состоит из 3 или 6 последовательных элементарных циклов. Такая 3- или 6-кратная вложенность циклов типична для биосферных процессов. Хорошо известны [Шнитников, 1949; 1951] циклические колебания увлажненности территории Евразии с 300- и 1800–1900-летними периодами, имеющими данную вложенность. Также известны 9000–11000-летние климатические циклы [Williams, Sonnett, 1985; Зубаков, 1990], являющиеся 6-кратными по отношению к 1800-летнему циклу. Установлен 400000-летний климатический ритм, которому подчиняются изменения биозональных характеристик в фауне млекопитающих плейстоцена и плиоцена [Зубаков, 1990]. Подобно предыдущим, этот цикл включает $6 \times 6 = 36$ элементарных 9100–11 000-летних циклов и одновременно соответствует второму орбитальному ритму эксцентриситета, длительность которого, по разным источникам, оценивается от 370 000 до 425 000 лет. Прослежен [Зубаков, 1990] и другой климатический цикл с продолжительностью 2,0–2,5 млн лет, соответствующий третьему ритму эксцентриситета и также составляющий 6 элементарных 400000-летних циклов. Следующий по иерархии цикл в 6–7 млн лет известен как средняя продолжительность геологического века, временные границы которого в глобальном масштабе отмечаются суще-

ственными изменениями родовых составов ископаемой фауны [Бердников, 1990]. Более длительные циклы высоких ИУ биосферы менее изучены и могут быть связаны с периодом обращения Солнечной системы вокруг Галактики и периодическими изменениями параметров ее галактической орбиты. Можно ожидать, что эти циклы будут характеризовать ритмику развития высших таксонов растительного и животного мира.

Область действия информационного закона охватывает также природные системы, более крупные, чем биосфера. Рассмотрим Солнечную систему. В настоящее время существуют различные представления о механизме ее образования. Обычно полагается, что планеты сформировались из материала, имевшего форму вращающегося диска с размерами в современную Солнечную систему. При этом принимаются два альтернативных объяснения преобразования диска в собственно планеты [Холленд, 1989]: образование гигантских протопланет путем гравитационного взрыва частей диска или увеличение крупных тел за счет соударений большого количества более мелких тел при гравитационно стабильном диске. Рассматривая такую астрономическую систему как самоорганизующуюся, можно предположить существование у нее БП и соответствующих информационных продуктов. Несложно рассчитать информацию H -продукта этой системы, приняв за него общую массу планет, а за его структурные элементы – массу каждой планеты. Вклады планет в их общую массу составят [Планеты, 1975]:

Меркурий – 0,00012,	Венера – 0,00182,
Земля – 0,00224,	Марс – 0,00024,
Юпитер – 0,71096,	Сатурн – 0,21314,
Уран – 0,03257,	Нептун – 0,03866,
Плутон – 0,00025.	

Подставляя эти значения в уравнение (1.4), получаем $H = 0,382$. Таким образом, мы получили «информационное» подтверждение циклического характера образования Солнечной системы с двумя параллельными БП (см. табл. 1.1).

Хорошо известна гипотеза циклического образования Солнечной системы в результате последовательных взрывов сверхновой. Она принята М. Кальвиным, опиравшимся на результаты анализа элементного состава вещества Солнца. «Солнце – весьма «пожилая» звезда в том смысле, что оно должно было уже «пережить» ряд взрывов сверхновой, в ходе которых возникали тяжелые элементы...» [Кальвин, 1971, с. 115]. При этом автор полагает, что планеты образовывались из остатков того же облака, из которого возникало само Солнце. В этом случае можно предполагать, что двумя БП образования Сол-

нечной системы являются взаимосвязанные процессы образования самого Солнца и отдельно его планетарной системы.

Вещество нашего мира начало образовываться около 20 млрд лет назад, и процентный состав тяжелых элементов у Солнца позволяет предполагать четыре цикла его образования [Кальвин, 1971]. Отсюда сроки наступления очередного взрыва и нового образования Солнечной системы составляли порядка $20/4 = 5$ млрд лет. Циклическое образование Солнечной системы, очевидно, означает и циклическое существование биосфер планет с циклами в 5 млрд лет. Таким образом, максимально высокий ИУ, до которого, в принципе, может быть построена иерархическая СФО биосферы Земли, должен иметь продолжительность цикла порядка 5 млрд лет.

Каждый цикл существования Солнечной системы, а значит, и нашей углеродной биосферы должен заканчиваться рассеянием органического вещества (с уничтожением его большей части) в космическом пространстве. Новый цикл может начинаться с попадания молекулярно-генетических компонентов этого вещества (наиболее вероятно – компонентов микроорганизмов) на одну из подходящих для его развития новых планет. С такой теоретической возможностью согласуются имеющиеся в настоящее время данные о появлении на Земле древнейших прокариотов, причем на основании этих данных обычно делается вывод не о земном, а о космическом происхождении жизни [Заварзин, 1984б]. Таким образом, мысль В.И. Вернадского [1988, с. 26], что «живое вещество является пластичным, изменяется, приспосабливается к изменениям среды...», можно понимать расширительно, включая в среду обитания и космос.

Рассмотрим любую БС биосферы. Каждый ее отдельный цикл включает в себя меньшие циклы более «мелких» БС, относящихся к предшествующему ИУ и функционирующих как подсистемы рассматриваемой БС. Эти меньшие циклы представляют собой неделимые/неразличимые элементы цикла и организации БС согласно информационному закону. Неразличимость «темпоральных» свойств БС предшествующего ИУ по отношению к динамике БС данного ИУ отмечается, например, А.П. Левичем [1989]. Иначе говоря, разделение СФО биосферы на ИУ обеспечивает относительную независимость функционирования БС разных ИУ, а значит, их СФО и динамики. Такая независимость обуславливает устойчивость БС и их существование как целостных природных объектов. В качестве примера низшего/элементарного цикла можно указать период жизни растений в сукцессионных циклах экосистем. Таким образом, циклы БС различных ИУ биосферы являются не только экологическим [Максимов, 1989], но и важным системным понятием.

В цикле БС можно также выделить фазы, объединяющие определенное число элементарных циклов. Существование фаз является типичным для циклов БС [Максимов, 1989; Зубаков, 1990]. Каждой фазе цикла отвечают свои особенности СФО и компоненты БС, что характеризуется А.П. Левичем [1989, с. 310] как «обязательный феномен изменения набора составляющих систему элементов». Прохождение БС каждой фазы зависит от условий прохождения предшествующих фаз вплоть до завершения цикла ее динамики. Например, цветение растений в годовом цикле их вегетации наступает по истечении определенного периода их развития. Третий период, плодоношение, наступает после окончания цветения. Эти три характерных и близких по продолжительности периода можно выделить как основные в развитии растений, в частности пустынных [Нечаева, 1958]. Три характерных периода можно выделить и в многолетнем цикле существования растений: виргинильный (плодоношения нет ряд лет), генеративный (плодоношение есть) и сенильный (плодоношение практически отсутствует) [Нечаева и др., 1979]. Последовательное прохождение во времени элементарных циклов и фаз в пределах полного цикла динамики БС мы будем рассматривать как функционирование БС. При этом фазы циклов тоже выступают как определенные характерные интервалы развития БС подобно элементарным циклам. Существование тех и других находится в полном согласии с введенным в информационном законе понятием квантования динамики и СФО у БС.

Важнейшим свойством СФО биосферы является наличие основополагающих базовых процессов у каждого ИУ ее СФО. Для экосистемных ИУ эти БП называются еще «ведущими» [Максимов, 1989] и «генеральными» [Левич, 1989]. Именно циклы БП определяют циклическое функционирование БС и выполняются квантованным образом как последовательность элементарных циклов, отвечающих БП более низкого ИУ.

В квантованной динамике БП природной БС выделяются два вида возможных состояний. Первый характеризует состояние БП на протяжении элементарного цикла, а второй – на протяжении отдельной фазы у автономного БП или параллельных БП. Все эти состояния объединяются общим для них полным циклом БП. Отдельным фазам и полному циклу, согласно информационному закону и уравнениям (1.1а), (1.1б), может быть сопоставлена информация H и R , зависящая от числа содержащихся в одной фазе элементарных циклов и числа фаз в полном цикле. Тем самым величины H и R являются информационными характеристиками двух видов организации, присущих СФО и БП любого ИУ эволюционных систем.

Следует указать, что природные БС не допускают присутствия в одной фазе БП последовательных элементарных циклов (отвечающих автономному БП) вместе с одновременными элементарными циклами (отвечающими параллельным БП). Это означало бы появление фаз в фазе, что противоречит понятию фазы полного цикла. Кроме того, согласно уравнениям (1.1а) и (1.1б) это привело бы к новой самоорганизации БС в пределах данной составной фазы и превращению ее в самостоятельный полный цикл. Поэтому для всех природных БС следует ожидать только два типа квантования их динамики и СФО – по (1.1а) или (1.1б). При этом выбор того или иного типа и схемы квантования зависит от конкретных биологических, физических, химических и других особенностей БП и среды. Отметим, что по смыслу закона накопления информации об организации БС более предпочтительны простые схемы квантования, поскольку они имеют большую величину информации, приходящейся на один элементарный цикл (ср. табл. 1.1 и 1.2). Подобное различие может объяснять заметно большую встречаемость у БП природных БС простых схем квантования. Имеющиеся примеры схем с большим числом параллельных БП (см. главу 3) обусловлены необходимостью вписания циклов БП в ритмику космофизических факторов среды.

Рассмотрим информационный аспект функционирования природных БС. Любые объекты природы, в той или иной форме взаимодействующие друг с другом, «неизбежно обмениваются не только веществом и энергией, но и информацией», – отмечает М.М. Камшилов [1974, с. 6]. Важность информационного фактора, «обычно выступающего как код жизненно важного сообщения и потому возмущающего на живое не адекватно (многократно сильнее) переносимому потоку вещества и энергии», подчеркивается и Н.Ф. Реймерсом [1990, с. 543]. Сейчас активно развиваются информационные подходы в биохимии [Ricard, 2006]. Достаточно много зарубежных исследований посвящено изучению иерархической структуры и информации в экосистемах [Allen, Starr, 1982; Jorgensen et al., 1995; Nielsen, 2000]. Во-первых, при взаимодействии системы как таковые могут обмениваться только имеющейся у них информацией, т.е. о своей организации. Во-вторых, обмен информацией между БС может осуществляться только на основе общей меры этой информации, т.е. на основе единой универсальной информационной шкалы. Оба этих условия обеспечиваются нормированной информацией Шеннона согласно уравнениям (1.1а) и (1.1б).

Практически все БС биосферы существуют за счет солнечной энергии, накапливаемой при фотосинтезе и распределяемой между БС

в основном через обмен органическим веществом как носителем этой энергии. Органическое вещество является неоднородным по своей структуре. Известно [Глушков, 1964], что любая неоднородность материального тела несет определенную информацию. Поэтому одновременно с обменом веществом у БС идет и обмен информацией об их организации. Поскольку информация об организации каждой БС включает четыре характеристики-величины: H , $|H \ln H|$, R , $|R \ln R|$, должно быть и четыре информационных энергетических/вещественных продукта, обеспечивающих информационный обмен между БС. Тем самым мы приходим к необходимости подчинения всех БС информационному закону.

Информационные энергетические/вещественные продукты синтезируются у БС в ходе циклических БП из получаемых ими продуктов других БС и/или информационно неорганизованного материального субстрата (например, из атмосферного CO_2 при фотосинтезе). Формируемые у БС отдельных ИУ продукты используются далее в качестве субстрата в БС, принадлежащих более высоким ИУ биосферной СФО. Тем самым обеспечивается целостность биосферной СФО и подчинение ее информационному закону по всем ИУ снизу доверху. Случай вырожденной схемы квантования ($i = 1$ в табл. 1.1) является особым и означает возможность существования устойчивых информационных энергетических/вещественных продуктов, которые могут выполнять регуляторно-сигнальные функции в иерархической СФО биосферы. Такую роль могут играть вырабатываемые на молекулярно-генетическом ИУ гормоны (фитогормоны), влияющие на функционирование других ИУ СФО животных (растительных) организмов. Отметим, что интенсивное вмешательство человека в функционирование экосистемных и более высоких ИУ биосферы приводит к нарушению выполнения информационного закона для этих ИУ, нарушению устойчивости и деградации отвечающих им экосистем.

Согласно уравнениям (1.4) и (1.5) информационные продукты могут переносить информацию только при наличии в своем составе дискретных элементов. В частности, выражение (1.4) известно в совершенно ином качестве, используя как индекс выровненности Шеннона при оценке видового разнообразия популяций [Shannon, Weaver, 1949; Одум, 1986; Бигон и др., 1989]. Все живое вещество как продукт биосферных процессов, согласно В.И. Вернадскому [1980, с. 290], должно быть дискретным и «представлено сложным телом – не совокупностью неделимых одного вида, а совокупностью многих видов, морфологически принадлежащих к разным резко разделенным классам организмов». Дискретность форм жизни проявля-

ется в биосфере везде – это молекулы, гены, клетки, организмы, виды и другие таксономические единицы, экосистемы разных рангов. Таким образом, информационная природа, а значит, дискретность БС и цикличность их функционирования являются неотъемлемым свойством жизни на Земле.

Информационный закон, характеризующий организованность как неотъемлемое свойство материи, является универсальным законом. Ему подчиняются не только системы неживой природы, в частности физические (см. приложение), но и БС. Это созвучно философским обобщениям и гипотезам о единообразном строении всего Универсума от уровней фундаментальных пределов материи до уровней Вселенной. Биосфера представляет лишь частный случай, связанный исключительно с белково-нуклеиновой основой [Дайсон, 1982; Казначеев, Михайлова, 1985; Левич, 1989].

В связи с тем, что информация выступает как мера организованности БС, ее можно рассматривать как важнейший природный ресурс [Реймерс, 1990]. Поэтому наблюдающееся в настоящее время разрушение экосистем означает также и невозполнимые потери информации об их СФО в конкретных условиях среды.

Выводы

1. СФО биосферы и всех природных БС имеет иерархическое строение, т.е. разделена на последовательные, достаточно автономные ИУ со своими БП.
2. Фундаментальным свойством БС является цикличность их функционирования. Временные циклы каждого ИУ/БП включают соответствующее число циклов более низкого ИУ/БП, что охарактеризовано как квантование ИУ и динамики их БП во времени. Все циклы, как правило, «вписаны» в определяемую космофизическими факторами ритмику среды.
3. Информационно-физический закон обеспечивает формирование иерархической СФО БС и отражает информационную основу функционирования БС и их взаимодействий как сложноорганизованных систем.
4. Формирование всех ИУ, слагающих СФО систем, идет от низшего ИУ последовательно к высшим ИУ. Тем самым эволюционное становление иерархической СФО биосферы отвечает накоплению информации о ее организации, т.е. о ее СФО.
5. Формирование очередного ИУ завершается, и его организация становится устойчивой, когда накопленная информация достигает максимально возможного на этом ИУ значения. В связи с этим ин-

формационный закон формирования иерархических СФО природных БС и биосферы можно назвать законом эволюции или эволюционного накопления информации. Такое накопление происходит последовательно по мере формирования и стабилизации очередных ИУ биосферной СФО.

6. Информационный закон дает новое физико-биологическое понимание эволюционной устойчивости природных БС.

Глава 3

АНАЛИЗ ИНФОРМАЦИОННО-ИЕРАРХИЧЕСКОЙ ОРГАНИЗАЦИИ БИОСФЕРЫ

В главе 1 нами сформулирован информационно-физический закон (1.1)–(1.5), на основе которого строятся иерархические СФО всех БС биосферы. Каждый ИУ этих СФО имеет собственную организацию, характеризуемую через циклические БП и квантованную во времени по строго определенным схемам. Схемам квантования организации ИУ и БП отвечают четыре типа информации (см. рис. 1.1, табл. 1.1 и 1.2), которые могут передаваться вовне через определенные энергетические/вещественные и временные продукты, формируемые с помощью БП. Основная цель данной главы – показать методы выделения БП, схем квантования БП и информационных продуктов БП на молекулярно-генетических, фотосинтетических и экосистемных ИУ биосферы.

Иерархическая СФО биосферы, выработанная на протяжении миллиардов лет, начинается с ИУ молекулярно-генетических взаимодействий в живых организмах и последовательно объединяет ИУ вплоть до ИУ динамики биогенного вещества биосферы в целом. Анализ СФО мы начнем с низких молекулярно-генетических ИУ клетки и рассмотрим схемы их квантования с соответствующими информационными продуктами БП. Квантование ИУ зависит от хода времени их молекулярно-генетических БП. Ход БП зависит от концентраций ферментов и субстратов соответствующих биохимических реакций, а также температуры [Левич и др., 1986]. К сожалению, экспериментальные данные по временной организации молекулярно-генетических систем *in vivo* практически отсутствуют. Поэтому при анализе этих систем будут рассмотрены практически лишь информационные энергетические/вещественные продукты (преимущественно *H*-продукты) без анализа временных.

3.1. Организация молекулярно-генетических уровней

Биосинтез белка. Система биосинтеза белка включает два параллельных БП – транскрипцию дезоксирибонуклеиновой кислоты (ДНК), при которой образуется матричная рибонуклеиновая кислота

(мРНК), и последующую трансляцию этой мРНК рибосомами с образованием полипептидной цепи, т.е. собственно белка. Согласно схеме квантования двух параллельных БП (см. рис. 1.1, в) каждый из них должен иметь три цикла более низкого ИУ. Этим элементарным циклам, очевидно, отвечает инициация, элонгация и терминация синтеза цепи мРНК у первого БП и полипептидной цепи у второго БП, каждая из которых осуществляется с помощью сложного комплекса ферментов [Рис, Стернберг, 1988]. Согласно схеме квантования двух параллельных БП за полный цикл должен сформироваться информационный энергетический/вещественный продукт, переносящий два типа информации – H и $|H \ln H|$. Информационные временные R - и $|R \ln R|$ -продукты должны формироваться для каждой из трех фаз полного цикла (инициации, элонгации и терминации для каждого из обоих БП) с помощью разных длительностей ферментативных процессов, слагающих эти фазы. Из-за практического отсутствия данных по временной организации процессов биосинтеза белка будем рассматривать только энергетические/вещественные продукты с информацией $H = 0,382$ и $|H \ln H| = 0,368$. Очевидно, что это сам белок, который покидает систему своего биосинтеза для использования в других молекулярно-генетических системах.

Таким образом, молекула белка должна формироваться как информационный энергетический/вещественный продукт полного цикла двух параллельных БП. Известно, что структурными элементами полипептидной цепи являются 20 аминокислот (точнее – аминокислотных остатков), называемых каноническими [Коничев, Севастьянова, 2005]. При синтезе белка 64 триплета рибонуклеотидов мРНК (кодонов) транслируются в соответствующие аминокислоты. Каждая аминокислота имеет определенную частоту встречаемости в белке. По последней можно рассчитать величину информации/энтропии, приходящейся в среднем на одну аминокислоту [Шеннон, 1963]. Для существующих составов белков при исчислении по двоичному логарифму она составляет $2,3 \pm 0,1$ бит [Ичас, 1960; Медников, 1972]. В свою очередь, максимально возможная информация/энтропия, приходящаяся на один структурный элемент полипептидной цепи, равна $\sum_{k=1}^{64} \frac{1}{64} \log_2 64 = 6$ бит, где

64 является теоретически максимальным числом различных кодонов, а значит, и аминокислот в белке. Тогда искомая информация (1.4), переносимая белком с любым числом N аминокислотных остатков, будет равна величине информации Шеннона, деленной на ее максимально возможное значение:

$$\text{информация I} = (2,3 \pm 0,1)N/6N = \frac{(2,3 \pm 0,1)}{6} = 0,38 \pm 0,02 .$$

Среди 64 триплетов имеются также терминирующие кодоны, не транслирующиеся в аминокислоты и являющиеся сигналом окончания синтеза полипептидной цепи. Еще один из 64 триплетов является вырожденным, кодируя две аминокислоты – метионин и формилметионин. В последнем случае без снижения точности расчетов можно полагать, что 0,5 структурных элемента приходится на метионин и 0,5 – на формилметионин. Последний используется только для инициации синтеза полипептидной цепи и сразу от нее отщепляется при участии аминопептидаз. Исходя из изложенного, вместо 20 мы имеем $19 + 0,5 = 19,5$ структурных элементов, характеризующих непосредственно аминокислотные остатки полипептидной цепи. Еще 0,5 элемента приходится на инициацию синтеза белка, и 1 элемент – на терминирование синтеза, что в сумме дает $0,5 + 1 = 1,5$ элемента, отвечающих началу и концу полипептидной цепи. В результате для указанных двух типов структурных элементов белка мы имеем соотношение $19,5 : 1,5$, или в долях вкладов $0,929 : 0,0714$. В соответствии с уравнением (1.4) информация полипептидной цепи составит:

$$\text{информация II} = - \frac{\sum_{k=1}^2 p_k \times \ln p_k}{\ln 2} = - \frac{(0,929 \ln 0,929 + 0,0714 \ln 0,0714)}{\ln 2} = 0,37.$$

Следует отметить, что существование 1,5 структурных элемента как начала/инициации и конца/терминации полипептидной цепи практически не влияет на расчет информации I, поскольку у прокариотов средняя длина белков составляет ~ 400 аминокислотных остатков и еще больше у эукариотов. Это приводит к очень малой частоте встречаемости данных элементов (~ 1/400), и их вклад в числитель в приведенной выше расчетной формуле информации I будет пренебрежимо мал.

Таким образом, получено совпадение переносимых белком информации I и информации II с теоретическими значениями $H = 0,382$ и $|H \ln H| = 0,368$ для продуктов двух параллельных БП (см. табл. 1.1). К сожалению, из-за погрешности экспериментальных данных не представляется возможным однозначно соотнести каждую из информаций со значением H или $|H \ln H|$.

Словообразование. Целесообразно провести сравнение синтеза белка с подобным ему процессом словообразования, например, в английском и русском языках. Все слова являются результатом эволюционного процесса, в течение которого они формировались как само-

стоятельные последовательности согласных и гласных звуков/букв. Следовательно, мы должны рассматривать формирование последовательностей согласных и гласных звуков как два параллельных БП, отдельное слово – как информационный продукт полного цикла словообразования, а каждый звук/букву – как структурный элемент продукта. Поэтому для текста из слов, как и в случае белка, информация H и $|H \ln H|$ должна составить 0,382 и 0,368 соответственно.

Статистический анализ текстов проводился К.Е. Шенноном, А.Н. Колмогоровым и другими исследователями, которые вообще не рассматривали СФО текстов и использовали одну характеристику – энтропию. Согласно выполненным К.Е. Шенноном [1963] оценкам английских текстов при учете статистических связей не более чем между 8 последовательными буквами энтропия/информация на один структурный элемент слов составляет около 2,3 бит, а с учетом пробела между словами как знака окончания/начала слова – около 1,9 бит. Отметим, что нет смысла учитывать статистические связи для большего числа букв, так как они в большей степени относятся к следующему ИУ – уровню предложений. В английском языке при написании собственно слов используется еще знак апострофа «'». Частота его встречаемости очень мала, и он мало влияет на значение числителя в выражении (1.4). В свою очередь, величина максимально возможной энтропии/информации на один структурный элемент при 26 буквах английского алфавита, одном знаке пробела и одном знаке апострофа равна

$\sum_{k=1}^{28} \frac{1}{28} \log_2 28 = 4,81$ бит. Отсюда получаем информацию (1.4) для слов из любого числа символов N как

$$\text{информация } I = 1,9N/4,81N = \frac{1,9}{4,81} = 0,395.$$

Информацию Π также рассчитаем по аналогии с белком. При написании английских слов непосредственно используется 26 производимых структурных элементов в качестве букв/звуков и два производимых элемента – пробел и апостроф. Тогда соотношение этих типов элементов составит 26 : 2, или в долях вкладов 0,929 : 0,0714. Подстановка последних значений в (1.4) дает:

$$\text{информация } \Pi = -\frac{(0,929 \ln 0,929 + 0,0714 \ln 0,0714)}{\ln 2} = 0,37.$$

Для оценки информации русских печатных текстов вместо современного следует воспользоваться эволюционно развитым церковнославянским алфавитом, имеющим 40 букв [Плетнева, Кравецкий, 1996]. Для современных русских текстов, как и в случае английских,

расчет энтропии/информации на одну букву с учетом знака пробела дает $1,9 \pm 0,1$ бит [Колмогоров, 1987, с. 215]. Не внося большой погрешности, это же значение можно принять и для церковнославянских текстов. Максимально возможное значение энтропии/информации при 40 буквах алфавита и одном знаке пробела составит

$$\sum_{k=1}^{41} \frac{1}{41} \log_2 41 = 5,36 \text{ бита. Тогда в соответствии с (1.4) для слов из лю-}$$

бого числа символов N получаем:

$$\text{информация I} = (1,9 \pm 0,1)N / 5,36N = \frac{(1,9 \pm 0,1)}{5,36} = 0,355 \pm 0,02 .$$

Информация II для русских текстов формируется 38 произносимыми структурными элементами в качестве букв/звуков и тремя непроизносимыми элементами – буквами «ъ» (ер, твердый знак), «ь» (ерь, мягкий знак) и пробелом. В результате для выделенных двух типов элементов имеем соотношение 38:3, или 0,927:0,0732. Отсюда по (1.4) получаем:

$$\text{информация II} = - \frac{(0,927 \ln 0,927 + 0,0732 \ln 0,0732)}{\ln 2} = 0,378 .$$

Таким образом, полученные информации I и II у слов как H - и $|H \ln H|$ -продуктов для английского и русского языков совпадают в пределах точности расчетов с табличным значением $H = 0,382$ или $|H \ln H| = 0,368$ для схемы квантования двух параллельных БП. Эти значения информации должны отвечать любому эволюционно развитому языку с любым алфавитом, если словообразование в нем основано на двух параллельных БП, т.е. на слоговом сочетании согласных и гласных звуков. В свою очередь, временные R - и $|R \ln R|$ -продукты будут формироваться через продолжительность звучания букв. Их анализ требует специальных исследований и проводится здесь не будет.

У слов и полипептидных цепей белков как информационных продуктов БП имеется одно существенное отличие. Слова образуются за полный цикл двух параллельных БП (см. рис. 1.1, в) и состоят из слогов, отвечающих фазам этого цикла. Очевидно, слоговое сочетание согласных и гласных звуков, обусловленное информацией R и $|R \ln R|$ для каждой фазы, приводит к определенной корреляции между звуками/буквами. Наличие данной корреляции не только полностью подтверждается расчетами, но и затрудняет вычисление энтропии для текстов [Волькенштейн, 1986]. Молекулы белков синтезируются за один элементарный цикл, отвечающий элонгации полипептидной цепи. Они не переносят информацию R и $|R \ln R|$, и поэтому корреляция

между аминокислотными остатками в молекулах должна отсутствовать. Данный вывод полностью подтверждается расчетами М. Ичаса [1960] для различных белков.

Транскрипция ДНК. До настоящего момента транскрипция ДНК рассматривалась нами как один из параллельных БП биосинтеза белка. В случае образования рибосомной РНК (рРНК), которая не предполагает синтеза на ней полипептидной цепи, транскрипция является уже автономным БП. Последний, как и раньше, имеет три фазы – инициацию, элонгацию и терминацию синтеза рРНК. Следовательно, мы должны иметь $H = 0,682$ (см. табл. 1.1). Воспользуемся в качестве примера хорошо изученной бактерией *Escherichia coli* (*E. coli*), известной как кишечная палочка. Продуктом процесса элонгации как второй фазы БП является единая цепь предшественника рРНК, содержащая структурные элементы – три рРНК длиной 2904, 1542 и 120 рибонуклеотидных оснований соответственно [Спирин, 1986]. Эти рРНК вырезаются из предшественника рРНК ферментом рибонуклеазой при созревании последнего. Соотношение указанных рРНК как отдельных структурных элементов H -продукта составит в долях вкладов $0,636 : 0,338 : 0,026$. Используя эти доли в (1.4), получаем $H \approx 0,68$. Данная информация полностью совпадает с табличной для автономного БП с тремя фазами.

Транскрипция ДНК с образованием различных транспортных РНК (тРНК) также не требует синтеза на этих тРНК полипептидной цепи. Рассмотрим вторую фазу БП транскрипции – элонгацию. H -продуктом здесь являются предшественники тРНК (про-тРНК). «Лишняя» часть про-тРНК в последующем удаляется с помощью рибонуклеаз. Тем самым мы имеем два типа рибонуклеотидных оснований, представляющих собой два различных структурных элемента продукта. Используя условие $H = 0,682$ как отвечающее автономному БП транскрипции с тремя фазами, получаем из (1.4) требуемое схемой квантования соотношение длин удаленной части про-тРНК и тРНК – $0,22 : 1$. Поэтому про-тРНК должны быть в среднем на 22% длиннее тРНК. Это подтверждается данными наблюдений, согласно которым про-тРНК приблизительно на 20% длиннее, чем тРНК [Спирин, 1986; Рис, Стернберг, 1988].

Помимо удаления рибонуклеотидных оснований у тРНК также возможна их модификация. Такой процесс можно рассматривать как альтернативный удалению «лишних» оснований про-тРНК. По имеющимся данным, модификация происходит после образования тРНК, и доля модифицированных/необычных рибонуклеотидных оснований в тРНК может достигать также 20% их общего числа [Кантор, Шим-

мел, 1984]. Очевидно, что модификация энергетически более выгодна клетке по сравнению с синтезом и удалением «лишних» оснований. У прокариотов, эволюционно менее развитых, чем эукариоты, данная доля часто не достигает 20%. Это, видимо, отражает эволюционно более позднее появление процесса модификации тРНК по сравнению с удалением рибонуклеотидных оснований про-тРНК.

Сборка рибосом. Кратко остановимся на процессе сборки рибосом у прокариотов. Рибосомы клетки *E. coli* состоят из 30S и 50S субчастиц, которые в совокупности включают в себя три молекулы рРНК и 56 белков. При этом 52 белка различны, и их гены организованы в 16 оперонов, распределенных по всей хромосоме *E. coli* [Спирин, 1986]. После созревания общего предшественника рРНК в клетке идет одновременная строго координированная сборка обеих рибосомных субчастиц с участием молекул рРНК и белков. Эти два процесса сборки 30S и 50S субчастиц следует интерпретировать как два параллельных БП. Согласно схеме их квантования (см. рис. 1.1, в) каждый БП должен включать три цикла низшего ИУ. С этими циклами можно сопоставить формирование нуклеопротеидного комплекса на каждом из трех доменов вторичной структуры 16S РНК для 30S субчастицы и на каждой паре из имеющихся 6 доменов 23S РНК для 50S субчастицы. Рассматривая рибосому как *H*-продукт двух параллельных БП, в качестве его структурных элементов следует взять те типы рРНК или белков, которые в процессе сборки рибосомы-продукта различались бы функционально. Гены рибосомных белков объединены в различные опероны, кодирующие, кроме них, субъединицы РНК-полимеразы и факторы элонгации полипептидной цепи. При этом часть белков регулирует работу этих оперонов и синтез белков. Для 30S субчастицы такими белками являются S4, S7, S8, а для 50S субчастицы – L1, L2 и комплекс L10(L7/L12). Перечисленные рибосомные белки можно принять за один структурный элемент рибосомы-продукта, а остальные белки и рРНК – за второй. Используя (1.4) и данные о молекулярной массе рибосомных белков и рРНК [Спирин, 1986, 1990], несложно получить $H \approx 0,38$. Это значение совпадает с табличным (см. табл. 1.1) для схемы квантования БП сборки рибосомы и подтверждает эту схему. Тем самым нами охарактеризован ИУ сборки белковых комплексов, являющийся высшим по сравнению с ИУ синтеза отдельных белков. На этом ИУ в качестве структурных элементов информационных продуктов БП выступают уже не аминокислоты, а функционально различные белки – компоненты продукта. Интересно отметить одну особенность ИУ сборки рибосомы – кратность общего количества молекул рРНК и различных белков числу 11. Для 30S субчастицы данное количество

равно $1 + 21 = 22$, а для $50S - 2 + 31 = 33$ молекулы [Спирин, 1986]. Можно полагать, что подобная структура является следствием существования эволюционно древнего автономного БП сборки рибосомы, имеющего три фазы и эволюционировавшего в два рассмотренных выше параллельных БП. Каждая из трех фаз такого БП согласно схеме квантования (см. рис. 1.1, *a*) должна была иметь 11 циклов низшего ИУ и могла выполняться как сборка нуклеопротеидного комплекса последовательно на трех рРНК – 16S, 23S и 5S.

Репликация ДНК. Перейдем к репликации генома клетки на примере бактерии *E. coli*. Хромосома *E. coli* замкнута в кольцо, и ее репликация начинается в сайте инициации, распространяясь от сайта в обе стороны в форме репликационных вилок [Рис, Стернберг, 1988]. Движение обеих вилок строго координировано, и они одновременно достигают участка терминации, где репликация заканчивается. Здесь, очевидно, мы имеем два параллельных БП, отвечающих координированной репликации двух половин хромосомы. *H*-продуктом этих БП должен являться вновь образованный генетический материал с информацией $H = 0,382$ (см. табл. 1.1). Поэтому мы должны иметь две разные формы (структурных элемента) генетического материала, одна из которых по уравнению (1.4) и условию $H = 0,382$ должна составлять 8% другой. К этим формам можно отнести хромосому и плазмиды клетки. Плазмиды представляют собой генетический материал, подобный хромосомному. Экспериментально было неоднократно воспроизведено возникновение плазмид из бактериальной хромосомы [Жданов, 1990]. Они могут встраиваться обратно в хромосому и существовать отдельно от нее в виде замкнутого кольца. Репликация плазмид идет одновременно с репликацией хромосомы. Согласно экспериментальным данным клетка может содержать одну большую плазмиду, размер которой не превышает 8% длины хромосомы [Прозоров, 1989]. Все это согласуется с указанными требованиями относительно существования двух форм генетического материала и их количественного соотношения.

Согласно схеме квантования двух параллельных БП (см. рис. 1.1, *в*) цикл репликации хромосомы *E. coli* должен объединять шесть циклов низшего ИУ – три для одного и три для другого параллельного БП. По существующим представлениям [Рис, Стернберг, 1988], репликация двойной спирали ДНК *E. coli*, осуществляющаяся в форме репликационных вилок, включает в себя шесть координированных взаимосвязанных процессов: разделение двух цепей ДНК, снятие положительной сверхспирализации спирали родительской ДНК перед репликационной вилкой, репликацию лидирующей цепи ДНК, образование РНК-затравок на отстающей цепи ДНК, репликацию от-

стающей цепи ДНК в виде фрагментов Оказаки, снятие отрицательной сверхспирализации у дочерней ДНК. Каждый из процессов выполняется определенными ферментами клетки. Наряду с перечисленными процессами, при репликации ДНК также имеют место процессы созревания, включающие удаление РНК-затравок, сшивку фрагментов Оказаки между собой и репарацию ДНК. Эти процессы в названный список не включаются из-за отсутствия непосредственного влияния на движение репликационной вилки. Таким образом, мы имеем шесть параллельных БП движения репликационной вилки. Согласно схеме квантования (см. табл. 1.2) каждый из шести параллельных БП должен включать в себя по 535 элементарных циклов, т.е. 535 самостоятельно реплицируемых фрагментов цепи ДНК. Легко определить размер последних. Обычно длина хромосомной ДНК у *E. coli* составляет $3,2 \cdot 10^6$ дезоксирибонуклеотидных оснований (dGTP, dATP, dCTP, dTTP) [Ай-ала, Кайгер, 1987]. Отсюда искомым элемент ДНК будет равен $3,2 \cdot 10^6 / 6 / 535 \approx 1000$ основаниям. Таким образом, мы получили известные, синтезирующиеся *in vivo* фрагменты Оказаки, длина которых точно отвечает полученной величине. Известно, что их синтез начинается только после образования РНК-затравок. *H*-продуктом шести рассматриваемых БП, очевидно, будут фрагменты Оказаки с указанными затравками. Из (1.4) и условия $H = 0,222$ (см. табл. 1.2) легко находим теоретическую длину РНК-затравок – 37 рибонуклеотидных оснований. Экспериментальные оценки синтезируемых *in vivo* затравок дают от 10 до 60 оснований или в среднем $(10 + 60) / 2 = 35$ оснований, что соответствует теоретическому значению.

Рассмотрим информационный $|H \ln H|$ -продукт движения репликационной вилки по хромосоме *E. coli*. Он формируется согласно (1.5) путем вариаций размера затравок около среднего значения. Из (1.5) следует

$$\ln \sqrt{2\pi e \left(\frac{\sigma_L}{L_{cp}}\right)^2} = \ln \sqrt{2\pi e \left(\frac{\sigma_L}{35}\right)^2} = |H \ln H| = |0,222 \times \ln 0,222| = 0,334,$$

где σ_L – стандартное отклонение размера затравок относительно их среднего значения $L_{cp} = 35$ рибонуклеотидных оснований.

Решая полученное уравнение, получаем отклонение $\sigma_L \approx 12$ оснований. При нормальном распределении вероятностей со стандартным отклонением σ , как известно, 95% всех отклонений попадает в интервал $\pm 2 \sigma$ [Корн Г., Корн Т., 1984]. В нашем случае этот интервал составляет $L_{cp} \pm 2\sigma \approx 35 \pm 2 \times 12$ или $11 \div 59$ оснований. С учетом

стандартной 95%-ной достоверности экспериментальных данных этот интервал также совпадает с экспериментально наблюдаемыми 10–60 основаниями. Таким образом, мы охарактеризовали оба H - и $|H \ln H|$ -продукта БП движения репликационных вилок у бактерии *E. coli*.

Заканчивая анализ молекулярно-генетических процессов, можно отметить закономерное разделение РНК в клетках *E. coli* по трем формам: мРНК – 2%, тРНК – 16%, рРНК – 82% [Бохински, 1987]. Рассматривая их как структурные элементы информационного продукта, получаем величину $H \approx 0,68$, характеризующую схему квантования автономного БП с тремя фазами (см. табл. 1.1). Наиболее вероятным ИУ, отвечающим данному продукту, является деление клетки, поскольку именно нарабатанная в клетке РНК определяет в конечном итоге ход всех внутриклеточных биохимических процессов. Существование трех четко выделяемых фаз деления клеток подтверждается, например, данными А.П. Левича с соавторами [1986].

Таким образом, нами рассмотрены несколько молекулярно-генетических систем с их информационными продуктами из необозримо большого числа БС, обеспечивающих существование жизни на Земле. Хотя рассмотренные системы характеризуют только прокариотические организмы, полученные результаты можно перенести и на случай эукариотов. В целом же изучение ИУ сложных молекулярно-генетических взаимодействий в различных организмах, включая человека, является делом будущего.

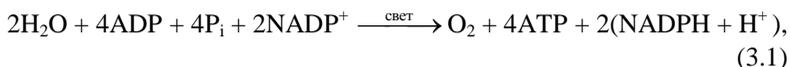
3.2. Организация фотосинтетических уровней

Фотосинтез является основным механизмом запасаения солнечной энергии в биосфере Земли. В соответствии с концепцией «материя – мера – информация» и информационно-физическим законом энергия и вещество относятся к одной категории физического мира. Поэтому и вещество, и энергия могут служить субстратом БП, из которого в ходе БП формируются информационные продукты. Рассмотрим фотосинтез растений как циклический БП, обеспечивающий трансформацию световой энергии в энергию химических связей молекул как информационных продуктов БП [Kirsta, 1992]. Такая трансформация энергии, естественно, сопровождается изменениями физической энтропии и переходом части энергии в тепло в полном соответствии со вторым законом термодинамики [Brittin, Gamow, 1961; Термодинамика..., 1976]. В отличие от традиционных представлений о зависимости динамики неравновесных систем от физической энтропии [Николис, Приго-

жин, 1979], при анализе поведения систем с циклически организованными БП понятие физической энтропии не используется.

В фотосинтезе принято выделять две фазы: световую и темновую. В первой осуществляется непосредственный переход световой энергии в химическую энергию, которая запасается в специальных молекулах-энергоносителях. Первая фаза включает два автономных процесса, которые последовательно возникли в ходе эволюции живых организмов, –циклическое и нециклическое фотофосфорилирование (ФФ) [Гудвин, Мерсер, 1986; Полевой, 1989]. Вторая, темновая фаза включает в себя уже чисто химические реакции, обеспечивающие дальнейшую трансформацию накопленной химической энергии. При этом происходит ассимиляция CO_2 из атмосферы и образование органического вещества в виде углеводов $(\text{CH}_2\text{O})_n$. Отметим, что темновая фаза все же требует наличия света, который используется для активации соответствующих ферментов, но энергия которого в продуктах химических реакций не накапливается.

Нециклическое фотофосфорилирование. В результате нециклического ФФ как БП образуются (заряжаются энергией) два важных вида молекул-энергоносителей клетки: аденозинтрифосфат (АТФ) и восстановленный никотинамидадениндинуклеотидфосфат (NADPH). Суммарная фотохимическая реакция здесь представима в виде [Гудвин, Мерсер, 1986; Полевой, 1989]



где ADP – аденозиндифосфат; P_i – неорганический фосфат (H_3PO_4); NADP^+ – никотинамидадениндинуклеотидфосфат.

Молекулы O_2 , АТФ и NADPH являются стабильными продуктами трех систем фотохимических реакций, осуществляющих нециклическое ФФ: системы выделения кислорода (образующей O_2), фотосистемы II (АТФ) и фотосистемы I (NADPH). Молекулы O_2 , АТФ, NADPH содержат определенное количество свободной энергии, аккумулярованной и распределенной по ним за цикл БП. Энергия АТФ и NADPH в дальнейшем используется на нужды других химических систем клетки. В ходе реакции (3.1) происходит перенос четырех электронов от H_2O к NADP^+ последовательно через систему выделения O_2 и фотосистемы II, I. Электроны переносятся по два одновременно, что обусловлено особенностью функционирования входящей в фотосистему II двухэлектронной окислительно-восстановительной пары пластохинон-пластохинол (ПХ/ПХ- H_2). Перенос двух электронов через каждую из систем следует принять за отдельные элементарные циклы БП нециклического ФФ. Тогда полный цикл БП в (3.1) будет включать

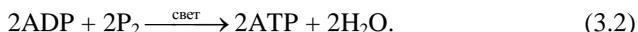
две фазы и $3 + 3 = 6$ элементарных циклов переноса электронов (см. рис. 1.1, б).

Вообще говоря, вместо АТФ следует рассматривать протоны H^+ , которые приобретают энергию (заряжаются) при их переносе системой ПХ/ПХ– H_2 против электрохимического градиента из матрикса хлоропластов в тилакоиды одновременно с переносом электронов [Рубин, 1987]. Это связано с тем, что обратимая АТФ-аза (фермент), синтезирующая АТФ из АДФ путем обратного переноса протонов по электрохимическому градиенту, не входит непосредственно в электрон-транспортную цепь фотосистемы II. Вместо протонов мы будем использовать АТФ, но с аккумулярованной свободной энергией 30,5 кДж/моль [Гудвин, Мерсер, 1986], хотя в системах живых клеток энергия АТФ полагается обычно равной 41,9 кДж/моль [Полевой, 1989]. При такой замене на одну молекулу NADPH в (3.1) синтезируются две АТФ с общей энергией $30,5 \times 2 = 61$ кДж/моль, что означает синтез $61/41,9 = 1,46$ реальных молекул АТФ. Последняя величина совпадает с наблюдаемым количеством АТФ, синтезируемым в клетках на одну молекулу NADPH. По аналогии, под аккумулярованной в O_2 энергией подразумевается энергия, накапливаемая в окислительно-восстановительной системе выделения O_2 .

Количества свободной энергии, имеющиеся в O_2 , АТФ и NADPH, можно принять за структурные элементы информационного продукта БП. Для оценки свободной энергии, запасенной в NADPH и O_2 , воспользуемся окислительно-восстановительными потенциалами соответствующих соединений, осуществляющих нециклический транспорт электронов [Гудвин, Мерсер, 1986]. Наинизший уровень потенциала $+0,9$ В, с которого происходит «накачка» световой энергией всей системы фотофосфорилирования, имеет фотохимически активная пара P_{680}^{+*}/P_{680} фотосистемы II. Учитывая потенциал пары $NADP^+/NADPH$, равный $-0,32$ В, и перенос двух электронов, требующийся для образования NADPH, получаем накопление стандартной свободной энергии для NADPH $-(-0,32-0,9) \times 2 = 2,44$ эВ, или 235 кДж/моль. Для молекулы O_2 с учетом потенциала $+0,82$ В у пары $H_2O/0,5O_2$ и переноса четырех электронов, требующихся для образования O_2 , аналогично получаем $-(+0,82-0,9) \times 4 = 0,32$ эВ, или 31 кДж/моль. Следует отметить, что все подобные расчеты выполняются для стандартных химических условий при молярных концентрациях исходных и конечных продуктов окислительно-восстановительных реакций, давлении 1 атм., температуре $+25$ °С и нейтральной среде с рН = 7,0. Поскольку в живых клетках все эти условия точно не соблюдаются, полученные значения свободной энергии являются приближенными.

Схеме квантования БП нециклического ФФ, имеющего две фазы, соответствует информация $H = 0,618$ (см. табл. 1.1). Аккумулированная энергия как H -продукт БП согласно (3.1) будет включать три структурных элемента – свободную энергию, имеющуюся соответственно в O_2 , АТФ и NADPH в соотношении $[31 \cdot 1 \text{ моль } O_2 = 31 \text{ кДж}] : [30,5 \cdot 4 \text{ моль АТФ} = 122 \text{ кДж}] : [235 \cdot 2 \text{ моль NADPH} = 470 \text{ кДж}]$. В долях вкладов это составит $0,050 : 0,196 : 0,754$. Подставляя последние в (1.4), получаем переносимую продуктом БП нециклического ФФ информацию $H \approx 0,62$. Таким образом, в пределах точности расчетов мы имеем полное совпадение реального и теоретического значений информации H .

Циклическое фотофосфорилирование. В хлоропластах на свету идет и другой БП – циклическое ФФ. Его электрон-транспортная цепь включает лишь отдельные фотохимические реакции фотосистем I, II и поэтому короче, чем при нециклическом ФФ. В транспорте электронов здесь по-прежнему участвуют фотохимически активная пара P_{700}^+ / P_{700} фотосистемы I и двухэлектронная окислительно-восстановительная пара ПХ/ПХ– H_2 фотосистемы II. Суммарную химическую реакцию БП циклического ФФ, в которой образуется только АТФ, можно представить в виде



Данный БП осуществляется как перенос электронов от возбужденного квантами света пигмента P_{700} по электрон-транспортной цепи вновь к P_{700} с образованием одной АТФ на один поглощенный квант. За полный цикл БП переносятся два электрона, перемещение которых можно рассматривать как две фазы БП.

Аккумулированная энергия как продукт БП циклического ФФ (3.2) имеет два структурных элемента:

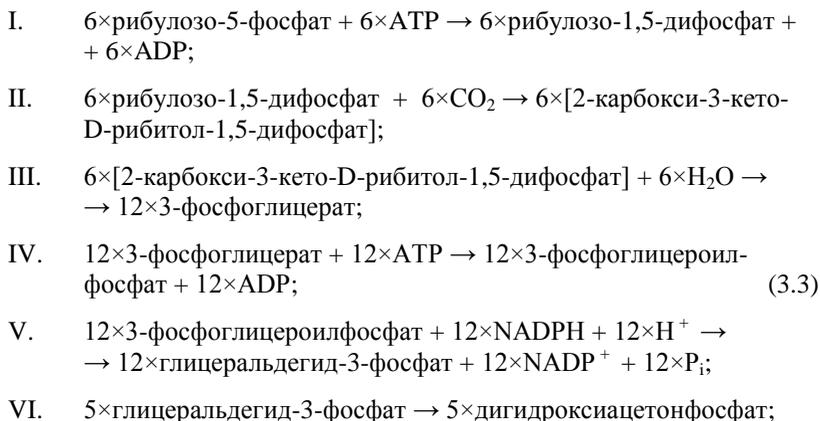
- энергию протонов H^+ , переносимых системой ПХ/ПХ– H_2 в тилакоиды; она будет характеризоваться нами как запасенная в АТФ свободная энергия 30,5 кДж/моль, аналогично случаю нециклического ФФ;
- энергию возбуждения каждого из двух железосерных реакционных центров пигмента P_{700} фотосистемы I, которые могут функционировать последовательно или параллельно [Рубин, 1987]; каждый центр возбуждается квантом света с длиной волны 700 нм, что соответствует поглощению энергии 171 кДж/моль [Гудвин, Мерсер, 1986].

Каждая фаза БП (3.2) формально может отсчитываться с момента передачи электрона от одного из возбужденных центров пигмента

P_{700} в электрон-транспортную цепь и заканчиваться новым возбуждением этого центра. Соотношение структурных элементов в аккумулярованной энергии как H -продукте БП составит $[30,5 \times 1 \text{ кДж}] : [171 \times 1 \text{ кДж}]$, или в долях вкладов $0,849 : 0,151$. Отсюда информация H -продукта согласно (1.4) будет равна $0,61$. Схеме квантования БП циклического ФФ, имеющего две фазы, отвечает информация $0,618$ (см. табл. 1.1). Мы вновь получили совпадение реального и теоретического значений H для информационного продукта БП.

Цикл Кальвина (Calvin-цикл). В темновой фазе фотосинтеза происходит дальнейшая трансформация свободной энергии, накопленной в АТФ, NADPH, и создание новых видов молекул-энергоносителей – гексоз. Основой темновых химических реакций фотосинтеза является Calvin-цикл, который обеспечивает фиксацию CO_2 и синтез данных гексоз. Осуществляющие фотосинтез растения подразделяются по типу фотосинтеза на C_3 -, C_4 - и САМ-растения. В C_3 -растениях осуществляются только реакции Calvin-цикла, а в C_4 - и САМ-растениях Calvin-цикл дополнен другими химическими реакциями, отвечающими за предварительное накопление CO_2 в форме дикарбоновых кислот перед вовлечением этого CO_2 непосредственно в Calvin-цикл [Лархер, 1978; Гудвин, Мерсер, 1986].

Рассмотрим Calvin-цикл как БП. Цикл представляет собой систему взаимосвязанных ферментативных реакций, в которых из 6 молекул CO_2 образуется одна молекула гексозы [Гудвин, Мерсер, 1986; Ленинджер, 1985; Полевой, 1989]. Последняя в форме фруктозо-1,6-дифосфата или фруктозо-6-фосфата затем изымается из Calvin-цикла. Сбалансированная система моно- и двухсубстратных реакций Calvin-цикла имеет вид (3.3):



- VII. $3 \times \text{глицеральдегид-3-фосфат} + 3 \times \text{дигидроксиацетонфосфат} \rightarrow$
 $\rightarrow 3 \times \text{фруктозо-1,6-дифосфат};$
- VIII. $3 \times \text{фруктозо-1,6-дифосфат} + 3 \times \text{H}_2\text{O} \rightarrow 3 \times \text{фруктозо-6-фосфат} +$
 $+ 3 \times \text{P}_i;$
- IX. $2 \times \text{фруктозо-6-фосфат} + 2 \times \text{глицеральдегид-3-фосфат} \rightarrow$
 $\rightarrow 2 \times \text{ксилоулозо-5-фосфат} + 2 \times \text{эритрозо-4-фосфат};$
- X. $2 \times \text{эритрозо-4-фосфат} + 2 \times \text{дигидроксиацетонфосфат} \rightarrow$
 $\rightarrow 2 \times \text{седогептулозо-1,7-дифосфат};$
- XI. $2 \times \text{седогептулозо-1,7-дифосфат} + 2 \times \text{H}_2\text{O} \rightarrow 2 \times \text{седогептулозо-}$
 $7\text{-фосфат} + 2 \times \text{P}_i;$
- XII. $2 \times \rightarrow \text{едогептулозо-7-фосфат} + 2 \times \text{глицеральдегид-3-фосфат} \rightarrow$
 $\rightarrow 2 \times \text{рибозо-5-фосфат} + 2 \times \text{ксилоулозо-5-фосфат};$
- XIII. $2 \times \text{рибозо-5-фосфат} \rightarrow 2 \times \text{рибулозо-5-фосфат};$
- XIV. $4 \times \text{ксилоулозо-5-фосфат} \rightarrow 4 \times \text{рибулозо-5-фосфат},$

где в скобках [] даны неустойчивые соединения.

Реакции II, III в (3.3) обычно характеризуются как единая трех-субстратная ферментативная реакция. Выделение реакций II, III в самостоятельные обусловлено здесь необходимостью учета последовательного присоединения CO_2 и H_2O к молекуле сахара. Все реакции (3.3) организованы в единую замкнутую систему. Это позволяет рассматривать (3.3) как совокупность параллельных БП, представляющих собой соответствующие химические реакции Calvin-цикла.

Рассмотрим систему (3.3) как совокупность 14 параллельных БП Calvin-цикла. Тогда ассимилируемые молекулы CO_2 должны представлять собой субстрат, который используется для создания информационного энергетического/вещественного продукта Calvin-цикла. Таким продуктом может быть молекула рибулозо-1,5-дифосфата, поскольку она синтезируется в предшествующей акцептированию CO_2 реакции I. По аналогии с БП фотофосфорилирования выделим в рибулозо-1,5-дифосфате различные носители свободной энергии. Выбор таких энергоносителей достаточно очевиден – это углеводы и фосфаты. Кроме исходного CO_2 , рибулозо-1,5-дифосфат включает 4 углевода и 2 фосфата, присоединенные к этому CO_2 . Стандартная свободная энергия гидролизуемой фосфатной связи составляет приблизительно 16 кДж/моль, а запасенная в форме углеводов (при их полном окислении до CO_2) – 480 кДж/моль на один атом углерода [Ленинджер, 1985; Гудвин, Мерсер, 1986]. Тогда отношение этих форм энергий в рибуло-

зо-1,5-дифосфате составит $[480 \times 4 = 1920 \text{ кДж}] : [16 \times 2 = 32 \text{ кДж}]$, или в долях вкладов $0,984 : 0,016$. Подставляя последние в (1.4), получаем информацию $H \approx 0,12$. С учетом возможной погрешности исходных данных это близко к теоретическому значению $H = 0,134$, отвечающему схеме квантования 14 параллельных БП (см. табл. 1.2).

Проведем дополнительную проверку рассмотренной схемы квантования БП по независимым данным о продолжительностях элементарного и полного циклов БП Calvin-цикла. Согласно опытам М. Кальвина для включения радиоактивной метки $^{14}\text{CO}_2$ при фотосинтезе в гексозу (фруктозу) требуется не более 30 с [Гудвин, Мерсер, 1986]. Поскольку для этого необходимо выполнение реакций II–VII в (3.3), получаем среднюю продолжительность одной реакции $30/6 = 5$ с. В клетке все реакции (3.3) протекают одновременно, и продолжительность элементарных циклов БП определяется временем образования новой молекулы фруктозо-1,6-дифосфата. Последняя состоит из 6 атомов углерода, а значит, для ее синтеза требуется последовательное 6-кратное акцептирование CO_2 в реакции II. Это акцептирование выполняется за $5 \times 6 = 30$ с, что и будет составлять продолжительность одного элементарного цикла БП Calvin-цикла. Согласно таблице 1.2 полный цикл 14 параллельных БП включает $2,622 \cdot 10^7$ элементарных циклов, т.е. продолжительность полного цикла должна равняться $30 \cdot 2,622 \cdot 10^7 / 3600 \approx 2,2 \cdot 10^5$ ч. Эволюционное формирование Calvin-цикла происходило в ритмических условиях суточной смены дня и ночи, к которым должны были адаптироваться все его химические реакции. В связи со значительным отличием длительности суток от величины $2,2 \cdot 10^5$ ч схема квантования 14 параллельных БП в Calvin-цикле не реализуется, и молекулы рибулозо-1,5-дифосфата не могут являться его информационным продуктом.

В Calvin-цикле, как следует из (3.3), фосфаты из АТФ и углеводов из CO_2 акцептируются в отношении 1 : 1. Можно полагать, что такое отношение энергоносителей будет иметь место и в продукте БП. Рассмотрим синтезированные в реакции VII молекулы фруктозо-1,6-дифосфата. По аналогии с АТФ и NADPH, получаемых из ADP и NADP^+ в БП ФФ, выделим во фруктозо-1,6-дифосфате основу, на которую наращиваются энергоемкие компоненты. Этой основой, очевидно, будет молекула рибулозо-5-фосфата, как участвующая в реакции фосфорилирования I в (3.3). Тогда соотношение наращиваемых углеводов и фосфатов во фруктозо-1,6-дифосфате составит 1 : 1, а соотношение запасенных в них свободных энергий будет равно $[480 \times 1 \text{ кДж}] : [16 \times 1 \text{ кДж}]$, или $0,968 : 0,032$ [Ленинджер, 1985; Гудвин, Мерсер, 1986]. Подставляя полученные доли в (1.4), получаем

для энергии как продукта БП Calvin-цикла информацию $H \approx 0,204$. Это значение близко к величине $H = 0,2035$, отвечающей схеме квантования 7 параллельных БП (см. табл. 1.2). Этим БП, очевидно, соответствуют реакции I–VII в (3.3). Таким образом, для Calvin-цикла вместо 14 БП мы получили лишь 7 БП.

Проведем дополнительную проверку схемы квантования и информационного продукта Calvin-цикла по продолжительностям его элементарного и полного циклов. Выше показано, что продолжительность элементарного цикла составляет около 30 с. В случае 7 параллельных БП полный цикл состоит из 2035 элементарных циклов (см. табл. 1.2). Тогда продолжительность полного цикла составит около $30 \times 2035/3600 \approx 17$ ч. Это практически совпадает с искомой суточной ритмикой фотосинтеза. Тем самым подтверждаются схема квантования 7 БП (реакции I–VII в (3.3)) и информационный энергетический продукт Calvin-цикла – фруктозо-1,6-дифосфат.

Полезно уточнить длительность элементарного цикла БП Calvin-цикла. Последний выполняется в светлую часть суток, т.е. длительность полного цикла в физическом времени должна составить приблизительно 12 ч. Тогда для элементарного цикла она равна $12 \times 3600/2035 \approx 21$ с. Мы получили продолжительность элементарного цикла, которую следует ожидать при оптимальных условиях фотосинтеза. Эта продолжительность также известна из экспериментальных данных.

Отметим, что за один элементарный цикл, т.е. за 21 с, ассимилируется определенное количество CO_2 . Это позволяет использовать количество ассимилированного CO_2 (или эквивалентное количество образованной фруктозы) для измерения хода метаболического времени как на рассмотренном, так и на более высоких ИУ клетки. Такая замена, кроме того, позволяет избежать трудностей, которые неизбежно возникают при изучении динамики метаболизма клетки и связаны с необходимостью учета температуры, концентраций субстратов и т.п. Подобная замена физического времени на количество потребляемого животными O_2 (O_2 выполняет для животных ту же роль, что и CO_2 для фотосинтезирующих растений) используется давно. В частности, считается, что количество потребляемого животными (грызунами, насекомыми, одноклеточными организмами) от момента начала дыхания до «последнего вздоха» одинаково для всех представителей одного биологического вида и может служить физиологическим возрастом организма [Зотин, Алексеева, 1984].

Синтез-окисление фруктозы. Образующийся в Calvin-цикле фруктозо-1,6-дифосфат одновременно используется растительной

клеткой на дыхание. Процесс дыхания здесь обеспечивается химическими реакциями пентозофосфатного цикла (pentose-цикла) [Полевой, 1989]. В pentose-цикле молекулы Фруктозо-1,6-дифосфата окисляются до CO_2 с обратным перетоком свободной энергии в молекулы-энергоносители NADPH. Хотя pentose-цикл основан на отличных от Calvin-цикла химических реакциях, по существу он является его обращением. Pentose-цикл в целом включает такое же количество реакций, что и Calvin-цикл. В нем также за 7 моно- и двухсубстратных реакций из рибулозо-5-фосфата как основы для наращивания углеводов и фосфатов синтезируется фруктозо-1,6-дифосфат [Полевой, 1989]. Иначе говоря, мы имеем БП pentose-цикла со схемой квантования и ритмикой, которые полностью аналогичны имеющимся у БП Calvin-цикла. Все это позволяет рассматривать процессы синтеза и окисления фруктозо-1,6-дифосфата в Calvin-цикле и pentose-цикле как два параллельных БП следующего высшего ИУ. Очевидно, эти два БП синтеза-окисления фруктозы должны иметь полный 3-суточный цикл с тремя элементарными суточными циклами у каждого БП. При этом БП синтеза фруктозы осуществляется днем, а параллельный ему БП окисления фруктозы – преимущественно ночью.

В качестве структурных элементов *H*-продукта двух параллельных БП синтеза-окисления фруктозы могут выступать как свободные энергии ежесуточно синтезируемых и окисляемых молекул фруктозо-1,6-дифосфата, так и отвечающие этим энергиям количества молекул фруктозы или количества ассимилированного и вновь образованного CO_2 . Очевидно, что замена энергии на количество молекул или массу вещества не влияет на расчет *H*. Отметим также, что взаимозаменяемость «энергетического» и «вещественного» представлений продукта БП на данном ИУ позволяет считать их взаимозаменяемыми и для информационных продуктов последующих, более высоких ИУ.

Расчет информации мы проведем по количеству ассимилируемого CO_2 (идущего на образование фруктозы, ассимилята или органического вещества) и высвобождаемому количеству CO_2 (т.е. расходу фруктозы, ассимилята или вещества на дыхание). Данные большого количества наблюдений за темновым дыханием различных растений показывают, что его интенсивность составляет приблизительно 10% интенсивности фотосинтеза при световом насыщении [Каллис, 1974]. Кроме того, известно, что при фотосинтезе 70–80% образуемого ассимилята (фруктозы или получаемой из нее глюкозы) превращается в биомассу растений. Остальные 20–30% уходят на дыхание [Penning de Vries, 1974; Полевой, 1983, с. 18]. Продолжительность ночи в период вегетации составляет приблизительно 8 ч, т.е. 1/3 суток [Полевой,

1988, с. 238]. Учитывая, что CO_2 реально уходит в атмосферу только ночью, когда реассимиляция CO_2 через фотосинтез не осуществляется, получаем оценку на суточный расход CO_2 в атмосферу $(20 \div 30\%) / 3 \approx 8\%$. Таким образом, соотношение структурных элементов у H -продукта рассматриваемых БП составит $92 : 8\%$, или $0,92 : 0,08$. Расчет информации по (1.4) тогда дает $H \approx 0,4$, что с учетом точности исходных данных совпадает с теоретическим значением $H = 0,382$ для двух параллельных БП.

Наряду с pentose-циклом в растительной клетке существуют и другие пути окисления пентоз и гексоз с образованием CO_2 . Например, это фотодыхание и гликолиз. Выделяющийся в таких процессах CO_2 может вовлекаться в фотосинтез наравне с атмосферным CO_2 . Этим обеспечивается поддержание нормальной ритмики БП Calvin-цикла (а значит, и темпов фенологического развития растений) при недостаточном поступлении к клеткам атмосферного CO_2 , например, из-за закрытия устьиц при засухе. Отметим, что по этой причине основным фактором темпа фенологического развития растений является температура, определяющая время протекания химических реакций и, следовательно, циклов соответствующих БП.

Гликолиз и цикл Кребса (Кrebs-цикл). В качестве еще одного примера рассмотрим гликолиз и Krebs-цикл, играющие важную роль в метаболизме углеводов у нефотосинтезирующих клеток [Ленинджер, 1985; Полевой, 1989]. Вместе они составляют один автономный БП полного окисления фруктозы до CO_2 . БП имеет две фазы. Первая фаза отвечает гликолизу и охватывает последовательный ряд реакций, переводящих фруктозо-1,6-дифосфат в две молекулы ацетил-коэнзима А. При этом образуются две молекулы NADH, две АТФ и две CO_2 . Вторая фаза представляет собой непосредственно Krebs-цикл, который завершает окисление фруктозы. Здесь образуются шесть NADH, две молекулы FADH_2 , две АТФ и четыре CO_2 . Образующим за каждую фазу продуктом БП является свободная энергия, распределенная по разным молекулам-энергоносителям. В информационном продукте первой фазы энергия распределена между NADH и АТФ, а в продукте второй – между NADH, FADH_2 и АТФ. Оценим информацию H -продуктов, используя данные о стандартных свободных энергиях молекул [Гудвин, Мерсер, 1986; Полевой, 1989]. Для первого продукта отношение запасенных в NADH и АТФ энергий составит $[220 \times 2 = 440 \text{ кДж}] : [41,9 \times 2 = 83,8 \text{ кДж}]$, или в долях вкладов $0,84 : 0,16$. Отсюда согласно (1.4) получаем $H \approx 0,63$. Для второго продукта отношение энергий NADH, FADH_2 и АТФ будет равно $[220 \times 6 = 1320 \text{ кДж}] : [192 \times 2 = 384 \text{ кДж}]$: $[41,9 \times 2 = 83,8 \text{ кДж}]$, или в долях вкладов

0,74 : 0,21 : 0,05. Тогда из (1.4) имеем $H \approx 0,64$. Таким образом, в пределах точности данных получено совпадение реальной информации H -продукта с теоретической $H = 0,618$ для автономного БП с двумя фазами (см. табл. 1.1).

Нами охарактеризованы основные БП фотосинтеза: БП нециклического и циклического ФФ, БП Calvin-цикла, БП pentose-цикла, БП синтеза-окисления фруктозы, БП полного окисления фруктозы. Продуктом этих БП является свободная энергия, носителями которой выступают химические связи молекул. Эта энергия поступает на фотосинтетические ИУ биосферы в форме солнечного излучения и после ее фиксации в молекулах-энергоносителях согласно информационно-физическому закону используется другими ИУ биосферной СФО. Здесь можно целиком согласиться с В.И. Вернадским [1988, с. 131] в том, что «эта свободная энергия – биохимическая энергия – охватывает всю биосферу и определяет в основном всю ее историю».

Мы видим, что информационный закон позволяет эффективно исследовать СФО и ритмику непосредственно метаболизма клетки. Его использование дополняет традиционные методы математического моделирования систем биохимических реакций и циркадной ритмики клеток, например, регуляции синтеза фруктозо-1,6-дифосфата [Сельков и др., 1979].

3.3. Организация экосистемных уровней

3.3.1. Сукцессионные процессы биогеоценозов

Понятия «экосистема» [Tansley, 1935; Даждо, 1975; Одум, 1986] и «биогеоценоз» [Сукачев, 19646; Дылис, 1978] близки по сути [Светлосанов, 1978; Реймерс, 1990]. Далее они будут использоваться нами в качестве синонимов, как это сделано, например, на Межправительственной конференции (ЮНЕСКО) по рациональному использованию и охране ресурсов биосферы [Использование..., 1972].

Биосфера Земли обычно предполагается состоящей из относительно независимых биогеоценозов/экосистем, которые включают в себя популяции различных видов организмов, приуроченные к определенным местообитаниям [Камшилов, 1974, 1979; Одум, 1986; Номоконов, 1989]. Согласно В.Н. Сукачеву [1940, 19646], биогеоценоз представляет собой определенную форму жизни, т.е. развивающуюся по определенным законам БС – структурную единицу биосферы. Это закономерное развитие принято называть экологической сукцессией. Сукцессия как самоорганизованное развитие впервые было рассмотре-

на Ф.Е. Клементсом [Clements, 1916]. В дальнейшем представление о сукцессиях было расширено, и для их объяснения стало привлекаться понятие самоорганизации неравновесных термодинамических систем (экосистем) [Одум, 1986].

Постоянное развитие, выражающееся в форме сукцессий, является общим свойством биогеоценозов [Гиляров, 1980]. Собственно сукцессия характеризуется как последовательная смена во времени видовой структуры биогеоценоза с сопутствующим изменением условий его местообитания. По завершении каждой стадии такого развития образуется характерное промежуточное сообщество. Смена таких сообществ называется серией и заканчивается самоподдерживающимся климаксом [Clements, 1916; Риклефс, 1979; Одум, 1986]. Контролируемые биогеоценозом стадии повторяются в каждой сукцессии, начинающейся обычно вслед за разрушением климакса под воздействием внешних факторов.

Изложенное позволяет рассматривать сукцессию как генеральный процесс биогеоценоза [Левич, 1989], т.е. его БП. При этом продуктами БП, формируемыми на протяжении каждой фазы БП, являются сообщества сукцессионной серии. Последнее в серии климаксовое сообщество, как правило, имеет более продолжительное, чем у остальных, время существования. Климакс представляет собой сообщество как информационный продукт БП, находящееся в динамическом равновесии со средой (состоянии гомеостаза) и способное длительное время поддерживать свою структуру неизменной [Clements, 1916; Одум, 1986]. Р. Риклефсом [1979] справедливо указывается, что такой гомеостаз является свойством организации биогеоценозов, эволюционно выработанным за многие геологические эры.

В стабильном климаксовом сообществе не происходит изменения видового состава биогеоценоза, т.е. отсчет его внутрисистемного времени прекращается (ср. [Левич, 1986]). Если внешние возмущения среды, приводящие к разрушению климакса, происходят достаточно регулярно, то биогеоценоз претерпевает сукцессии, циклические уже в физическом/календарном времени. Подобное быстрое разрушение климакса может «программироваться» средой как несколько следующих подряд засушливых лет или как циклические пожары, также являющиеся одним из экологических факторов среды. Например, хорошо известны «пирогенные» климаксы степных экосистем и даже всего степного биома [Одум, 1986]. Известно, что год пожара может использоваться как репер для начала сукцессии лесных биогеоценозов с длительностью в десятки лет [Максимов, 1984]. Механизм «программирования» пирогенных сукцессий заключается в накоплении к концу сук-

цессионного цикла большого запаса горючего материала (в частности, лесной подстилки) с большой вероятностью его возгорания в засушливые годы, например, молний [Watt, 1947]. Следует особо отметить влияние человека на ход сукцессионного времени. Адаптация к антропогенному фактору у экосистем эволюционно не выработана, и ход этого времени может останавливаться человеком и даже меняться на обратный. Так, при регулярном перевыпасе у пустынных и степных экосистем образуется квазиустойчивый дисклимакс с остановкой хода сукцессии, а при чрезмерном перевыпасе наблюдается возврат сукцессии к ее предшествующей стадии [Одум, 1986]. Замедление хода природной сукцессии под влиянием хозяйственной деятельности регистрируется и у лесных экосистем [Johnson, Sharpe, 1976].

Циклические сукцессии – это естественное состояние природных сообществ, форма их существования и развития [Максимов, 1989]. Любое климаксовое сообщество как информационный продукт БП сукцессии раньше или позже, катастрофически или постепенно подвергается разрушению, и сукцессия повторяется заново [Ярошенко, 1953]. Все сукцессии, в том числе и выделяемые В.Н. Сукачевым [1964а] коренные сукцессии, являются циклическими БП с временным циклом, составляющим от десятков до тысяч лет в физическом/календарном времени [Одум, 1986; Номоконов, 1989]. К этому же выводу приходит и А.А. Максимов [1989], отмечающий несостоятельность распространенного в литературе представления о сукцессиях лишь как о постепенной замене одних сообществ или организмов другими.

Напомним, что у эволюционно формирующихся БС любого ИУ биосферы продолжительность циклов определяется ритмикой среды. В последующем БС могут существовать как независимые самоподдерживающиеся системы без обязательного подчинения их циклического развития ритмам внешних факторов. При этом СФО, схемы квантования БП и продолжительность циклов БС остаются прежними. Все это, естественно, справедливо и для биогеоценозов. Сукцессии последних принято подразделять на быстротечные, составляющие десятки лет; длительные (в частности, смену растительности в лесных биогеоценозах после вырубki или пожара) – сотни лет; а также вековые, связанные со сменой ценообразующих растений-эдификаторов, – до нескольких тысяч лет [Раменский, 1938; Лавренко, 1959; Максимов, 1984, 1989; Одум, 1986; Номоконов, 1989]. Соответствующая ритмика внешних факторов, помимо суточных и годовых изменений условий среды, включает 11-летние колебания солнечной активности, 33-, 100-, 200-, 300-, 600-, 1800-летние и большей продолжительности

периодические колебания климата [Bruckner, 1890; Боголепов, 1928; Шнитников, 1949, 1951, 1969; Турманина, 1970; Максимов, 1984, 1989; Одум, 1986].

Под сукцессией биогеоценозов обычно подразумевается смена не только растительных, но и животных сообществ. Теснейшая взаимосвязь растительного и животного мира давно и хорошо известна [Mobius, 1877; Tansley, 1935]. Согласно Ю.П. Одуму [1986] животные (растительноядные организмы, паразиты, хищники) принимают активное участие в сукцессиях растительности, часто контролируя последовательность смены видов. Добавление еще одного звена консументов (хищников) может влиять на нижележащие трофические уровни вплоть до первичных продуцентов (растений) [Риклефс, 1979]. Одновременно со сменой растительных сообществ происходит и смена животных сообществ с соответствующим изменением биоценологических связей [Максимов, 1989]. В итоге у биогеоценозов формируются параллельные БП сукцессий продуцентов и консументов.

Параллельные БП сукцессий могут формироваться и с участием третьего трофического уровня – редуцентов, от жизнедеятельности которых непосредственно зависят процессы почвообразования. Э. Пианка [1981] обращает внимание на параллелизм между процессами почвообразования и развития сообществ, в частности одновременными являются образование «зрелых» почв и климакс растительности. Следует отметить, что первичные сукцессии, идущие на несформированных почвах, характеризуются более продолжительным циклом по сравнению с вторичными на зрелых почвах (имеющими место после пожаров, вырубки и т.п.) [Одум, 1986]. Таким образом, формирование у биогеоценозов одного и более параллельных БП сукцессий обуславливает появление циклов различной продолжительности, которые наблюдаются в природе.

Конкретным физико-географическим условиям отвечает определенный тип биогеоценозов, например степной или лесной [Бельгард, 1971, 1980], и свой временной цикл. В результате синхронизации последнего с ритмикой климатических факторов формируется, как правило, общий для них природный цикл [Максимов, 1989]. Согласно А.А. Максимова ареал природного цикла охватывает всю территорию с ландшафтной общностью, причем для каждого ландшафтного типа местности характерен свой природный цикл, в ритме которого регистрируются все биогеоценологические процессы. К подобному выводу пришел и Ю.П. Одум [1986] при анализе климаксовых сообществ, выделив эдафические климаксы (отвечающие местным условиям среды) в качестве модификации общего климатического климакса. Все

эти представления объединяются в известной концепции поликлимакса – совокупности климаксов, связанных в мозаичном ландшафте. Природные циклы формируются у БС всех высоких ИУ биосферы. К одному из таких циклов, в частности, относится 100 000-летний цикл смены ледниковых эпох, характеризующийся эволюционными сменами флоры и фауны и известными смещениями географических зон [Кови, 1984].

БП биогеоценозов проявляются как закономерная смена сообществ по соответствующим фазам их цикла. Согласно информационному закону в каждой фазе цикла формируется продукт БП, представляющий собой определенную видовую группировку растений или животных. Каждая из этих группировок повторяется в основных чертах во всех циклах развития биогеоценоза. При этом наиболее стабильным продуктом БП сукцессии является климаксовое сообщество, образуемое по завершению последней фазы при автономном БП либо каждой фазы при параллельных БП. Классическим примером являются вековые сукцессии леса со сменой по фазам цикла растительных и животных сообществ [Максимов, 1984, 1989].

Как и любой информационный продукт БП, сообщества должны состоять минимум из двух структурных элементов. В качестве последних могут, например, выступать эволюционно выработанные экологические группы и жизненные формы растений [Серебряков, 1962; Нечаева и др., 1973; Одум, 1986]. Напомним, что выделение жизненных форм растений основано на различиях стратегии их жизни, т.е. образа существования и положения в биогеоценозе [Номоконов, 1989]. Очевидно, что требуемое информационным законом разделение сообществ как информационных продуктов БП на структурные элементы дает строгие, обусловленные самой природой критерии выделения экологических групп и жизненных форм организмов.

Объединение в информационном продукте/сообществе БП различных экологических групп растений или животных принято рассматривать как естественное свойство биогеоценозов. Последнее считается, в частности, выработанным при эволюционной адаптации биогеоценозов к ритмически организованной среде [Турманина, 1970]. Это же свойство подразумевается при объяснении длительного сосуществования видов в биогеоценозе и выработки у них соответствующих морфологических, физиологических и поведенческих особенностей. Видовое разнообразие на трофическом уровне продуцентов (растительности) полагается обязательным также для обеспечения функциональной стабильности биогеоценозического сообщества [McNaughton, 1978]. Существование структурированного информационного

продукта БП сукцессии фактически подразумевает и известная оценка разнообразия сообществ через индекс Шеннона, определяемый подобно информации H в (1.4) [Shannon, Weaver, 1949; Bowman et al., 1971; Hutcheson, 1970]. То же подразумевает и Р. Риклефс [1979], говоря, что для каждого сообщества, находящегося в стационарном состоянии, характерно определенное сочетание числа и обилия видов на каждом трофическом уровне. При этом автором подчеркивается, что сообщества вновь восстанавливают свою структуру (т.е. структурированный информационный продукт БП) после того или иного нарушения. В случае необратимых нарушений и невозможности формирования необходимого информационного продукта БП сукцессии биогеоценоз как БС деградирует и трансформируется в неустойчивое одновидовое сообщество [Алексеев, 1973]. К выводу об обязательности взаимной адаптации трофических уровней и поддержании определенного соотношения между численностями их особей для образования устойчивого сообщества приходят Г.Ф. Хильми [1966], Б.Д. Абагуров [1979], А.М. Уголев [1989] и другие исследователи. Таким образом, образование, согласно информационному закону, информационных продуктов БП сукцессии лежит в основе всей биогеоценологии, а также трофологии, включая концепцию универсальности строительных и функциональных блоков для процессов питания на различных трофических уровнях [Уголев, 1989]. Информационно-иерархический подход, очевидно, дает возможность управления данными продуктами и ходом сукцессий в биогеоценозах в целях рационального природопользования, например создания устойчивого дисклимакса с максимальной продуктивностью у пастбищных экосистем.

Поскольку состоящие из видов информационные продукты/сообщества БП формируются по завершении каждой фазы сукцессионного/природного цикла, все частные циклы популяций видов должны быть вложены в этот цикл. В связи с этим находит четкое объяснение повторяемость вспышек массового размножения животных, наличие характерных интервалов (3-, 6-, 11-летних и др.) между вспышками, синхронность вспышек у различных видов и их широкое территориальное распространение [Максимов, 1984]. То же объяснение лежит в основе вводимого А.А. Максимовым понятия «временной ниши» вида и сообщества в многолетнем природном цикле. Смена доминантной для вида фазы цикла на недоминантную, называемую также диапаузой, может реализоваться различными способами. Например, у животных видов могут существовать определенные территориальные зоны, называемые «станциями переживания», где вид сохраняется до начала соответствующей благоприятной для его разви-

тия фазы цикла [Наумов, 1948]. Для растений, в большей степени од-нолетних, возможно пролонгирование всхожести семян, в результате чего семена могут сохраняться в почве на протяжении всей диапаузы многие годы.

Заканчивая рассмотрение сукцессионных процессов, укажем на общепризнанную слабую изученность многолетних сукцессий, объясняемую сложностью подобных исследований и отсутствием достаточно точных данных об истории развития экосистем [Тимофеев-Ресовский и др., 1977; Одум, 1986].

3.3.2. Иерархические уровни экосистем

Рассмотрим примеры квантования ИУ и информационные продукты БП у наземных экосистем [Кирста, 1991]. Экосистемы в их традиционном понимании [Tansley, 1935; Реймерс, 1990] отвечают средним и высоким ИУ биосферы. Основным системообразующим компонентом наземных экосистем является растительность, динамика развития которой подчинена ритмике условий среды – суточной, годовой и более длительной. Эта ритмика задает временные циклы БП всех экосистемных ИУ вплоть до ИУ биосферы в целом.

На ИУ, характеризующем посуточную динамику развития растений в целом, имеются два параллельных БП – образование из CO_2 атмосферы органического вещества (ассимилята) и его расход на дыхание растений с высвобождением CO_2 . Оба процесса идут параллельно, зависимы друг от друга и поэтому представляют собой два параллельных БП. Характерным периодом их динамики являются сутки, которые составляют элементарный цикл этих БП. Согласно схеме квантования двух параллельных БП (см. рис. 1.1, в) длительность полного цикла БП будет равна трем суткам, и он будет объединять 6 элементарных суточных циклов – 3 для первого и 3 для второго БП. Полный цикл ассимиляции и высвобождения CO_2 фотосинтезирующими клетками уже охарактеризован в п. 3.2 как цикл синтеза-окисления фруктозы. Рассматривая растение как целостную совокупность фотосинтезирующих клеток, в образуемом ассимиляте как информационном *H*-продукте БП можно выделить два структурных элемента. К первому элементу относится часть ассимилята, теряющаяся в процессе жизнедеятельности за счет темнового дыхания растений и уходящая в виде CO_2 в атмосферу. Ко второму относится оставшаяся часть ассимилята, которая остается в растении и переходит в лабильную фракцию органического вещества, распределяемую между органами растения [Курсанов, 1976]. Расчет данного *H*-продукта выполнен

выше (см. цикл синтеза-окисления фруктозы) и дает информацию, совпадающую с теоретической $H = 0,382$ для схемы квантования двух параллельных БП.

Достаточно интересно образование на рассматриваемом ИУ $|H \ln H|$ -продукта. Здесь растениями используется разбиение фотосинтезирующей биомассы/органов на отдельные последовательно формирующиеся элементы-листья. Аналогичное разбиение выполняется и для нефотосинтезирующих органов, когда у растений прекращается прирост зеленой биомассы. Растения ежедневно распределяют ассимилят на очередной элемент в количестве 38,2% относительно предыдущего элемента. При этом отчисление ассимилята на предыдущий элемент не принадлежит очередному формируемому элементу и является для него лишь мерой (максимальным значением). Тем самым каждому элементу отвечает единственная доля 0,382 и нормированная информация Шеннона $p \times \ln p = 0,382 \times \ln 0,382 = 0,368$ как $|H \ln H|$ -продукт двух параллельных БП (см. табл. 1.1).

Указанные 38,2% отчисления ассимилята приводят, очевидно, к соотношению биомасс/площадей формирующегося и предшествующего элементов-листьев как 0,382 : 1. Переходя к линейным размерам данных элементов, имеем соответственно $\sqrt{0,382} : \sqrt{1} = 0,618 : 1$. Мы получили «золотое» сечение, или «золотую» пропорцию, которая наблюдается во множестве случаев размерных соотношений листьев и членения биомассы в растительном мире. Кроме того, она характеризует соотношение двух последовательных членов известного ряда Фибоначчи. Этот ряд также проявляется в последовательном формировании элементов органов растений, их числе и расположении, что известно как явление филлотаксиса. Таким образом, причиной последнего, как и появления в растительном мире «золотых» пропорций, является собственно информационно-иерархическая организация растений и формирование ими $|H \ln H|$ -продуктов.

Следующий, высший ИУ экосистем характеризует внутригодовую динамику развития растений с полным циклом, равным периоду их годовой вегетации. В цикле выделяются три фазы: развитие растений до цветения, цветение и плодоношение. Эти характерные и близкие по продолжительности фазы выделяются как основные в развитии растений, в частности пустынных [Нечаева, 1958]. БП данного ИУ будет представлять собой распределение образованного органического вещества между органами растений. При этом полный годовой цикл БП, имеющий три фазы, должен включать 33 элементарных 3-суточных циклов (см. рис. 1.1, а). Возьмем в качестве примера однолетние сельскохозяйственные культуры. Основными жизнеобеспечивающими

органами однолетних растений являются листья, корни, стебли и репродуктивные органы. При вегетации на листья с корнями, стебли и репродуктивные органы тратится определенная доля суммарного прироста всего растения, которая характеризуется так называемой ростовой функцией [Росс, 1968]. Воспользуемся экспериментальными данными о таких ростовых функциях для озимой пшеницы, ярового ячменя, овса и картофеля [Полевой, 1983]. По ним можно оценить долю суммарного прироста, приходящегося на каждый орган растений за каждую из трех фаз годового вегетационного цикла. На протяжении первой фазы подавляющая доля вновь образуемого органического вещества отчисляется на листья с корнями, второй фазы – на стебли, третьей фазы – на репродуктивные органы (рис. 3.1).

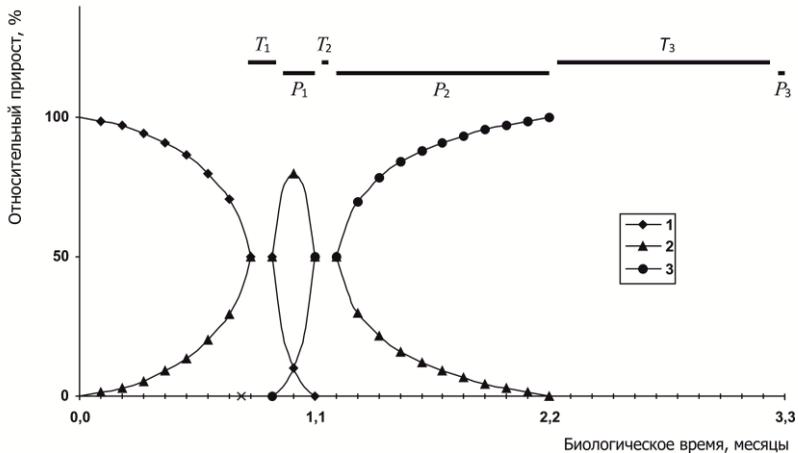


Рис. 3.1. Изменение относительных приростов различных органов растений на протяжении годового вегетационного цикла (использованы данные из [Полевой, 1983]):

прирост листьев с корнями (1), стеблей (2) и генеративных органов (3) выражен в процентах от прироста всей биомассы растения; показаны периоды биологического времени, зависящие (P_1 , P_2 , P_3) и не зависящие (T_1 , T_2 , T_3) от температуры воздуха [Kirsta, Tarabrin, 1994]; значение биологического времени 0,7–0,8 месяца (\times) – период выхода в трубку у пшеницы

Расчет информации H -продукта БП по (1.4) для трех долей ассимилята (как структурных элементов продукта второй фазы) у четырех перечисленных культур дает в пределах точности исходных дан-

ных значение $H \approx 0,68$. Оно совпадает с требуемым для схемы квантования автономного БП с тремя фазами (см. рис. 1.1, *a*, табл. 1.1). Для первой и третьей фаз годового цикла расчет информации H затруднителен, так как используемые в работе [Полевой, 1983] ростовые функции характеризуются по традиционной шкале сумм эффективных температур выше 5 или 7 °С и дают большие погрешности при определении биологического времени (продолжительности активной вегетации растений [Kirsta, Tarabrin, 1994]) в начале и конце вегетации. Из-за отсутствия экспериментальных данных трудно оценить и информацию $|H \ln H|$ -продукта. Можно полагать, что его структурные элементы представлены в каждой из фаз приростами определенных органов растений за счет «старого» (ранее образованного) органического вещества/ассимилята на протяжении периодов T_1 , T_2 , T_3 . Определенное информационно обусловленное соотношение приростов должно иметь место у всех растений как эволюционно развитых систем, причем независимо от экологических условий их развития. Это приводит, в частности, к универсальным соотношениям биомасс (как однолетней, так и многолетней) различных органов для широкого спектра видов семенных растений [Niklas, Enquist, 2002].

При характеристике вегетации растений и прогнозе сроков наступления фенофаз обычно используются суммы эффективных или активных температур (градусо-дни) или аналогичные оценки хода биологического времени [Сабинин, 1963]. Подобный расчет биологического времени (продолжительности активной вегетации) выполнен нами для различных жизненных форм пустынной растительности [Кирста, 1986a]. Чтобы избежать затруднений, связанных с замиранием вегетации при высоких летних температурах, в качестве примера возьмем травы-эфемероиды, которые заканчивают цикл развития до наступления летней жары. Продолжительность их активной вегетации в среднем за 1960–1973 гг. составила 2,56 мес., или $2,56 \times 30,5 = 78$ дней. Учитывая также период прорастания семян в почве, который достигает 20 дней [Нечаева, 1958, с. 117], мы получаем длительность годового вегетационного цикла приблизительно 100 дней активной вегетации. Как уже указывалось, этот цикл включает в себя три фазы и 33 элементарных цикла. Отсюда на каждый элементарный цикл приходится по три дня активной вегетации, что является дополнительным подтверждением рассмотренного выше 3-суточного цикла развития растений. При этом 3-суточный цикл является минимальным промежутком биологического времени, фиксируемым растениями во внутригодовой динамике развития. Здесь растения не различают обычные сутки физического/календарного времени, число которых как в 3-суточных, так и в годовом цикле, может быть различным в зависимости от температуры воздуха. Такая самоор-

ганизация растений приводит, в частности, к квантованности роста их органов [Юсуфов, 1986]. И наконец, проведенные расчеты временных R - и $|R \ln R|$ -продуктов БП внутригодового развития растений (п. 5.3.1) дают полное совпадение переносимой ими информации с теоретической для данного БП с тремя фазами.

В случае годового вегетационного цикла многолетних растений распределение образованного органического вещества следует ожидать подобным распределению у однолетних [Лархер, 1978]. Первой из трех фаз цикла отвечает преимущественное образование фотосинтезирующих зеленых органов с соответствующим приростом корневых. Во второй фазе преимущество переходит к образованию древесных органов. В третьей фазе органическое вещество должно в основном расходоваться на плодоношение и отложение в запас, обеспечивающий начало вегетации следующего года.

Следующий, более высокий ИУ СФО экосистем характеризует динамику растительности на протяжении многолетних периодов. Годовой вегетационный цикл растительности здесь представляет собой элементарный цикл ее развития. Например, в аридных экосистемах видовой состав травяного покрова меняется каждый год. Данные наблюдений в пустыне Каракумы за составом травяного покрова [Нечаева, 1958] дают следующее распределение числа особей между тремя основными экологическими группами трав (в среднем за 12 лет режима заповедования): корневищный многолетник *Carex physodes* – 347 однолетних побегов-особей, злаки – 69 особей, разнотравье – 52 особи. Доли каждой группы трав как структурных элементов H -продукта соотносятся соответственно как 0,74 : 0,15 : 0,11. Расчет информации по (1.4) дает здесь $H \approx 0,68$. Этому значению информации, очевидно, отвечает H -продукт 11-летней фазы автономного БП с тремя фазами и полным циклом в 33 года (см. рис. 1.1, а, табл. 1.1). По истечении последнего должен начинаться новый аналогичный цикл, т.е. мы получаем циклические сукцессии [Ценопопуляции растений, 1988]. Подобные циклические сукцессии описаны, например, для луговых сообществ трав [Шенников, 1941; Номоконов, 1959, 1989]. Их цикл также включает три фазы, из которых первая характеризуется преимущественным развитием экологической группы длиннокорневищных злаков, вторая – рыхлокустовых, третья – плотнокустовых. Смена фаз является строго детерминированной и протекает в форме конкуренции за ресурсы среды. В конце концов луг превращается в болото. Последнее в очередном климатическом (природном) цикле иссушается, и сукцессия повторяется снова.

В качестве еще одного примера отметим классическую сукцессию степных трав [Одум, 1986]. Эта сукцессия характеризуется после-

довательным появлением однолетнего разнотравья (начало сукцессии), затем короткоживущих злаков (3 года спустя) и, наконец, многолетних злаков с двумя стадиями развития: ранней (с 10-го до 20-го года) и климаксовой (с 20-го года до конца сукцессионного цикла). Эти три экологические группы трав включают различное количество видов и могут рассматриваться как структурные элементы трех информационных продуктов, периоды существования которых формируют временной продукт сукцессии в полной аналогии с БП внутри годового прироста органов растений (п. 5.3.1).

Для многолетних растений вегетационный год также является элементарным циклом по отношению к циклу многолетней динамики их развития. У древесных растений аридной зоны выделяются три характерных периода жизни: виргинильный, генеративный и сенильный [Нечаева и др., 1979]. Мы вновь получаем автономный БП их жизненного цикла, состоящий из трех фаз. При такой схеме квантования (см. рис. 1.1, а) продолжительность жизни растений должна составлять приблизительно 33 лет, что близко к наблюдаемой средней продолжительности жизни большинства из них [Нечаева и др., 1973]. Данной схеме квантования соответствует информация $H = 0,682$. По аналогии с рассмотренными выше случаями можно полагать, что информация H -продукта здесь формируется через разделение общего прироста многолетней биомассы по соответствующим органам растений за каждую 11-летнюю фазу их жизненного цикла. Этот прирост в виргинильной фазе наблюдается в основном у веток с многолетними ростовыми побегами, в генеративной – с многолетними генеративными побегами, а в сенильной – опять с вегетативными побегами [Нечаева и др., 1973]. При этом у однолетних побегов число и соотношение их вегетативных и генеративных форм определяется в основном метеоусловиями отдельных лет.

Кратко остановимся на динамике смены доминирующих структурных элементов информационного продукта БП развития растений при переходе от одной фазы цикла БП к другой. Рассмотрим, например, годовой вегетационный цикл однолетних растений одного вида, входящих в фитоценоз. В естественных условиях у них всегда имеется разброс в сроках наступления фенофаз, а значит, и фаз годового цикла их развития [Растительность..., 1970]. Можно ожидать, что для данного вида в целом наступление очередной фазы, выражающееся как доля перешедших в нее особей, будет достаточно плавным. Так, у каждого вида однолетних растений наблюдается одновременно нарастание зеленой фотосинтезирующей биомассы и цветение, цветение и плодоношение, а в середине цикла развития все три состояния – одновре-

менно [Растительность..., 1970]. У многолетних растений динамика перехода к очередной фазе (фенологическому состоянию), очевидно, будет аналогичной, что также подтверждается данными наблюдений [Растительность..., 1970]. На следующем ИУ, характеризующем 33-летний цикл развития многолетних растений, форма перехода от одной фазы к другой также достаточно плавна. Например, переход ко второй фазе, т.е. началу (хотя и слабого) плодоношения, у многолетних растений отмечается не на 11-м году жизни, а уже через 4–5 лет [Нечаева и др., 1973].

Следующий ИУ СФО экосистем характеризует динамику/сукцессию фитоценозов, состоящих из растений различных жизненных форм – деревьев, кустарников, трав, мхов с лишайниками [Нечаева и др., 1973]. Здесь элементарный цикл, согласно иерархическому строению СФО фитоценоза, равен 33 годам. Развитие фитоценозов основано на конкурентных отношениях между растениями. Все БП, в основе которых лежат конкурентные отношения между их составляющими, не могут быть параллельными, поскольку параллельные БП обязательно подразумевают одновременное использование промежуточного продукта первого БП – вторым, промежуточного продукта первого и второго БП – третьим и т.д. Поэтому для ИУ развития фитоценозов мы должны иметь только автономный БП, а информация его H -продуктов, согласно таблице 1.1, не может быть меньше $H = 0,618$. Учитывая, что в аридной зоне зафиксированная длительность естественных неантропогенных сукцессий у растительных сообществ составляет приблизительно 150 лет [Палецкий, 1914], для ИУ их развития можно принять схему квантования БП с двумя фазами (см. рис. 1.1, б). При этом полный временной цикл динамики фитоценозов составит шесть 33-летних элементарных циклов, или $33 \times 6 = 198$ лет, а информация – $H = 0,618$ (см. табл. 1.1). Информационные продукты здесь должны формироваться через распределение растений (в частности, их экологических групп.) по различным жизненным формам. Отметим, что приблизительно этой же информацией должно характеризоваться и конкурентное освоение растительностью жизненного пространства (площади) с лимитирующим ее развитие субстратом – влагой, солнечной радиацией и т.п. Конечным (из трех) информационным продуктом БП сукцессии будет служить климаксовое сообщество фитоценоза.

В экосистемах/биогеоценозах животный мир (консументы) тесно взаимодействует с растительностью (продуцентами), потребляя ее продукцию. В ходе эволюции у экосистем часто вырабатывается сложная трофическая структура видовых сообществ, когда организмы одного трофического уровня потребляют продукцию (биомассу

и накопленную в ней энергию) предыдущего уровня и одновременно выступают как источник питания следующего уровня. В результате такого взаимодействия образуется целостная система, в которой организмы отдельных видов функционируют в виде взаимосвязанных звеньев [Уголев, 1980, 1987]. Продуценты и консументы образуют два параллельных БП: производство растительной массы первыми и ее потребление вторыми с образованием животной биомассы. Этим двум БП, очевидно, отвечает схема квантования с элементарным циклом один год, полным циклом три года и информацией $H = 0,382$ (см. рис. 1.1, в, табл. 1.1). В качестве информационного продукта БП здесь выступает органическое вещество (или эквивалентная ему энергия), образованное продуцентами и распределенное в итоге между продуцентами и консументами. Известно, что в устойчиво функционирующих экосистемах всегда поддерживается определенное соотношение между годовой продукцией растительности и ее потреблением консументами [Хильми, 1966; Абагуров, 1979]. Это распределение продукции, согласно схеме квантования, должно иметь информацию $H = 0,382$. Так, для тропического дождевого девственного леса [Odum, Pigeon, 1970] консументами используется часть его годовой органической продукции, составляющая $1825 \text{ кДж/м}^2/\text{год}$. Из условия стабильности компонентов экосистемы вторую часть продукции следует полагать равной опад, составляющему здесь $22995 \text{ кДж/м}^2/\text{год}$. Тогда соотношение этих частей $1825 : 22995$ в нормированном виде будет $0,074 : 0,926$. Отсюда согласно (1.4) для информационного H -продукта рассматриваемых БП получаем информацию $H \approx 0,38$, совпадающую с теоретическим значением $0,382$ (см. табл. 1.1).

Можно ожидать, что консументы первого и второго уровней [Реймерс, 1990] также формируют два параллельных БП со схемой квантования, аналогичной рассмотренной, и информацией $H = 0,382$. То же, очевидно, можно полагать и для последующих трофических уровней. Из условия $H = 0,382$ для их информационных продуктов несложно найти количество (долю) потребляемого органического вещества, а значит, и интенсивность энергообмена на каждом новом трофическом уровне, начиная с растительности. Согласно (1.4) это потребление составит $7,4\%$. Данная величина соответствует известному эмпирическому закону организации экосистем [Одум, 1986] – биомасса и энергообмен на каждом следующем трофическом уровне составляют приблизительно 10% их значений на предыдущем уровне.

Подчиняющиеся информационному закону трофические отношения между продуцентами и консументами, а также между консументами разных трофических уровней подразумевают длительное сосуществова-

ние разных видов организмов и их взаимную адаптацию. Эта адаптация требует от организмов промежуточных трофических уровней, чтобы они одновременно служили и потребителями биомассы предыдущего уровня, и пищей для организмов следующего уровня. Согласно А.М. Уголеву [1989], такая универсальность функций организмов, составляющая одно из положений трофологии, обеспечивает их совместное процветание как трофических партнеров. Определяемая информационным законом согласованность видового и количественного состава трофических уровней, включая растительность как основной уровень, является принципиальной для существования всех экосистем и, очевидно, должна учитываться при использовании или восстановлении естественных и антропогенных экосистем, в частности пастбищ.

Последовательность ИУ можно продолжить более высокими ИУ вплоть до ИУ земной биосферы в целом как одной БС [Lovelock, Margulis, 1973; Сочава, 1978; Голубец, 1982]. Например, верхним ИУ биосферы отвечают процессы видообразования многоклеточных организмов в водной среде и на суше, представляющие собой взаимосвязанные параллельные БП. Структурными элементами продуктов этих БП служат количества водных и наземных видов организмов. В настоящее время имеется более 1 млн различных видов этих организмов, причем число наземных и водных видов составляет у растений около 92 и 8% их общего числа, а у животных – 93 и 7% [Dobzhansky, 1937; Камшилов, 1979]. Отсюда в пределах точности оценок как для растений, так и для животных мы имеем совпадение рассчитываемой по (1.4) информации H с теоретическим значением $H = 0,382$ для двух параллельных БП. Существование двух параллельных БП видообразования для продуцентов и консументов по отдельности должно означать существование еще одного основного трофического уровня – редуцентов. Можно предполагать, что видовой состав растительности формируется парой параллельных БП видообразования у редуцентов и продуцентов, а у животных – парой БП видообразования у продуцентов и консументов.

Примером информационного продукта БП одного из высоких ИУ биосферы может служить атмосфера Земли. «Газовые массы планеты Земля теснейшим образом связаны с жизнью, с живым веществом, они биогенны в подавляющей своей части», – указывает В.И. Вернадский [1980, с. 137]. Биогенное происхождение атмосферы утверждает и гипотеза Геи Д. Лавлока и Л. Маргелис [Lovelock, Margulis, 1973]. По аналогии с содержанием РНК в клетке выделим структурные элементы атмосферы как продукта БП. Сухой атмосферный воздух в течение последних 50 млн лет имеет следующий состав

(в объемных концентрациях): 78,08% азота, 20,95% кислорода, 0,94% абиогенных газов (инертных и других с пренебрежимо малой концентрацией), 0,03% углекислого газа [Атмосфера, 1970; Шварц, 1976]. При этом содержащаяся в приземном слое атмосферы влага составляет в среднем 1%. С учетом влаги состав воздуха близок к следующему: 77,31% азота, 20,74% кислорода, 0,93% абиогенных газов, 0,03% углекислого газа, 0,99% водяного пара. Расчет газового состава воздуха по (1.4) дает информацию $H \approx 0,38$, которая отвечает схеме квантования двух параллельных БП (см. табл. 1.1).

Продуктом БП высокого ИУ биосферы может выступать и гидроатмосфера Земли. Рассмотрим первичную гидроатмосферу как продукт развития ранней «нефотосинтетической» жизни. Возьмем в качестве структурных элементов две ее составляющие: H_2O и остальные летучие вещества (газы). Восстановление по геохимическим данным состава гидроатмосферы дает (в весовых отношениях) 92,8% H_2O и 7,2% остальных летучих (в том числе углерода как $CO_2 - 5,1\%$, хлора как $Cl_2 - 1,7\%$, азота как $N_2 - 0,24\%$ и т.д.) [Войткевич, 1988]. При этом по количеству летучих гидроатмосфера заметно превышает все то, что могла бы продуцировать первичная земная кора при ее полном разрушении, в частности по H_2O – в 128 раз и по CO_2 – в 83 раза. Используя указанное весовое отношение структурных элементов $0,928 : 0,072$ в (1.4), получаем информацию продукта $H \approx 0,39$. Мы вновь имеем согласно таблице 1.1 два параллельных БП. И в данном, и в предыдущем случаях к этим БП можно отнести процессы развития живого вещества Земли в целом, включая его трансформацию из неорганической в органическую форму и обратно.

Нами рассмотрены молекулярно-генетические, фотосинтетические и экосистемные ИУ из большого числа ИУ СФО биосферы. Очевидно, в дальнейшем предстоит большая работа по выяснению всех ИУ СФО биосферы, схем квантования и информационных продуктов соответствующих БП начиная с ИУ молекулярно-генетических взаимодействий.

3.4. Информационно-иерархическая организация биосферы

Биосфера является наиболее сложной природной системой. На протяжении существования она эволюционно развивалась в условиях ритмически и хаотически меняющихся факторов среды. В ходе эволюции каждый создаваемый ИУ биосферы мог менять схему собственной организации (схему квантования БП) путем выбора значения i или j

(см. рис. 1.1) для наилучшей адаптации к ритмике окружающей среды и тем самым оптимизации функционирования. Очевидным примером здесь может служить адаптация растений к годовым ритмам внешних факторов.

Эволюционно развитые БС подчиняются универсальному закону накопления информации. Именно этот закон обеспечивает устойчивость и эволюционное усложнение иерархически организованных БС при их одновременной адаптации к ритмически организованной среде. Рассмотрим иерархическую СФО биосферы в целом, в том числе как каждый ее ИУ организует бесконечную последовательность циклов функционирования более низкого ИУ. В связи с большим количеством анализируемых биосферных ИУ и их информационных продуктов будем характеризовать преимущественно ритмику ИУ и некоторые из *H*-продуктов, важных для правильного понимания и анализа СФО биосферы.

В соответствии с информационно-физическим законом эволюция биосферы начиналась с формирования низших ИУ биосферы, представленных молекулярно-генетическими системами. После самоорганизации очередного ИУ и его эволюционной стабилизации с достижением максимума информации (1.2а) или (1.2б) начиналось формирование следующего ИУ. Последовательно появляющиеся ИУ образовали в конечном итоге СФО биосферы с максимальной информацией на каждом ИУ. Рассмотрим вкладывающиеся друг в друга ИУ биосферы начиная с ее низших метаболических ИУ (рис. 3.2).

Иерархические уровни 1 и 2. Уровню ИУ-1 отвечает один акт функционирования полиферментных комплексов клетки. Длительность временного цикла (акта) ИУ-1 составляет около 1 с. Эта длительность определяется необходимостью совпадения циклов более высоких ИУ с внешней суточной ритмикой среды. За каждый акт работы комплексов осуществляется перераспределение энергии между их компонентами.

Иерархический уровень 2. Уровню ИУ-2 соответствует полный цикл работы полиферментных комплексов, состоящий из 6 отдельных актов ИУ-1 согласно схеме квантования автономного БП с двумя фазами (см. рис. 1.1). Длительность временного цикла ИУ-2 равна $1 \times 6 = 6$ с. К системам ИУ-2 относятся полиферментные комплексы нециклического, циклического и окислительного фосфорилирования, полиферментный комплекс, обеспечивающий превращение пирувата в ацетил-коэнзим А в ходе гликолиза и др. [Biochemical Pathways, 1993].

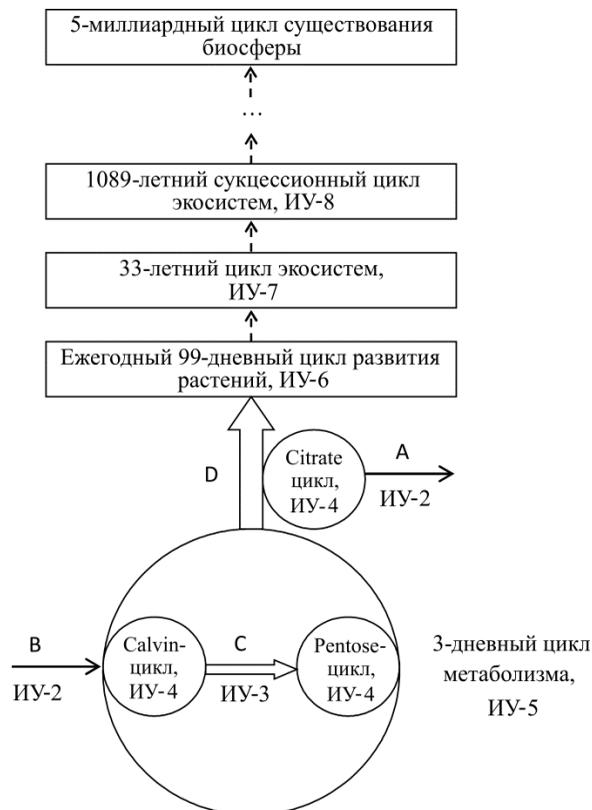


Рис. 3.2. Принципиальная схема информационно-иерархической организации биосферы:

A, B – системы ИУ-2 со схемой квантования автономного БП с двумя фазами (см. рис. 1.1, табл. 1.1) и длительностью цикла 6 с: системы представляют собой перенос электронов при окислительном фосфорилировании (*A*) и при фотосинтетическом фосфорилировании (*B*) [Biochemical Pathways, 1993]; *C* – система ИУ-3 со схемой квантования автономного БП с двумя фазами и длительностью цикла порядка 42 с: система состоит из 6 ферментативных реакций, переводящих молекулы гексоз из Calvin-цикла в pentose-цикл; *D* – специальная (разделительная) система ИУ-3 с уже указанной схемой квантования: система представляет собой сеть метаболических систем ИУ-3 и обеспечивает синтез аминокислот, рибонуклеотидов (GTP, ATP, CTP, UTP) и дезоксирибонуклеотидов (dGTP, dATP, dCTP, dTTP), необходимых для работы системы ИУ-6; малая окружность вокруг названий биохимических циклов обозначает соответствующие метаболические системы ИУ-4 со схемой квантования 7 параллельных БП и длительностью цикла около суток (или меньше суток для Calvin-цикла, работающего в течение светового дня); большая окружность вокруг двух малых обозначает метаболическую систему ИУ-5 со схемой квантования двух параллельных БП и длительностью цикла 3 дня, где БП отвечают работе двух указанных систем ИУ-4; прямоугольником обозначены системы возрастающих по рангу ИУ с длительностью циклов 99 дней и более

В ходе каждого цикла БП этих систем в соответствии с информационным законом происходит распределение химической (поглощенной солнечной) энергии (обычно оцениваемой здесь через электрохимический редокс-потенциал) между различными носителями: протонами H^+ , молекулами O_2 , NADPH, пигментами P_{700} и др. Формирование на ИУ-2 информационных H -продуктов, например, в ходе нециклического и циклического фосфорилирования при фотосинтезе описано выше.

Иерархический уровень 3. ИУ-3 представлен системами из 6 моно- и бисубстратных ферментативных реакций, относящихся к ИУ-2, и имеет схему квантования автономного БП с двумя фазами (см. рис. 1.1). К системам ИУ-3 метаболизма клеток относятся фотодыхание [Гудвин, Мерсер, 1986], превращение D-глицеральдегид-3-фосфата в ацетил-коэнзим А при аэробном гликолизе, β -окисление жирных кислот, синтез дезоксирибонуклеотидов из уридин-5'-фосфата или из инозин-5'-фосфата, превращение сукцинил-коэнзима А в цитрат при работе цитратного цикла (citrate-цикла), где преобразование сукцината в фумарат выполняется за две последовательные реакции, и многие другие [Biochemical Pathways, 1993]. К этому уровню относятся наибольшее число систем клеточного метаболизма, которые формируют целостную сеть реакций (см. рис. 3.2, D). Каждая система ИУ-3, входящая в сеть, должна отделяться от аналогичных ей систем одним (предыдущим или последующим) элементарным для ИУ-3 циклом работы какой-либо системы ИУ-2. Одним из примеров такой разделительной системы может служить реакция превращения оротидина-5'-фосфата в уридин-5'-фосфат, выполняющаяся полиферментным комплексом и отделяющая две системы ИУ-3 по синтезу соответственно dCTP и dTTP из уридин-5'-фосфата от предшествующей им системы ИУ-3 синтеза оротидина-5'-фосфата [Biochemical Pathways, 1993]. Таким образом, общее время циклического функционирования систем ИУ-3 со схемой квантования автономного БП с двумя фазами и разделительной системой ИУ-2 должно составить около $6 \times 6 + 6 = 42$ с. Первые $6 \times 6 = 36$ с из цикла рассматриваемой сети необходимы для выполнения системами ИУ-3 собственной схемы квантования (см. рис. 1.1, б), включающей шесть 6-секундных циклов ИУ-2. После этого разделительные системы ИУ-2 реализуют собственный 6-секундный цикл функционирования. В целом на уровне ИУ-3 в ходе БП происходит распределение энергии, полученной от систем ИУ-2, между общими для всего метаболизма молекулами-энергоносителями (АТФ, NADH, NADPH, $FADH_2$ и др.). Напомним, что традиционно эта энергия характеризуется как свободная энергия химических связей.

В ходе БП согласно схеме квантования автономного БП с двумя фазами (см. табл. 1.1) и уравнению (1.2а) для каждой из фаз должны формироваться свои информационные энергетические/вещественные продукты. В качестве примера можно воспользоваться аэробным гликолизом, который может функционировать отдельно от citrate-цикла или других биохимических циклов и поэтому формирует собственные информационные продукты. При гликолизе за первую фазу от D-глицеральдегид-3-фосфата до 2-фосфо-D-глицерата синтезируются 1 молекула NADPH и 1 молекула ATP [Biochemical Pathways, 1993]. За вторую фазу от 2-фосфо-D-глицерата до ацетил-коэнзима А (здесь превращение пирувата в ацетил-коэнзим А является одной полиферментной реакцией, являющейся системой ИУ-2) синтезируются ATP и NADH. Для живых клеток свободная энергия ATP составляет около 42 кДж/моль [Полевой, 1989]. Оценка свободной энергии NADPH (или NADH) по редокс-потенциалу, в свою очередь, дает 235 кДж/моль (п. 3.2). Отсюда энергии ATP и NADPH (или NADH) как структурных элементов первого (или второго) *H*-продукта находятся в соотношении $[42 \text{ кДж/моль} \times (1 \text{ моль ATP}) = 42 \text{ кДж}] : [235 \text{ кДж/моль} \times (1 \text{ моль NADPH}) = 235 \text{ кДж}]$, или в долях 0,152 : 0,848. Подставляя последние в (1.4), получаем для первого и второго *H*-продуктов информацию $H = 0,618$, требуемую схемой квантования автономного БП с двумя фазами (см. табл. 1.1).

Иерархический уровень 4. Уровню ИУ-4 отвечают замкнутые биохимические циклы моно- и бисубстратных реакций, функционирующие как системы 7 параллельных БП (см. рис. 3.2). Согласно схеме квантования (см. табл. 1.2) временной цикл работы систем ИУ-4 равен $(42 \text{ с}) \times 2035 \approx 1 \text{ сут}$. На этом уровне обеспечивается необходимое для оптимального функционирования биохимических систем совпадение их ритмики (схем квантования) с суточной ритмикой внешних факторов (освещения, температуры и др.). Именно здесь в конечном итоге определяются длительности циклов ИУ-3, ИУ-2, ИУ-1, вкладывающиеся друг в друга согласно жестким схемам квантования. В частности, по этой причине Calvin-цикл, обеспечивающий процесс фотосинтеза у растений, подстроен в среднем под 12-часовую длительность непосредственно светового дня. Кроме Calvin-цикла, к системам ИУ-4 относятся pentose- и citrate-циклы. Отметим, что у citrate-цикла превращение 2-оксоглутарата в сукцинил-коэнзим А происходит за 4 биохимических реакции, входящие в число 7 параллельных БП этого цикла. Любая последовательность реакций, замкнутая в биохимический цикл, является, очевидно, системой из параллельных БП. При этом она должна иметь начало и конец функционирования своих БП. Для

Calvin-, pentose- и citrate-циклов это достигается введением системы-разделителя начала и конца функционирования параллельных БП. В качестве разделителя используются соответствующие системы предшествующего уровня ИУ-3, состоящие из 6 последовательных моно- и бисубстратных реакций. Например, для citrate-цикла такой разделительной/элементарной системой ИУ-3 является превращение сукцинил-коэнзима А в цитрат [Biochemical Pathways, 1993]. В целом системы ИУ-4 из 7 параллельных БП переводят свободную энергию молекул-энергоносителей уровня ИУ-3 в свободную энергию отдельных ключевых для метаболизма углеводов молекул.

Согласно схеме квантования 7 параллельных БП (см. табл. 1.2) и уравнению (1.2б) в системах ИУ-4 должны формироваться информационные энергетические/вещественные продукты, общие для всех БП. Например, для Calvin-цикла, а также для pentose-цикла *H*-продуктом является β-D-фруктозо-1,6-дифосфат (п. 3.2). Для citrate-цикла *H*-продуктом служит сукцинил-коэнзим А. Последний формируется путем наращивания на углеводном фрагменте $\text{CH}_3\text{-CO-}$, вводимом в citrate-цикл из сети ИУ-3 (см. рис. 3.2, *D*), двух углеводов (двух атомов углерода) и одной тиоэфирной связи с коэнзимом А. Свободная энергия углевода составляет 480 кДж/моль, а тиоэфирной связи – приблизительно 32 кДж/моль [Ленинджер, 1985; Гудвин, Мерсер, 1986]. Отсюда получаем соотношение $[480 \text{ кДж/моль} \times (2 \text{ моль}) = 960 \text{ кДж}] : [32 \text{ кДж/моль} \times (1 \text{ моль}) = 32 \text{ кДж}]$, или в долях 0,968 : 0,032, для двух структурных элементов *H*-продукта. Подстановка соотношения в уравнение (1.4) дает требуемую схемой квантования 7 параллельных БП информацию $H = 0,203$ (см. табл. 1.2).

Иерархический уровень 5. ИУ-5 относится к СФО растительности, являющейся основным энергообеспечивающим компонентом биосферы. Организация ИУ-5 у растительных клеток (см. рис. 3.2) отличается от организации ИУ-5 у животных клеток, которая рассмотрена в главе 4. У растений система ИУ-5 формируется как два параллельных БП, которые представлены Calvin- и pentose-циклами соответственно. Схема квантования двух параллельных БП (см. рис. 1.1) дает длительность временного цикла ИУ-5, равную $1 \times 3 = 3$ сут. Чтобы Calvin- и pentose-циклы функционировали как два параллельных БП, между ними находится разделительная система ИУ-3, состоящая из 6 ферментативных реакций (см. рис. 3.2, *C*). Эти реакции формально (не рассматривая синтез крахмала) можно отсчитывать от β-D-фруктозы-6-фосфата из Calvin-цикла до β-D-фруктозы-6-фосфата из pentose-цикла [Biochemical Pathways, 1993]. Система ИУ-5 в целом также должна иметь разделительную систему, относящуюся уже к ИУ-4. Эта

система представлена в растительных клетках citrate-циклом в митохондриях (см. рис. 3.2). Разделительный citrate-цикл, в свою очередь, отделяется от других систем ИУ-4 (других циклов из 7 параллельных БП) специальной разделительной системой ИУ-3, представляющей собой сеть систем ИУ-3 (см. рис. 3.2, *D*). Разделительной системой, но более низкого уровня ИУ-2 для citrate-цикла и сети ИУ-3 является окислительное фосфорилирование (см. рис. 3.2, *A*).

В растительных клетках цикл синтеза жирных кислот состоит из 6 ферментативных реакций ИУ-2 и поэтому вместе с β -окислением жирных кислот является компонентом указанной сети ИУ-3. Это приводит к тому, что citrate-цикл служит разделительной системой ИУ-4 и не является параллельным БП к pentose-циклу, как это имеет место в животных клетках. Необходимым компонентом сети ИУ-3 является также фотодыхание [Гудвин, Мерсер, 1986]. Фотодыхание состоит из 6 последовательных ферментативных реакций, обеспечивающих превращение фосфогликолата (поступающего из Calvin-цикла) в глицин, а затем в 3-фосфо-D-глицерат (поступающий обратно в Calvin-цикл).

Наконец, следует отметить, что в прорастающих семенах растений отсутствует фотосинтез и Calvin-цикл не работает. Поэтому рассматриваемая система ИУ-5 не образуется, хотя остается pentose-цикл как система ИУ-4. В связи с этим существование citrate-цикла как разделительного к отсутствующей системе ИУ-5 становится недопустимым. Именно по этой причине в прорастающих семенах citrate-цикл заменяется глиоксилатным циклом [Ленинджер, 1985; Biochemical Pathways, 1993], являющимся уже частью той же сети ИУ-3. Последняя становится разделительной системой уже к pentose-циклу, относящемуся к ИУ-4.

На уровне ИУ-5 в ходе БП осуществляется разделение поглощенных при фотосинтезе и превращенных в карбогидраты атомов углерода на две функционально противоположные доли (химические соединения) – одна доля используется клеткой для дальнейших метаболических превращений, а другая не используется и выводится из клетки (ср. с синтезом-окислением фруктозы в п. 3.2). Таким образом, информационный *H*-продукт в системе ИУ-5 имеет два структурных элемента. Первый элемент – это 2 молекулы гексоз (2 фруктозы или 2 глюкозы) с 6 атомами углерода каждая, которые образуются за два оборота Calvin-цикла. Второй элемент – это молекула CO_2 с одним атомом углерода, высвобождающаяся из системы метаболизма клетки (и имеющая сопутствующую молекулу NH_3 при превращении глицина в L-серин [Гудвин, Мерсер, 1986]) в ходе фотодыхания также за два оборота Calvin-цикла. Соотношение атомов углерода у этих элементов

H -продукта равно 12 : 1, или 0,923 : 0,077. Подстановка соотношения в уравнение (1.4) дает информацию H , близкую к значению 0,382, как это требуется схемой квантования двух параллельных БП (см. табл. 1.1).

Для образования в Calvin-цикле двух молекул гексоз как продукта БП при фотосинтезе поглощается две молекулы CO_2 (п. 3.2). Поэтому при работе системы ИУ-5, состоящей из Calvin- и pentose-циклов как двух параллельных БП, в целом поглощаются две и высвобождается одна молекула CO_2 . Тем самым эффективность фотосинтетической активности системы ИУ-5 (например, фотосинтеза у C_3 -растений) составляет 50%. Это подтверждается экспериментальными данными по максимальным значениям фотодыхания [Ленинджер, 1985], когда высвобождаемые молекулы CO_2 не используются растением повторно на фотосинтез.

В соответствии с изложенным находит четкое объяснение существование фотодыхания. Оно требуется для образования иерархической СФО метаболизма фотосинтезирующих клеток. Поэтому все попытки генетиков и физиологов повысить продуктивность C_3 -растений путем уменьшения или исключения фотодыхания [Гудвин, Мерсер, 1986], которое считается ненужным для фотосинтеза [Ленинджер, 1985], являются бесполезными.

Иерархический уровень 6. ИУ-6 отвечает ежегодному сезонному развитию растений. ИУ-6 имеет схему квантования автономного БП с тремя фазами (см. рис. 1.1) и длительность временного цикла $3 \times 33 = 99$ дней. Эта длительность характеризует биологическое время, требующееся для прохождения полного цикла вегетации в теплый период года, например, однолетними культурами [Kirsta, Tarabrin, 1994]. Ход биологического времени при этом не совпадает с календарным и определяется температурой воздуха, от которой зависит скорость протекания всех биохимических реакций в растительной клетке. В рассматриваемой системе ИУ-6 создание информационных энергетических/вещественных продуктов обеспечивается через определенные приросты биомассы различных органов растений, а временных продуктов – через характерные периоды этого прироста (п. 5.3.1).

Иерархический уровень 7. Уровень ИУ-7 отвечает экосистемам, состоящим из различных видов растений и относится к классическим экологическим ИУ возрастающих рангов. Данный уровень, как и ИУ-6, имеет схему квантования автономного БП с тремя фазами (см. рис. 1.1). Длительность временного цикла здесь можно измерять в календарных годах, если в них формально включить и теплый период с вегетацией, и зимний период с отсутствием вегетации растений.

Тогда временной цикл ИУ-7 составит 1 год \times 33 = 33 года. Сейчас трудно точно сказать, какая ритмика среды стала причиной выбора в ходе эволюции именно такого цикла и схемы квантования. В любом случае объективно нет необходимости в точном совпадении циклов ИУ биосферы с внешней ритмикой, поскольку БС могут подчинять ход своего биологического времени такой ритмике. Например, рассматриваемый цикл ИУ-7 очень близок циклу планетарных колебаний климата в 23–35 лет [Олейников, 1987, с. 117] и известному брикнеровскому климатическому циклу со средней длительностью около 35 лет [Сазонов, 1979]. Цикл ИУ-7 также кратен 11-летнему циклу солнечной активности. В целом системы ИУ-7 очень разнообразны из-за обилия видов растений и различных климатических условий их местообитания. В качестве БП для экосистем ИУ-7 служат, например, сукцессии травянистой растительности степей [Одум, 1986], в ходе которых закономерно изменяется количество видов в различных экологических группах трав и тем самым формируются необходимые информационные энергетические/вещественные и временные продукты (п. 3.3.2).

В экосистемах помимо растительности имеются и животные. Они используют в качестве питания растительную биомассу, формируя тем самым два трофических уровня – продуцентов и консументов. Этим уровням отвечают два параллельных БП – образование органического вещества растениями и потребление этого вещества животными. Согласно схеме квантования двух параллельных БП (см. рис. 1.1, б) временной цикл здесь составляет 3 года. Таким образом, в экосистемах дополнительно к их основной иерархической СФО (см. рис. 3.2) добавляется, как мы ее будем называть, *сопутствующая* система, не изменяющая основную СФО растительности и имеющая иную ритмику. Аналогично консументы 2-го, 3-го и более высоких порядков также будут образовывать сопутствующие системы, не затрагивающие организацию более низких трофических уровней.

Иерархический уровень 8. Уровню ИУ-8 отвечают экосистемы более высокого ранга по сравнению с ИУ-7. ИУ-8 также имеет схему квантования автономного БП с тремя фазами (см. рис. 1.1). Длительность временного цикла ИУ-8 равна $33 \text{ года} \times 33 = 1089 \text{ лет}$. Так же как в случае суточного цикла ИУ-4, ежегодного 99-дневного цикла ИУ-6 и 33-летнего цикла ИУ-7, временной цикл ИУ-8 совпадает с наблюдающейся климатической ритмикой 1000–1500 лет [Зубаков, 1986]. Системы ИУ-8 представлены различными экосистемами, состоящими из разных видов растительности в зависимости от имеющихся климатических и географических зон. Автономные БП этих экосистем

представляют собой хорошо известные 1000-летние первичные сукцессии, при которых заново формируется почвенный покров и закономерно меняется видовой состав растительности, включая древесную [Одум, 1986]. Следует отметить, что помимо первичных имеются также вторичные сукцессии, выполняющиеся по схеме квантования автономного БП с двумя фазами (см. рис. 1.1, б) с временным циклом около $33 \times 6 = 198$ лет [Риклефс, 1979; Одум, 1986].

Высокие иерархические уровни. Следующие, более высокие ИУ биосферы из-за отсутствия соответствующих палеоэкологических данных можно выделить ориентировочно на основе палеоклиматических данных. Для этого можно воспользоваться известными циклическими изменениями климата и развития органического мира с периодичностью 3–6, 40, 400 и 1200 тыс. лет [Максимов, 1972; Зубаков, 1986, 1990]. Существованию этих циклов могут удовлетворять следующие схемы квантования ИУ (см. рис. 1.1):

- автономный БП с двумя фазами и циклом $1089 \times 6 \approx 6500$ лет для ИУ-9;
- автономный БП с двумя фазами и циклом $6500 \times 6 \approx 39$ тыс. лет для ИУ-10;
- 3 параллельных БП с циклом $39000 \times 11 \approx 430$ тыс. лет для ИУ-11;
- 2 параллельных БП с циклом $430000 \times 3 \approx 1290$ тыс. лет для ИУ-12.

Последовательность возрастающих по рангу ИУ биосферы, очевидно, ограничена существованием Солнечной системы. Наша Солнечная система также подчиняется информационному закону и имеет цикл взрывов сверхновой в 5 млрд лет со схемой квантования двух параллельных БП (п. 2.3). Очевидно, что разрушение планет после каждого взрыва не означает полного уничтожения органической материи, возможно, существовавшей на них. Некоторая часть материи могла рассеиваться в пространстве, после чего «старый» генетический материал получал новый цикл развития на подходящей планете во вновь образованной Солнечной системе. Подобная органическая материя (окаменевшие синезеленые водоросли) найдена, как известно, в метеоритах. Таким образом, длительность цикла наивысшего по рангу ИУ биосферы Земли можно полагать равным циклу взрывов сверхновой в 5 млрд лет.

Развитие биосферы и биосферные часы. Согласно схемам квантования БП (см. рис. 1.1) длительность временных циклов каждого ИУ биосферы превышает длительность циклов предшествующего ИУ в определенное число раз. Это означает, что во столько же раз увеличивается и характерная продолжительность всех процессов ИУ по сравнению с предшествующим ИУ. В результате скорость эволю-

ции БС в прошлом скачкообразно замедлялась по мере построения каждого нового ИУ биосферы (п. 2.1). ИУ биосферы последовательно самоорганизовывались начиная с молекулярно-генетических ИУ так, чтобы общая информация каждого ИУ согласно уравнениям (1.2а), (1.2б) достигала максимума. Все БС, появляющиеся на вновь создаваемом ИУ и не удовлетворяющие информационному закону, «выпадали» из иерархической СФО биосферы, равно как и процесса ее эволюции, и исчезали. Это позволяет расширить концепцию дарвиновского естественного отбора и включить в нее информационный закон.

Каждый эволюционно сформированный ИУ биосферы характеризуется временным циклом, определяемым соответствующей схемой квантования. В то же время циклы ИУ должны совпадать с постоянными ритмами окружающей среды: суточными, годовыми и др. Каждая биосферная система подчинится этим двум условиям одновременно путем создания собственного времени. Это время называется «квантами жизни» [Backman, 1943], «метаболическим» [Левич, 1989], «биологическими часами» [Winfree, 1987] или «реальным биологическим» [Kirsta, Tarabrin, 1994]. Схемы квантования, по сути, представляют собой шкалы отсчета собственного времени ИУ, подобно тому как 60 с составляют 1 мин, 60 мин – 1 ч, 24 ч – 1 сут. и т.д. Другими словами, биосфера формирует многоуровневые «биосферные часы», отсчитывающие реальное биологическое время всех БС. Шкалы этих часов последовательно объединяются согласно схемам квантования ИУ биосферы (см. рис. 3.2). Одновременно они согласованы с ритмикой основных факторов окружающей среды. Шкалы не меняются, пока существует биосферная СФО, и определяют все регулярные изменения в биосфере. Понятие биосферных часов, очевидно, гораздо шире, чем биологических часов, поиски которых были ограничены ритмической организацией биохимических и физиологических процессов у организмов [Уинфри, 1990] и поэтому не дали результатов.

Таким образом, чтобы оценить текущее состояние биосферы и предсказать ее развитие, необходимо знать, как работают ее часы и какое биосферное время они показывают. Это первая фундаментальная проблема, требующая решения.

Вторая проблема заключается в нахождении для каждого ИУ биосферы информационных энергетических/вещественных и временных продуктов, переносящих отвечающую этим ИУ информацию (см. табл. 1.1 и 1.2). Решение этой проблемы позволит оценить текущее состояние экосистемных ИУ, нарушенных в результате деятельности человека, и восстановить их при необходимости.

Известно, что в результате жизнедеятельности БС происходит постоянное изменение среды их обитания. Поэтому БС вынуждены адаптироваться к меняющейся среде. Адаптация БС осуществляется через механизм мутагенеза. Именно мутагенез обеспечивает все ИУ биосферы модифицированными БС с различными вариациями СФО. Эти БС подвергаются классическому естественному отбору по наилучшей приспособленности к изменившемуся окружению. При отборе динамика БС должна подчиняться схемам квантования соответствующих ИУ. Иначе говоря, на каждом ИУ все БС подвергаются циклической эволюции, что полностью согласуется с традиционными представлениями об эволюции живого вещества [Шмальгаузен, 1968б]. Такие циклы эволюции БС отдельных ИУ вместе образуют сложную эволюционную иерархическую спираль, которая состоит из многих спиралей, наложенных друг на друга согласно схемам квантования биосферных ИУ. Известные микро- и макроэволюция [Колчинский, 1990] представляют собой такие спирали, включенные в общую спираль эволюции биосферы.

В соответствии с изложенным мутагенез обеспечивает появление видов организмов как структурных элементов информационных продуктов в экосистемах. Знание этих продуктов необходимо для восстановления нарушенных экосистем. Тогда появляется третья проблема: каким образом следует использовать традиционную таксономическую классификацию растительного и животного царств для разработки новой классификации организмов, составляющих информационные продукты экосистемных ИУ биосферы.

С формальной точки зрения ИУ всех БС, включая биосферу, следует отсчитывать от ИУ элементарных частиц, который имеет вырожденную схему квантования (см. главу 1). Заполнение промежутка от этого ИУ до ИУ с 1-секундным циклом (см. рис. 3.2) является задачей физиков и биофизиков. В свою очередь, заполнение промежутка между ИУ с 1089-летним циклом и ИУ с 5-миллиардным циклом является задачей палеоэкологов. При этом в первую очередь необходимо выяснение роли различных таксонов растительного и животного царств в формировании информационных продуктов высших ИУ биосферы.

Выводы

1. СФО всех природных БС имеет пирамидальное информационно-иерархическое строение с четко выделяемыми ИУ. Каждому ИУ отвечают свои БС, являющиеся одновременно подсистемами БС следующего, более высокого ИУ.

2. Временные циклы функционирования каждого ИУ вложены определенное число раз в более крупный цикл, отвечающий следующему, более высокому ИУ. Такая вложенность циклов означает существование иерархических биологических часов у каждой БС. Эти часы имеют вкладывающиеся по схемам квантования циклы/шкалы отсчета внутреннего времени подобно традиционному отсчету времени в виде секунд, минут, часов, дней и т.д.
3. Выявлены иерархическая СФО метаболизма растительных клеток и давно искомый центральный механизм биологических часов, отвечающий этой СФО. Отсчет времени этими часами охарактеризован начиная с секундных циклов функционирования ферментов метаболизма клеток.
4. Эволюционно сформированная СФО биосферы представляет собой единую информационно-иерархическую организацию начиная с молекулярно-генетических ИУ, ИУ субклеточных структур, клеток, организмов, экосистем и т.д. до биосферы Земли в целом. Показано существование иерархических биосферных часов, частью которых на нижних ИУ являются биологические часы. Длительность вкладывающихся друг в друга циклов/шкал отсчета времени у СФО биосферы составляет 1, 6, 42 с, 24 ч, 3, 99 дней, 33, 1089 лет и т.д. биологического времени.
5. У фотосинтетических ИУ биосферы информационным продуктом БП является свободная энергия, распределение которой по разным молекулам-энергоносителям характеризуется строго определенной информацией. Эта энергия используется и последовательно перераспределяется на более высоких ИУ, чем обеспечивается существование и целостность всей пирамидальной информационно-иерархической организации биосферы. У экосистемных ИУ продуктом БП являются сообщества организмов. Так, в ходе растительной сукцессии как БП формируется информационный продукт/сообщество, состоящее из различных жизненных форм растений и характеризующееся соответствующей информацией.
6. Проявление в растительном мире «золотых» пропорций в членении биомассы, равно как и ряда Фибоначчи, обусловлено формированием растениями соответствующих информационных продуктов БП.
7. Выделены новые научные области исследований – информационная биохимия, биология и экология.

Глава 4

АНАЛИЗ ИНФОРМАЦИОННО-ИЕРАРХИЧЕСКОЙ ОРГАНИЗАЦИИ СОЦИОСФЕРЫ И ПРОБЛЕМЫ ЕЕ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ

Мы рассмотрим человеческое общество в рамках системного информационно-иерархического подхода как эволюционно развитую социально-биологическую систему. Эту систему мы будем называть социосферой. До образования собственной социосферы люди представляли собой биологический вид, встроенный в СФО биосферы подобно всем консументам. Человек стал Человеком, когда «вышел» из этой СФО и выработал собственную социальную организацию. Выход из подчинения биосфере позволил человеку ее хищнически эксплуатировать и, как результат, распространиться по всему земному шару.

Наиболее высокие ИУ в иерархической СФО социосферы организованы как деятельность самого человека, и их можно анализировать отдельно в качестве социальной части социосферы. Низшему из этих ИУ мы сопоставим собственно человеческую жизнь. Рассматривая последовательно все более высокие ИУ, мы увидим, что «общество следует законам развития, даже если пытается эти законы игнорировать» [Реймерс, 1994, с. 325].

4.1. Анализ исторического развития человеческого общества

4.1.1. Основные циклы развития

Жизненный цикл развития человека. Средняя продолжительность жизни, очевидно, может служить характерным периодом для смены поколений и развития человеческого общества как биологической системы. При этом годовой цикл изменения факторов среды задает ритмику нашей жизни и используется при отсчете времени всех процессов в обществе. Поэтому его можно принять за элементарный цикл, на основе которого строится ИУ человеческой жизни. С полным циклом ИУ естественно соотнести продолжительность человеческой жизни. Выясним схему квантования данного ИУ социосферы.

Согласно Дж. Уайнеру [1979] средняя продолжительность жизни человека на протяжении I–XIX вв. н.э. была достаточно стабильна и близка к 30–33 годам. Вопрос об увеличении этой продолжительности в наше время мы рассмотрим позже. Имеется только одна схема квантования, обеспечивающая указанную продолжительность. Она отвечает автономному БП с тремя фазами и включает 33 элементарных цикла, как показано на рисунке 1.1, а. Очевидно, что ИУ человеческой жизни аналогичен ИУ экосистем с 33-летним циклом функционирования, поскольку и биосфера, и социосфера развивались в одних и тех же ритмических условиях среды. В отличие от биосферы у людей начало циклов функционирования организмов разбросано как в пределах года, так и в пределах 33-летнего цикла социосферы, поскольку их рождение приходится на разные месяцы и годы. Поэтому чтобы обеспечить возможность организации высоких ИУ, социосфера должна стабилизировать 33-летний цикл ИУ человеческой жизни в среднем.

Развитие этносов. Следующий ИУ социосферы также должен иметь временной цикл, определяемый конкретной схемой квантования, использующей уже 33-летний элементарный цикл. Чтобы найти эту схему, воспользуемся результатами сквозного статистического анализа истории человеческого общества, выполненного А.Т. Фоменко [1990]. Данный автор проанализировал 15 основных хронологических таблиц и 228 фундаментальных оригинальных работ, охватывающих период с 4000 г. до н. э. по 1800 г. н.э. В результате он выделил характерные последовательности-двойники исторических событий и режимов правлений. Эти последовательности-двойники оказались сдвинутыми относительно друг друга во времени на 330 и 1050 лет. Полученные 330- и 1050-летние периоды, очевидно, определяются искомой схемой квантования. Имеется только одна схема, удовлетворяющая этим периодам. Схеме отвечает автономный БП с тремя фазами и 1089-летним полным циклом (см. рис. 1.1, а). В пределах погрешности исходных данных указанные 330 лет соответствуют одной фазе БП, а 1050 лет – полному циклу ИУ.

Необходимо выяснить, какая система человеческого общества составляет основу социосферного ИУ с 1089-летним циклом. Такую естественную социально-биологическую систему выявил Л.Н. Гумилев [1989, 1990] – это этническая система, или этнос, возникающий после обновления генофонда людей природным мутагенным толчком, связанный с ландшафтом и отличающийся от других этносов стереотипом поведения и взглядом на мир. Проанализировав около 40 этносов, Л.Н. Гумилев показал, что их развитие длится 1200–1500 лет. Иногда этносы существуют и дольше, но уже как обычная популяция

в состоянии гомеостаза без какого-либо развития. По истечении приблизительно 1000 лет каждый этнос вступает в период «обскурации», а затем в «мемориальный» период, если последний вообще наступает. Каждый период длится около 200 лет, т.е. соответствует схеме квантования автономного БП с двумя фазами и временным циклом, равным $33 \times 6 = 198 \approx 200$ лет (см. рис. 1.1, б). Тем самым 1089-летний цикл развития этноса сопровождается более коротким 198-летним циклом(ами), стагнации/деградации этноса. Этот цикл, как легко видеть, полностью аналогичен 198-летнему циклу вторичных сукцессий растительности, которые существуют наряду с 1089-летними циклами первичных сукцессий [Одум, 1986; Kirsta, 2001]. Далее мы будем называть социосферный ИУ с 1089-летним циклом развития этническим ИУ.

Можно теоретически рассчитать информационные временные продукты для этнического ИУ. Для этого воспользуемся аналогией с БП прироста органов растений в ходе однолетней вегетации, также имеющего 3 фазы (п. 5.3.1). У растений временные R - и $|R \ln R|$ -продукты формируются с помощью характерных периодов этого прироста T_1, T_2, T_3 и P_1, P_2, P_3 соответственно. Эти периоды чередуются в ходе полного цикла следующим образом: подготовительный период, $T_1, P_1, T_2, P_2, T_3, P_3$. При этом T_1 является периодом существования энергетического/вещественного H -продукта первой фазы, T_2 – второй фазы и T_3 – третьей фазы. Поэтому T_1 начинается и кончается в первой, T_2 – во второй и T_3 – в третьей фазах. В случае этнического ИУ для расчета искомых структурных элементов T_1, T_2, T_3 и P_1, P_2, P_3 примем следующие исходные положения:

- в ходе 1089-летнего цикла развития этноса информации R и $|R \ln R|$ поддерживаются постоянными. Подразумевается, что рассчитываемая по (1.4) информация R будет одинаковой как для T_1, T_2 (до начала T_3), так и для T_1, T_2, T_3 (по завершении полного цикла). Аналогично информация $|R \ln R|$ будет одинакова для P_1, P_2 и для P_1, P_2, P_3 ;
- продолжительность $T_1 + T_2 + T_3$ и продолжительность $P_1 + P_2 + P_3$ должны быть минимальны, чтобы обеспечить максимальную длительность подготовительного периода (временного промежутка до начала T_1) и тем самым наилучшую подготовку этнической системы к формированию информационных продуктов в условиях различных политических, военных и других воздействий на нее со стороны других этносов;

- минимальным структурным элементом (периодом времени), допустимым для информационных продуктов этнического ИУ, являются два годовых цикла. Они необходимы для того, чтобы все люди с разными датами рождения (распределенными по всему году) завершили годовой цикл развития и тем самым был бы полностью выполнен годовой цикл развития социосферы.

Исходя из этих положений, уравнения (1.4) и значений $R = 0,318$, $|R \ln R| = 0,364$ для имеющейся у этнического ИУ схемы квантования автономного БП с тремя фазами (см. табл. 1.1), получаем следующие структурные элементы информационных R - и $|R \ln R|$ -продуктов соответственно:

$$\begin{array}{lll} T_1 = 2, & T_2 = 33, & T_3 = 312; \\ P_1 = 441, & P_2 = 33, & P_3 = 18 \text{ (годы)}. \end{array}$$

ИУ человеческой жизни и этнический ИУ имеют одинаковые схемы квантования автономного БП с тремя фазами (см. табл. 1.1). В случае только что появившегося ИУ (более высокие ИУ системы отсутствуют) полные циклы данных ИУ вместо 33 содержат 31,8 элементарных циклов согласно более точному решению уравнения (1.3а). Причиной этого является отсутствие у факторов среды жесткой 33-летней ($1 \text{ год} \times 33$) и 1089-летней ($33 \text{ года} \times 33$) ритмики. Поэтому полученные продолжительности структурных элементов следует уменьшить в $(31,8/33)^2 = 0,929$ раз. В результате окончательно имеем:

$$\begin{array}{lll} T_1 = 2, & T_2 = 31, & T_3 = 290, \\ P_1 = 410, & P_2 = 31, & P_3 = 17 \text{ (годы)}. \end{array} \quad (4.1)$$

При этом подготовительный период этнической системы к формированию информационных продуктов (от начала цикла ИУ-8 до T_1) составит $1089 \times 0,929 - (T_1 + T_2 + T_3 + P_1 + P_2 + P_3) \approx 231$ год.

Периоды T_1, T_2, T_3 являются одним, а P_1, P_2, P_3 – другим информационным продуктом и должны отвечать двум типам внутрисистемного времени этнической системы. Эти типы внутрисистемного времени – физический и биологический – установлены ранее на примере годового цикла развития растений ([Kirsta, Tarabrin, 1994]; п. 5.3.1). T_1, T_2, T_3 образуются на основе хода физического времени, а P_1, P_2, P_3 и подготовительный период – на основе биологического, отражающего количество прошедших временных циклов низких ИУ. Поэтому T_1, T_2, T_3 у растений и у этносов не зависят от текущих условий среды. Соответственно P_1, P_2, P_3 и подготовительный период зависят от этих условий. В частности, у растений скорость биохимических реакций и длительность временных циклов зависят от температуры воздуха. У этноса периоды P_1, P_2, P_3 должны определяться средней продолжительностью

стью жизни населения, зависящей от природных и внешних социальных условий развития этноса.

В качестве примера информационных временных продуктов рассмотрим 1089-летний цикл развития русского христианского этноса. Этот цикл начался с принятия этносом христианства в 988 г. и закончился Октябрьской революцией 1917 г., которая заменила в России христианство на атеизм. В развитии этноса легко выделяются следующие важнейшие исторические события и периоды, характеризующие династические смены в правлении этносом и поэтому определяющие искомые информационные продукты:

- 988 г. – принятие христианства как государственной религии правящей династией Рюриковичей;
- с 1237 по 1240 г. – Ордынское нашествие (война) и начало татаро-монгольского ига;
- 1557 г. – «наследники» татаро-монгол окончательно теряют Среднее и Нижнее Поволжье, которое переходит под контроль русского этноса;
- 1558–1589 гг. – переход фактического правления от династии Рюриковичей к узаконенному правительству Бориса Годунова с последующим Смутным временем;
- 1613 г. – конец Смутного времени и начало правления династии Романовых;
- 1905 г. – народное восстание, введение демократических свобод и начало развала монархического правления в России;
- 1917 г. – Февральская и Октябрьская революции, конец правления династии Романовых и монархического правления в целом.

Отсюда имеем следующие структурные элементы временных продуктов:

$$T_1 = [1240 \div 1237] \approx 2, \quad T_2 = [1589 \div 1557] \approx 31, \quad T_3 = [1905 \div 1613] \approx 291, \\ P_1 = [1557 \div 1240] \approx 317, \quad P_2 = [1613 \div 1589] \approx 24, \quad P_3 = [1917 \div 1905] \approx 13 \\ \text{(полные годы).}$$

Как и следовало ожидать, мы получили совпадение расчетных и фактических продолжительностей T_1 , T_2 , T_3 , зависящих только от хода физического времени. В свою очередь, фактические периоды P_1 , P_2 , P_3 короче расчетных в 1,3 раза, что означает уменьшенную среднюю продолжительность жизни у русского этноса, находящегося в неблагоприятной климатической зоне [Антипова, 1997]. В то же время соотношение $P_1 : P_2 : P_3 = 317 : 24 : 13 = 0,895 : 0,068 : 0,037$ по-прежнему стабилизируется этнической системой и дает согласно (1.4)

информацию $|R \ln R| \approx 0,364$, требуемую схемой квантования автономно-го БП с тремя фазами (см. табл. 1.1). Таким образом, мы убедились, что исторические события не являются случайными и подчиняются как социальным, так и информационным закономерностям развития человеческого общества.

Развитие религиозных систем. Более крупными, чем этносы, являются мировые религиозные системы, формирующие следующий ИУ социосферы. Мы с полным правом можем отнести религии к естественным социально-биологическим системам, которые формируются из этносов как своих подсистем. При этом циклы развития религиозных систем поддерживаются соответствующими религиозными институтами через долговременный свод правил жизнедеятельности людей (Библию, Коран) в полной аналогии с этническими/государственными управляющими структурами, использующими, например, конституционно-правовые нормы. Сроки существования известных религий не превышают нескольких тысячелетий. Сейчас они являются наиболее крупными системами социосферы. Это означает отсутствие в настоящее время ИУ более высокого, чем религиозный.

Рассмотрим религиозный ИУ на примере христиано-иудейской системы, созданной Иисусом Христом (И.Х.). И.Х. появился в иудейском этносе как Мессия и по церковной версии, существующей с XIV в., был распят в возрасте 33 лет, отвечающем временному циклу ИУ человеческой жизни. Иудейский этнос не принял И.Х., и в результате И.Х. сформировал новую религиозную систему из двух параллельных БП – христианства и иудаизма (Новый и Ветхий Заветы). Именно появление данной системы вызвало известное рассеяние иудейского этноса по христианским странам, требующееся для обеспечения параллелизма двух БП. Согласно схеме квантования двух параллельных БП (см. рис. 1.1, в) временной цикл системы И.Х. составляет 3267 лет и включает три 1089-летних фазы, каждая из которых объединяет два параллельных 1089-летних цикла соответственно христианского и иудейского этносов. Библия трактует эти фазы как «дни»: «Одно то не должно быть сокрыто от вас, возлюбленные, что у Господа один день, как тысяча лет, и тысяча лет, как один день» [Второе соборное послание ... Петра, 3: 8].

И.Х. ввел возможность принятия христианства любым этносом/нацией и таким образом обеспечил последовательную смену 1089-летних фаз в созданной религиозной системе. В противоположность христианским этносам иудейский этнос не передает другим этносам/нациям иудаизм, что обеспечивает его продленное существование, а также целостность христиано-иудейской системы на протяжении

всего 3267-летнего цикла. Используя генетическую терминологию, можно сказать, что генофонд новых христианских этносов в каждой 1089-летней фазе обновляет иудейский генофонд, обеспечивая его повторяющееся 1089-летнее развитие. Такое обновление целенаправленно поддерживается иудейским этносом путем перекрестных браков, известным как ассимиляция. При этом христианские этносы должны быть достаточно большими, чтобы поддерживаемый ими иудейский генофонд не мог нарушить их 1089-летнее развитие.

Два христианских этноса (суперэтноса по Л.Н. Гумилеву [1990]) обеспечили прохождение двух 1089-летних фаз в 3267-летнем христиано-иудейском цикле. Это были западноевропейский и русский христианские этносы. Здесь мы придерживаемся общепризнанной научной хронологии исторических событий, хотя согласно некоторым исследованиям развитие западноевропейского этноса в I тысячелетии нашей эры было исторически фальсифицировано [Фоменко, 2005]. Прохождение двух или только одной 1089-летней фазы никак не влияет на суть дальнейших выкладок и получаемые выводы.

В 988 г. русский этнос принял христианство как государственную религию и тем самым начал вторую 1089-летнюю фазу, которая закончилась с Октябрьской революцией 1917 г. Обеспечение русским этносом второй фазы закономерно привело к отделению Православной церкви от Западной в 1054 г. Отделение произошло точно в требуемый по информационному закону год, который должен быть сдвинут относительно 988 г. на $33 \times 2 = 66$ лет: $988 + 2 \times 33 = 1054$ года. Данный 66-летний период требовался для того, чтобы у нового русского христианского этноса были выполнены все несинхронизированные 33-летние циклы ИУ человеческой жизни и он мог быть распознан христиано-иудейской религиозной системой как ее компонент.

Рассчитаем на примере христиано-иудейской системы информационные R - и $|R \ln R|$ -продукты. Согласно (1.26) они должны формироваться для каждой 1089-летней фазы. Чтобы охарактеризовать эти продукты, воспользуемся второй 1089-летней фазой религиозной системы – развитием русского христианского этноса.

В таблице 4.1 приведена последовательность княжеских и царских правлений в России от Великого князя Владимира (980–1015), который ввел христианство на Руси в 988 г., до последнего царя Николая II (1894–1917) [Зайкин, Почкаев, 1992]. Очевидно, каждое правление представляет собой специфическое состояние этноса (государства). Последовательность этих правлений может быть охарактеризована единственным образом: через серии правлений с последовательно возрастающими или убывающими продолжительностями. Тогда каж-

Анализ информационно-иерархической организации социосферы
и проблемы ее устойчивого развития

дому правлению в таких сериях можно сопоставить собственный очередной номер. Этот характеризующий правления номер мы будем называть тенденцией, равной 1, 2, 3, 4 и более.

Таблица 4.1

Периоды княжеских и царских правлений
в русском христианском этносе

Годы	Продолжительность*	Тенденция	Годы	Продолжительность	Тенденция
980–1015	35	1	1359–1363	4	2
1015–1016	нет**	1	1363–1389	26	1
1016–1054	38	1	1389–1425	36	2
1054–1078	24	1	1425–1462	37	3
1078–1093	15	2	1462–1505	43	4
1093–1113	20	1	1505–1533	28	1
1113–1125	12	1	1533–1584	51	1
1125–1132	7	2	1584–1598	14	1
1132–1139	7	3	1598–1605	7	2
1139–1146	7	4	1605–1606	нет	3
1146–1154	8	1	1606–1610	4	1
1154–1157	3	1	1610–1613	3	1
1157–1174	17	1	1613–1645	32	1
1174–1176	2	1	1645–1676	31	1
1176–1212	36	1	1676–1682	6	2
1212–1219	7	1	1682–1725	43	1
1219–1238	19	1	1725–1727	2	1
1238–1246	8	1	1727–1730	3	1
1246–1252	6	2	1730–1740	10	2
1252–1263	11	1	1740–1741	нет	1
1263–1272	9	1	1741–1761	20	1
1272–1276	4	2	1761–1762	нет	1
1276–1294	18	1	1762–1796	34	1
1294–1304	10	1	1796–1801	5	1
1304–1319	15	1	1801–1825	24	1
1319–1326	7	1	1825–1855	30	2
1326–1328	2	2	1855–1881	26	1
1328–1340	12	1	1881–1894	13	2
1340–1353	13	2	1894–1917	23	1
1353–1359	6	1			

* При существовании в этносе одновременных параллельных правлений используется наиболее продолжительное из них (охватывающее остальные); ** «нет» – продолжительность правления не превышает один год и поэтому неразличима как структурный элемент R-продукта.

По данным таблицы 4.1 несложно найти соотношение различающихся по тенденциям правлений как $41 : 13 : 3 : 2$, или $0,695 : 0,220 : 0,051 : 0,034$. Подставляя последнее в (1.4), получаем информацию $R = 0,615$, требуемую имеющейся схемой квантования двух параллельных религиозных БП (см. табл. 1.1). Таким образом, мы определили информационный R -продукт, отвечающий второй 1089-летней фазе полного цикла существования христиано-иудейской религиозной системы.

Перейдем к $|R \ln R|$ -продукту. Очевидно, что продолжительность рассмотренных правлений не может сама по себе нести какую-либо информацию по уравнению (1.5), так как меняется в очень широких пределах (см. табл. 4.1). Структурным элементом продукта здесь может являться средняя продолжительность правлений каждой 1089-летней фазы христиано-иудейской системы. Согласно таблице 4.1 она равна 17,0 годам, при этом правления с продолжительностью до одного года, обозначенные в таблице как «нет», в расчет не берутся. Для 1089-летней фазы имеется и вторая значимая временная характеристика. Это средняя длительность каждой из трех фаз полного этнического 1089-летнего цикла, отвечающего предшествующему ИУ. Для русско-христианского этноса она составит $(1917 - 988)/3 \approx 310$ лет. Подставляя соотношение $17,0 : 310$ в долиах вкладов $0,052 : 0,948$ в (1.4), мы получаем информацию 0,295, т.е. искомый $|R \ln R|$ -продукт (см. табл. 1.1) христиано-иудейской религиозной системы.

4.1.2. 198-летние циклы развития

1089-летнее развитие этносов завершается одним или двумя 198-летними циклами, которые отражают процесс стагнации/разрушения этноса [Гумилев, 1989, 1990] и не обеспечивают дальнейшее развитие этнического ИУ. Библия описывает это следующим образом: «Он взял дракона, змия древнего, который есть диавол и сатана, и сковал его на тысячу лет, и низверг его в бездну, и заключил его, и положил над ним печать, дабы не прельщал уже народы, доколе не окончится тысяча лет; после же сего ему должно быть освобожденным на малое время» [Откровение Иоанна Богослова, 20: 2–3]. 198-летний цикл формируется лишь за счет инерции обычаев и памяти людей о внутренних взаимоотношениях этноса при отсутствии обновления генофонда мутагенным/пассионарным толчком, т.е. цикл является «рукотворным». Тем самым человек не может по своей воле формировать этнические ИУ, а значит, и более высокие ИУ социосферы, строящиеся на основе этнических систем.

Схема квантования 198-летних циклов отвечает автономному БП с двумя фазами и полным циклом из шести элементарных 33-летних циклов (см. рис. 1.1, б). Для такого $33 \times 6 = 198$ -летнего БП можно теоретически определить, как должны формироваться его информационные временные продукты. Воспользуемся аналогией с (4.1). В соответствии с количеством фаз, равном двум, R - и $|R \ln R|$ -продукты должны иметь два структурных элемента каждый, которые мы обозначим через периоды T_1, T_2 , и P_1, P_2 соответственно. По аналогии с этническим ИУ для расчета этих периодов примем следующие исходные положения:

- у больших этносов, объединяющих различные субэтноты (национальности) со своими особенностями развития [Гумилев, 1989, 1990], периоды T_1, T_2 , и P_1, P_2 принимают среднее из возможных значений;
- минимальным структурным элементом (различимым системной промежуток времени) у информационных продуктов являются два годовых цикла. Это требование обусловлено тем, что даты рождения людей приходятся на разные месяцы года, и необходимо два года, чтобы все представители этноса завершили годовой/элементарный цикл развития.

T_1 является периодом существования энергетического/вещественного H -продукта первой фазы 198-летнего цикла и должен начинаться и кончаться в этой фазе. То же касается и T_2 , относящегося ко второй фазе. Периоды следуют друг за другом в последовательности: подготовительный период, T_1, P_1, T_2, P_2 . Тогда, учитывая принятые положения и значения $R = 0,382$, $|R \ln R| = 0,368$ для имеющейся схемы квантования автономного БП с двумя фазами (см. табл. 1.1), легко находим:

$$\begin{aligned} T_1 &= 4, & T_2 &= 50, \\ P_1 &= 65, & P_2 &= 5 \text{ (годы)}. \end{aligned} \quad (4.2)$$

При этом подготовительный период от начала 198-летнего цикла до T_1 составит $198 - (4 + 65 + 50 + 5) = 74$ года.

В 1089-летних циклах этнического ИУ периоды T_1, T_2, T_3 зависят от хода физического времени, а P_1, P_2, P_3 и подготовительный период – от хода биологического времени, т.е. от средней продолжительности жизни населения как элементарного цикла этнического ИУ. 198-летние циклы эволюционно сформированы как непосредственное продолжение 1089-летних циклов, и чередование разных типов внутрисистемного времени не должно прекращаться. Учитывая, что период P_3 1089-летнего цикла является последним и зависит от средней продолжительности жизни, получаем для 198-летнего цикла:

- подготовительный период, а также P_1, P_2 зависят от хода физического времени;
- T_1, T_2 зависят от хода биологического времени, т.е. от средней продолжительности жизни.

Для систем с 198-летним циклом развития и систем этнического ИУ минимальным различимым промежутком времени у информационных продуктов являются 2 года. Поэтому для этих продуктов аборт, выполняющиеся при периоде беременности меньше одного года (9 месяцев), не являются значащими и не должны оказывать влияния на среднюю продолжительность жизни населения. Последнюю можно оценить традиционным способом, отсчитывая ее от даты рождения и затем прибавляя к ней 1 год как период развития плода.

В качестве примера рукотворного 198-летнего цикла можно рассмотреть заканчивающийся цикл развития США. Как единое государство США были сформированы в 1787 г., когда была принята конституция и 13 штатов были объединены в одну целостную систему. Подготовительный 74-летний период, охватывающий 1787–1861 гг., известен в истории США как рабовладельческий. После его завершения начался 4-летний период T_1 , известный как Гражданская война 1861–1865 гг. Следующий 65-летний период P_1 (1866–1931 гг.) завершился Великой депрессией. В 1932 г. при президенте Рузвельте начался 50-летний период T_2 , отражающий новый курс экономического развития страны. Период T_2 еще не закончен. Он продлен из-за того, что средняя продолжительность жизни населения как элементарный цикл развития США сейчас приближается к 80 годам вместо требуемых 33 лет (рис. 4.1).

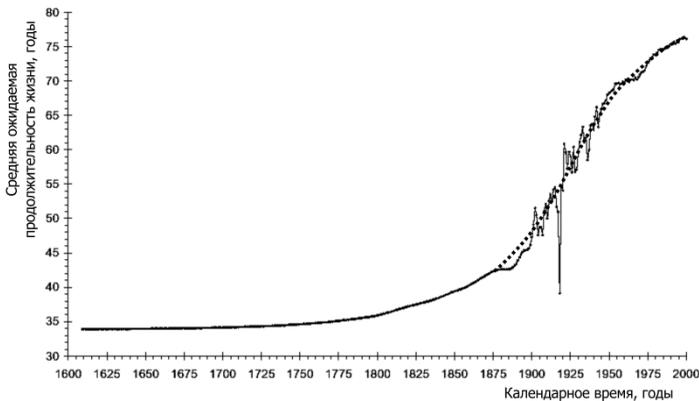


Рис. 4.1. Средняя ожидаемая продолжительность жизни в США с начала колонизации (по данным: [Эдиев, 2001])

Проводя несложные оценки, получаем, что из 50-летнего периода T_2 страна прошла уже 37 лет внутрисистемного времени. По окончании T_2 США вступят в последний перед окончанием их цикла развития 5-летний период P_2 , зависящий от физического/календарного времени. Если для оставшейся части T_2 средняя продолжительность жизни составит около 80 лет, то цикл развития США должен завершиться между 2045 и 2050 г. Получая данный прогноз, мы ставили перед собой цель показать методологию расчетов. Для определения точных сроков (T_2 и P_2 в случае США) требуются подробные демографические расчеты с учетом эффекта эмиграции-иммиграции, который может уменьшать среднюю продолжительность жизни и тем самым ускорять прохождение государствами циклов развития.

Рассмотрим 198-летний цикл развития России, который начался в 1917 г. после ее этнического цикла (см. выше). Россия закончила 74-летний подготовительный (коммунистический) период точно в требуемый информационным законом срок, когда в 1991 г. СССР распался на отдельные государства. Россия завершила также 4-летний период T_1 , отвечающий радикальному изменению экономической структуры страны от социалистического типа к капиталистическому и известный как «перестройка». Он зависел от биологического типа времени и длился с 1991 по 1999 г., т.е. 8 лет правления Президента России Б. Ельцина. Увеличение продолжительности периода реформ T_1 в 2 раза, очевидно, связано со средней продолжительностью жизни населения, составляющей в 1990-х гг. около 66 лет [Государственный доклад..., 1995] вместо 33 лет. В конце 1999 г. Россия вступила в 65-летний период P_1 , характеризующий ее новый капиталистический путь развития. P_1 зависит уже от хода физического времени и должен закончиться к 2065 г.

Согласно информационному закону каждому периоду T_1 , T_2 отвечает свой информационный энергетический/вещественный продукт. Для 198-летних систем, как и для этнических, эти продукты строятся на основе долей разных национальностей, обеспечивающих управление государством/этносом. Этот вопрос больше политический [Дикий, 1994], чем научный, и нами рассматриваться не будет.

4.2. Информационно-иерархическая организация социосферы

Эволюционно развитая социосфера имеет собственную иерархическую СФО и должна следовать ритмике окружающей среды так же, как и природные системы [Кирста, 1995, Кирста Ю.Б., Кирста Б.Ю., 2008; Kirsta, 2003]. Проанализируем ИУ социосферы и схемы кванто-

вания их БП, рассматривая при необходимости соответствующие информационные продукты.

На рисунке 4.2 приведены последовательно возрастающие по рангу ИУ социосферной СФО, начиная от метаболических ИУ с временными циклами функционирования 1 с, 6 с, ... до религиозного ИУ с циклом 6534 (или 3267) года. В процессе исследований выяснилось, что метаболические ИУ социосферы во многом аналогичны метаболическим ИУ биосферы и растительности как ее системообразующего компонента [Kirsta, 2001]. Рассмотрим СФО социосферы.

Иерархические уровни 1 и 2. ИУ-1 характеризует один акт работы полиферментных комплексов в метаболизме человека и полностью аналогичен биосферному ИУ-1. Длительность временного цикла (акта) здесь также равна 1 с. ИУ-2 отвечает полному циклу работы полиферментных комплексов (см. рис. 4.2). По своей организации и роли в социосферной СФО он также аналогичен биосферному. Временной цикл функционирования ИУ-2 включает 6 отдельных циклов ИУ-1 в соответствии со схемой квантования автономного БП с двумя фазами и равен $1 \times 6 = 6$ с (см. рис. 1.1). У человека (животных клеток) ИУ-2 представлен полиферментными системами окислительного фосфорилирования, превращения пирувата в ацетил-коэнзим А в ходе гликолиза и др. [Biochemical Pathways, 1993]. Примеры формирования информационных продуктов системами ИУ-2 приведены в главе 3.

Иерархический уровень 3. На уровне ИУ-3 функционируют системы из 6 моно- и бисубстратных ферментативных реакций, каждая из которых относится к ИУ-2 (см. рис. 4.2, B, C, D). Эти реакции отвечают элементарным циклам в схеме квантования ИУ-3 из автономного БП с двумя фазами (см. рис. 1.1). Социосферный ИУ-3, как и два предыдущих, аналогичен биосферному. При расчете длительности его временного цикла необходимо учесть существование сети из систем ИУ-3 (см. рис. 4.2, D). Циклы работы систем ИУ-3 в сети разделены дополнительными циклами работы систем ИУ-2, что дает длительность $6 \times 6 + 6 = 42$ с (подробнее см. главу 3). Следует отметить, что для социосферной СФО системы ИУ-3 гликолиза (начиная от глицеральдегида-3-фосфата) и β -окисления жирных кислот являются разделительными для систем ИУ-4 и поэтому в сеть ИУ-3 не входят. Примеры формирования информационных продуктов на уровне ИУ-3 приведены в главе 3.

Иерархический уровень 4. ИУ-4 отвечает периодической работе замкнутых биохимических циклов: pentose-, fatty acid-, citrate- и urea-циклам (см. рис. 4.2). Схема квантования ИУ-4 аналогична схеме квантования биосферного ИУ-4 и включает 7 параллельных БП при общей длительности временного цикла $42 \text{ с} \times 2035 = 1$ сут. (см. табл. 1.2).

**Анализ информационно-иерархической организации социосферы
и проблемы ее устойчивого развития**

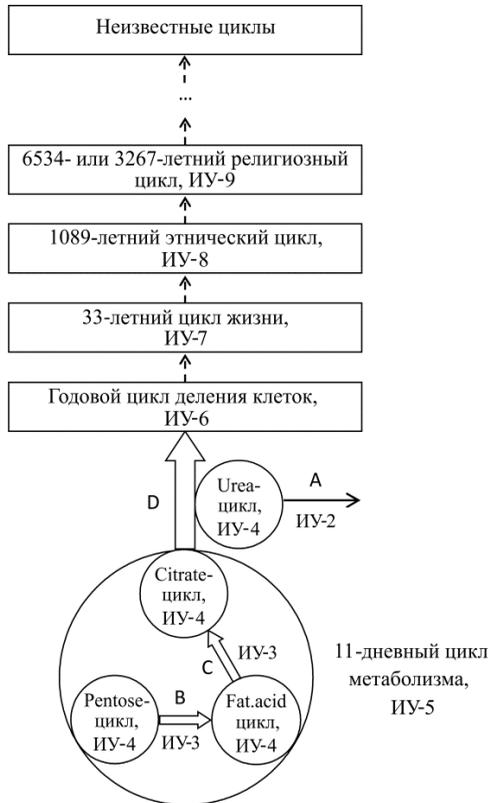


Рис. 4.2. Принципиальная схема информационно-иерархической организации социосферы:

А – система ИУ-2 со схемой квантования автономного БП с двумя фазами (см. рис. 1.1, табл. 1.1) и длительностью цикла 6 с: система представляет собой перенос электронов при окислительном фосфорилировании [Biochemical Pathways, 1993]; В, С – системы ИУ-3 со схемой квантования автономного БП с двумя фазами и длительностью цикла 42 с: системы отвечают соответственно гликолизу (начиная от глицеральдегида-3-фосфата) и β-окислению жирных кислот; D – специальная (разделительная) система ИУ-3 с уже указанной схемой квантования: система представляет собой сеть метаболических систем ИУ-3 и обеспечивает синтез аминокислот, рибонуклеотидов и дезоксирибонуклеотидов, необходимых для работы системы ИУ-6 с синтезом белков, РНК и ДНК; малая окружность вокруг названий биохимических циклов обозначает три соответствующие метаболические системы ИУ-4 со схемой квантования 7 параллельных БП и длительностью цикла 1 сут.; большая окружность вокруг трех малых обозначает метаболическую систему ИУ-5 со схемой квантования трех параллельных БП и длительностью цикла 11 сут., где БП отвечают работе трех указанных систем ИУ-4; прямоугольником обозначены системы возрастающих по рангу ИУ с длительностью циклов 1 год и более

В отличие от метаболизма растений метаболизм человека включает дополнительно уреа-цикл. Этот цикл состоит из 7 биохимических реакций [Musil et al., 1984], представляющих собой 7 параллельных БП. Если в pentose- и citrate-циклах как системах ИУ-4 разделение начала и конца функционирования цикла обеспечивается через встраивание в него соответствующих систем ИУ-3 (см. главу 3), то в уреа-цикле это разделение осуществляется путем выведения из цикла (и из всего метаболизма) синтезированной молекулы мочевины. В свою очередь, уникально образование отсутствующей у растений, но имеющейся у человека системы ИУ-4 из fatty acid-цикла. В ходе метаболизма человека (животных) за 7 последовательных повторений данного цикла синтезируется одна молекула пальмитиновой кислоты [Musil et al., 1984; Biochemical Pathways, 1993]. При этом каждое повторение цикла представляет собой полную работу системы ИУ-3 и является одновременно одним из 7 параллельных БП системы ИУ-4. Окончание работы последней обеспечивается через выведение из fatty acid-цикла синтезированной молекулы пальмитиновой кислоты для участия в других метаболических реакциях. Примеры формирования на ИУ-4 информационных продуктов приведены в главе 3.

Иерархический уровень 5. У человека система ИУ-5 формируется из трех систем ИУ-4: pentose-цикла, fatty acid-цикла и citrate-цикла, выступающих в качестве трех параллельных БП (см. рис. 4.2). Система ИУ-5 включает также разделительную систему ИУ-4 (уреа-цикл), разделительную систему ИУ-3 (сеть ИУ-3 на рис. 4.2, D) и разделительную систему ИУ-2 (окислительное фосфорилирование на рис. 4.2, A). Таким образом, ИУ-5 у человека значительно отличается от биосферного ИУ-5, имеющего только два параллельных БП (см. рис. 3.2). Такое строение ИУ-5 у человека и животных необходимо для непрерывного функционирования организма в течение всего года (см. ниже), тогда как развитие растений идет только в теплое время года. Длительность временного цикла ИУ-5 согласно схеме квантования трех параллельных БП (см. рис. 1.1) равна $1 \times 11 = 11$ сут.

В рассматриваемой системе ИУ-5 синтезируются две функционально противоположные молекулы, выступающие в качестве структурных элементов H-продукта. Первый элемент – молекула пальмитиновой кислоты с 16 атомами углерода – синтезируется в fatty acid-цикле и далее используется в метаболизме. Второй элемент – молекула мочевины с 1 атомом углерода – синтезируется в уреа-цикле и далее в метаболизме не используется (выводится из организма). Соотношение числа атомов углерода у этих структурных элементов составляет $16 : 1$, или в долях $0,941 : 0,059$. Подставляя последнее соотношение

в уравнение (1.4), получаем информацию $H = 0,32$, соответствующую имеющейся схеме квантования трех параллельных БП (см. табл. 1.1).

Иерархический уровень 6. Уровню ИУ-6 у человека отвечает система клеточного деления, где осуществляется синтез белков, РНК и ДНК (см. рис. 4.2). Данный ИУ, как и биосферный ИУ-6, имеет схему квантования автономного БП с тремя фазами (см. рис. 1.1). Длительность его временного цикла составляет $11 \text{ сут.} \times 33 \approx 1 \text{ год}$. Таким образом, именно схемы квантования предшествующего ИУ-5 и рассматриваемого ИУ-6 обеспечивают возможность непрерывного функционирования их систем на протяжении всего календарного года. У человека годовой цикл деления клеток наблюдается, в частности, у клеток печени, которая играет роль распределителя энергии для всего организма.

Для ИУ-6 целесообразно проанализировать образование информационных временных продуктов. Для этого воспользуемся хорошо изученным примером экспоненциального роста у культур клеток высших эукариотов. У таких клеток наблюдается не более 10–11 делений с типичным временным циклом 24 ч [Musil et al., 1984]. Данное поведение клеток объясняется тем, что при экспоненциальном росте роль разделительной системы ИУ-4 в метаболизме клеток вместо urea-цикла (см. рис. 4.2) выполняет уже сама система клеточного деления (ранее принадлежавшая ИУ-6). В этом случае клетки должны делиться с периодичностью работы urea-цикла 1 сут. и сделать 11 делений согласно схеме квантования трех параллельных БП у системы ИУ-5 (см. рис. 1.1, 4.2), для которой система клеточного деления служит разделительной. Система клеточного деления имеет схему квантования автономного БП с тремя фазами, и для нее можно теоретически определить все информационные временные продукты.

Искомые временные продукты для системы клеточного деления ИУ-4 показаны на рисунке 4.3. Структурные элементы этих продуктов (периоды T_1, T_2, T_3 и P_1, P_2, P_3) легко определяются из следующих исходных положений:

- удвоение клеточной ДНК требует наибольшего времени в процессе клеточного деления. Максимальными по продолжительности могут быть только периоды P_1, P_2 , у которых диапазон теоретически возможных значений лежит между минимально допустимым значением 84 с (два временных цикла ИУ-3) и максимальным значением 16 ч. (две фазы в рассматриваемом 24-часовом цикле). При формировании информационных продуктов минимальное значение 84 с определяется требованием завершения за 84 с всеми несин-

хронизированными системами ИУ-3 хотя бы одного полного цикла 42 с. Более поздний период P_2 удобнее для синтеза ДНК, так как этот синтез требует предварительного накопления в клетке дезоксирибонуклеотидов. В среднем для клеток эукариотов продолжительность P_2 должна составить $(84 \text{ с} + 16 \text{ ч})/2 \approx 8 \text{ ч}$;

- последний в цикле период P_3 должен отвечать непосредственно процессу деления клетки, т.е. митозу М (см. рис. 4.3), идущему обычно 1–2 ч.

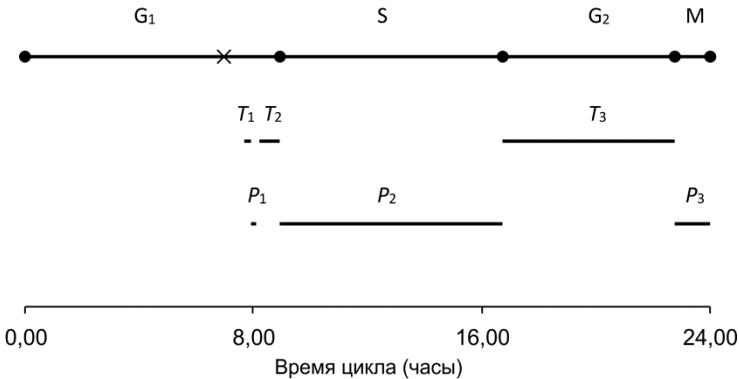


Рис. 4.3. Схема формирования информационных временных R - и $|R \ln R|$ -продуктов в 24-часовом цикле деления клеток высших эукариотов [Kirsta, 2003]:

G_1 , S , G_2 , M – традиционно выделяемые фазы клеточного деления [Alberts et al., 2002]; x – точка рестрикции; периоды T_1 , T_2 , T_3 – структурные элементы R -продукта; периоды P_1 , P_2 , P_3 – структурные элементы $|R \ln R|$ -продукта

Из принятых положений и условия равенства информации $|R \ln R| = 0,364$ (см. табл. 1.1) согласно (1.4) получаем искомые значения $P_1 = 84 \text{ с}$, $P_2 = 8 \text{ ч}$, $P_3 = 1,18 \text{ ч}$. Периоды P_1 , P_2 отвечают времени существования H -продуктов первой и второй фаз соответственно, а поэтому всегда включают в себя границы фаз временного цикла ИУ-5. Учитывая это, а также подчинение периодов T_1 , T_2 , T_3 условию $R = 0,318$ (см. табл. 1.1) согласно (1.4), находим $T_1 = 84 \text{ с}$, $T_2 = 0,69 \text{ ч}$, $T_3 = 6,13 \text{ ч}$. Рисунок 4.3 показывает, что найденные периоды T_1 , T_2 , T_3 , P_1 , P_2 , P_3 точно совпадают с фазами деления клеток G_1 , S , G_2 , M [Alberts et al., 2002]: фаза G_1 равна временному промежутку от начала цикла деления до начала P_2 , а фазы S , G_2 , M – периодам P_2 , T_3 , P_3 соответственно.

Согласно информационному закону существование информационных продуктов обязательно для любой эволюционной системы. Поэтому после начала у клеток периода T_1 прохождение всех последующих периодов должно быть обязательным и строго координироваться во времени для правильного формирования информационных временных продуктов. По этой причине точка рестрикции (приостановки деления клеток) должна предшествовать периоду T_1 . В то же время эта точка должна находиться максимально позднее в цикле, чтобы клетка была в наибольшей степени подготовлена к будущему делению. Приостановка деления клетки должна также совпадать с окончанием очередного цикла предшествующего ИУ (7,3 ч от начала 24-часового цикла) для правильного формирования информационных продуктов этого ИУ. Именно такое положение точки рестрикции в конце фазы G_1 наблюдается у всех клеток (см. рис. 4.3). Существование временных продуктов объясняет также наблюдающуюся стабильность общей длительности фаз $S + G_2 + M$ у всех клеток [Alberts et al., 2002]. Таким образом, все основные особенности цикла деления клеток имеют четкое теоретическое обоснование. В свою очередь, информационные энергетические/вещественные продукты формируются как определенные количественные соотношения у синтезируемых белков, РНК и ДНК, анализ которых здесь можно опустить.

Иерархический уровень 7. С ИУ-7 начинается та часть СФО социосферы (см. рис. 4.2), которую мы назвали социальной. Если предшествующий уровень ИУ-6 характеризовал организацию клетки с годовым циклом функционирования, то ИУ-7 отвечает следующей по рангу системе – организму человека. Здесь годовой период функционирования ИУ-6 выступает как элементарный цикл. ИУ-7 социосферы аналогичен биосферному и имеет схему квантования автономного БП с тремя фазами и полным циклом функционирования $1 \times 33 = 33$ года (см. рис. 1.1, а). При этом временному циклу ИУ-7 соответствует средняя 33-летняя продолжительность человеческой жизни. 33-летний цикл должен стабилизироваться социосферой для обеспечения нормального функционирования ИУ-7 и более высоких ИУ. Рассмотрим этот вопрос подробнее.

Средняя продолжительность жизни должна отсчитываться от начала формирования яйцеклетки как будущего организма. Полное созревание яйцеклетки и ее готовность к оплодотворению в женском организме, очевидно, близко предшествует или совпадает с точкой рестрикции. По аналогии с суточным циклом деления клеток (см. рис. 4.3) в годовом цикле ИУ-6 эта точка должна отстоять от начала цикла на период около 0,3 года. Беременность у женщин длится

0,75 года (9 месяцев). Поэтому к моменту рождения организм человека уже имеет возраст $0,3 + 0,75 \approx 1$ год. В связи с этим при расчете истинной средней продолжительности жизни следует учитывать аборт как раннюю смертность человека, что полностью совпадает с позицией церкви об аборте как насильственном умерщвлении [Узаконенное детоубийство, 1991]. Таким образом, средняя продолжительность жизни для ИУ-7 будет значительно отличаться от аналогичной продолжительности, рассчитываемой традиционным способом как элементарный цикл у более высокого ИУ или у 198-летнего цикла развития человеческого общества (п. 4.1).

Проверим стабилизацию временного цикла ИУ-7 на примере населения России. Реальную продолжительность жизни в России можно оценить, например, по статистическим данным за 1992–1998 гг. по ожидаемой продолжительности жизни (около 66 лет), рождаемости (9,3 на 1000 человек в год), смертности (14,1 на 1000 человек в год) [Государственный доклад..., 2000]. Дополнительная смертность из-за погибших в результате аборта детей легко рассчитывается по превышению числа абортов над числом новорожденных в 2 раза [Кулаков, Фролова, 1994]. В общее число абортов исходно включены 25% ранних или мини-абортов [Здоровье женщин..., 1992]. Мини-аборты выполняются, когда развитие утробного плода еще неразличимо в годовом цикле ИУ-6, поскольку для завершения одного полного 11-суточного цикла ИУ-5 у всех асинхронно делящихся с момента оплодотворения клеток плода требуется два 11-суточных цикла. По этой причине мини-аборты должны быть исключены из общего числа абортов. Отсюда искомая дополнительная смертность составит $(1 - 0,25) \times 2 \times 9,3 \approx 14$ на 1000 человек в год. Прибавляя к общепринятой продолжительности жизни 1 год возраста новорожденного и учитывая дополнительную смертность, мы получаем реальную среднюю продолжительность жизни $14,1 \times (66 + 1) / (14 + 14,1) \approx 33,7$ года как временной цикл ИУ-7. Таким образом, цикл ИУ-7 совпадает в пределах точности расчетов с требуемым информационным законом значением 33 года. Можно отметить, что значительная продолжительность жизни в развитых странах (традиционно рассчитываемая без абортов) обусловлена согласно информационному закону лишь большим количеством ранних прерываний беременности.

Анализ информационных энергетических/вещественных и временных продуктов уровня ИУ-7 может быть выполнен при дальнейших исследованиях. По аналогии с информационными продуктами у растений (п. 3.3.2) энергетические/вещественные продукты у человеческого организма могут быть связаны с формированием массы тела и/или процес-

сом трансформации неспециализированных стволовых клеток в соответствующие специализированные. Отметим, что общее число типов клеток у взрослого человека достигает 200 [Alberts et al., 2002].

Иерархический уровень 8. Аналогично ИУ-8 биосферы у социальной СФО (см. рис. 4.2) ИУ-8 должен иметь схему квантования автономного БП с тремя фазами и временной цикл $33 \times 33 = 1089$ лет. Этот ИУ охарактеризован нами в п. 4.1.1 как этнический. Информационные энергетические/вещественные продукты этнического ИУ-8 должны отражать долю представителей разных национальностей в структуре управления этносом (государством). Выше отмечено, что этот вопрос нами не рассматривается.

Иерархический уровень 9. К ИУ-9 относятся религиозные системы. Наличие климатической ритмики с периодичностью 3–6 тыс. лет [Зубаков, 1990, с.169] предполагает существование на этом ИУ двух схем квантования. Одна отвечает автономному БП с двумя фазами и временным циклом $1089 \times 6 = 6534$ года (см. рис. 1.1). В частности, согласно гипотезе А. Дугина [1999] 6500-летний цикл использовался при летосчислении в шумерской и индуистской религиозных традициях. Вторая схема квантования отвечает двум параллельным БП и временному циклу $1089 \times 3 = 3267$ лет. Данный цикл развития имеет рассмотренная выше религиозная христианско-иудейская система, созданная И.Х. и обеспечивающая сейчас существование развитых государств.

Системный информационно-иерархический подход позволяет проследить действия И.Х. по созданию новой религиозной системы, когда были сформированы ее информационные H - и $|H \ln H|$ -продукты из отдельных людей/личностей. Оба указанных продукта отвечают полному циклу развития системы. H -продукт состоял из самого И.Х. и 12 выбранных им апостолов. Их количественное отношение составляет $1 : 12$, или $0,077 : 0,923$. Подставляя последнее в (1.4), получаем информацию 0,39, отвечающую значению H для схемы квантования двух параллельных религиозных БП (см. табл. 1.1). В свою очередь, $|H \ln H|$ -продукт был сформирован из тех же «структурных элементов», выступающих уже в новом качестве (ср. с формированием информационных продуктов при синтезе белка или словообразовании). Продукт включал И.Х. с 12 апостолами и отдельно мать И.Х. Марию, на которых сошел Святой Дух. Здесь мы имеем соотношение $1 : 13$, или $0,071 : 0,929$. Подставляя его в (1.4), получаем значение $|H \ln H| = 0,368$, требуемое для двух параллельных БП (см. табл. 1.1).

Анализ R - и $|R \ln R|$ -продуктов выполнен в п. 4.1.1. Напомним, что существование этих продуктов обуславливает ряд закономерностей в смене и продолжительности правлений этносом. Аналогичные

закономерности свойственны также самостоятельным этносам, испытывающим влияние религиозных систем ИУ-9, как, например, в случае Римской империи после возникновения христианства [Кирста, 1995].

4.3. Совместное развитие социосферы и биосферы

Нами установлено, что у земной биосферы имеются две крупные наземные информационно-иерархические подсистемы/системы: наземная растительность (системообразующая часть биосферы) и человеческое общество (социосфера). Организация обеих систем является иерархической, начиная от молекулярно-генетических до экосистемных или религиозных ИУ, и определяется информационно-физическим законом. Циклы развития каждого ИУ этих систем включены в больший цикл более высокого ИУ согласно определенным схемам квантования (см. рис. 1.1). Циклы ИУ растительности имеют длительность 1, 6, 42 с, 1, 3, 99 дней, 33, 1089 лет и т.д. Аналогично циклы развития общества составляют 1, 6, 42 с, 1, 11 дней, 1, 33, 1089, 3267/6534 лет и т.д. Совокупность ИУ каждой из систем формирует растительные/биосферные иерархические часы или человеческие/социосферные иерархические часы соответственно. Кроме того, у обеих систем имеются еще 198-летние циклы, которые следуют за 1089-летними циклами и непосредственно не связаны с указанными часами.

4.3.1. Взаимодействие социосферы и биосферы и их влияние на климат

Формирование природной климатической информации наземными природными системами. В главах 2 и 3 уже отмечалось биогенное происхождение атмосферы. По аналогии с живой клеткой, где биохимические системы полностью контролируют внутриклеточную среду, можно ожидать, что биологические системы биосферы тоже регулируют свою среду обитания, включая климат. Например, показано, что именно биотическая регуляция климата обеспечивает стабильность приземных температур Земли и круговорота воды на континентах, поскольку в ее отсутствие атмосфера будет иметь только два устойчивых состояния с приземными температурами около +400 или -80 °C [Gorshkov V.G., Gorshkov V.V., Makarieva, 2000].

Растительность и человек взаимодействуют между собой и тем самым образуют новые системы. При этом как растительность, так и человек воздействуют на атмосферные процессы и одновременно зависят от них. Например, растительность влияет на влажность и температуру приземного слоя атмосферы. Так, леса являются активным био-

тическим насосом атмосферной влаги, обеспечивающим перемещение влаги в глубь континентов и круговорот воды на суше [Makarieva, Gorshkov, 2007]. В свою очередь, человек, распахивая почвы, изменяет альбедо земной поверхности, ее теплообмен с атмосферой и соответственно температуру воздуха [Завалишин, 2010]. Использование информационного закона и системно-аналитического моделирования [Kirsta, 2006a, b; Кирста Ю.Б., Кирста Б.Ю., 2008] при исследовании влияния обеих систем на климат позволило установить следующее:

- ИУ наземной растительности биосферы и ИУ социосферы с одинаковыми циклами развития могут попарно взаимодействовать между собой. Каждая пара таких ИУ отвечает двум параллельным БП в новой общей для этих ИУ *сопутствующей системе «растительность – человек»* с циклом развития, определяемым схемой квантования (см. рис. 1.1, в);
- динамика климатических факторов (температур и осадков как «энергетическо-вещественных» характеристик атмосферы) используется данной сопутствующей системой для формирования информационных энергетических/вещественных и временных продуктов, т.е. природной климатической информации. При этом в трактовке информационного закона атмосфера не является эволюционной системой и представляет собой косный субстрат без процессов эволюционной самоорганизации и собственной долговременной памяти.

Таким образом, динамика климата информационно обусловлена и определяется ходом двух внутрисистемных иерархических часов (у растительности/биосферы и социосферы) с вложенными циклами отсчета времени. Подобное информационное влияние системы «растительность – человек» на атмосферу легко объясняется и с физической точки зрения. Информацию здесь можно рассматривать как одну из статистических характеристик динамики переменных, а значит, с полным правом применять ее при анализе взаимодействующих динамических систем.

Экспериментальные данные. Для расчетов природной климатической информации (далее – информации) нами использованы данные наблюдений более 100 российских метеорологических станций. В ходе исследования проанализированы несколько тысяч значений различных метеорологических характеристик, в том числе более 5700 величин среднегодовых температур и 5800 величин годовых осадков. Анализ выполнен как для отдельных метеостанций, так и по всем станциям в целом.

В качестве примера расчетов по отдельным станциям приведена метеостанция Томск. Она расположена в Сибирском регионе России

в окрестности города с тем же названием и осуществляет наблюдения за климатом более 100 лет (рис. 4.4). В качестве первого расчетного года взят 1918 г., который соответствует началу цикла развития России C^{198} (а значит, и началу первого C^{33}) после окончания ее цикла этногенеза C^{1089} путем революции 1917 г.¹ Этническо-государственная система России охватывает всю обширную российскую территорию, в отличие от растительных экосистем на этой территории, которые имеют различные сроки начала циклов развития. По этой причине ритмика развития России является «задающей» для сопутствующих систем «растительность – человек».

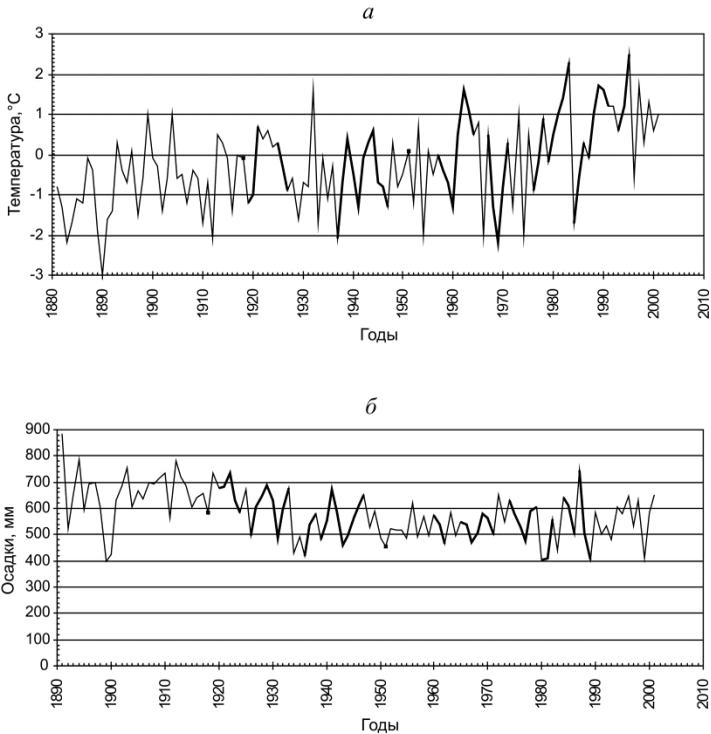


Рис. 4.4. Среднегодовые температуры (а) и годовые осадки (б) по метеостанции Томск за последнее столетие (периоды, выделенные линиями большей толщины, отвечают последовательным годам с тенденциями 1, 2, 3, ...)

¹ Далее для N -летних циклов использовано обозначение C^N , а для систем с N -летним циклом развития – S^N .

Точность проводимых расчетов определялась объективно существующей погрешностью исходных метеорологических данных. Например, погрешность оценки годовых осадков обуславливалась их зависимостью от рельефа окружающей местности, типом и местоположением применяемых для измерений приборов, количеством отдельных видов (жидкие, твердые, смешанные) осадков за год, испаряемостью, скоростью ветра и другими факторами [Дроздов и др., 1989].

Формирование информационных продуктов в сопутствующих системах «растительность – человек». Рассмотрим перенос информации климатическими факторами на примере сопутствующей системы «растительность – человек» S^{99} , которая сформирована двумя ИУ-7 (соответственно у растительности и социосферы) с 33-летними циклами развития. Напомним, что у социосферного ИУ-7 цикл S^{33} отвечает средней продолжительности жизни населения, рассчитанной с учетом абортгов. В то же время на ИУ-8 этот S^{33} является элементарным циклом и отвечает продолжительности жизни, рассчитываемой из-за квантования БП уже без учета абортгов (см. выше). В соответствии с рисунком 1.1, σ цикл рассматриваемой сопутствующей системы S^{99} с двумя параллельными БП будет состоять из трех S^{33} с общей продолжительностью $33 \times 3 = 99$ лет, которая известна как вековой климатический цикл.

Число факторов, переносящих информацию R , $|R \ln R|$, должно равняться величине j в уравнении (1.2б), т.е. числу параллельных БП. В нашем случае $j = 2$, и мы имеем два основных климатических фактора – среднегодовую температуру приземного слоя атмосферы и годовые осадки. Температура и осадки по сравнению с другими климатическими факторами в наибольшей степени удовлетворяют требованию передачи информационных продуктов вовне другим системам. В частности, осадки непосредственно используются растительностью для создания биомассы и формирования из нее собственных информационных продуктов (п. 3.3.2). Поскольку с двумя основными факторами могут быть непосредственно связаны другие климатические факторы (температура воздуха на разных высотах, годовые стоки рек и др.), последние могут характеризоваться той же информацией, что и основные.

Исследования развития растительности в различных климатических зонах [Кирста, 1986а, б; Кирста Ю.Б., Кирста Б.Ю., 2008] выявили влияние на это развитие климатических условий 1–2 предшествующих лет, а значит, и влияние этих условий через растительность на климатические особенности текущего года. Это подтвердил также информационно-иерархический анализ динамики климатических факторов. Он показал, что информационными продуктами для сопутству-

ющей системы «растительность – человек» S^{99} служат собственно изменения годовых значений климатических характеристик относительно предыдущего года. Для температуры эти относительные изменения характеризовались разностью ее среднегодовых значений (значение для текущего года минус значение для предыдущего), а для осадков – разностью их годовых сумм. Рассмотрим формирование информации R , $|R \ln R|$.

У рассматриваемой системы S^{99} согласно (1.2б) формируется одна пара ($j = 2$) информационных временных R -продуктов и одна пара $|R \ln R|$ -продуктов. Из схемы квантования (см. рис. 1.1, в) следует, что оба БП, формирующие информационные продукты, реализованы в виде трех одинаковых циклов C^{33} . Поэтому для расчетов информации ряды метеорологических данных разбивались на периоды, ограниченные началом и окончанием C^{33} .

Анализ динамики климатических факторов показал, что временные R -продукты формируются таким же образом, как и в христианско-иудейской системе, где информация R создается через возрастающие/убывающие продолжительности правлений ее христианских этносов (см. табл. 4.1). В случае климата мы имеем отдельные серии изменения годовых характеристик с последовательно возрастающими/убывающими значениями. Тогда каждый год в этих сериях имеет собственный порядковый номер – 1, 2, 3, 4, ..., который назван тенденцией (см. рис. 4.4).

В результате анализа около 12 000 относительных изменений годовых температур и осадков по территории России установлено следующее соотношение встречаемости у лет, различающихся по тенденциям 1, 2, 3:

– для температуры соответственно

$$75,5 : 20,4 : 4,1 (\%), \text{ или } 0,755 : 0,204 : 0,041 (\text{доли}), \quad (4.3a)$$

– для осадков соответственно

$$74,9 : 21,0 : 4,1 (\%), \text{ или } 0,72 : 0,22 : 0,05 (\text{доли}). \quad (4.3б)$$

Из данных соотношений исключены годы с тенденциями 4, 5 и выше. Эти годы составляют менее 0,4% случаев и отсутствуют в большинстве исследованных рядов данных. Поэтому их учет в (4.3a) и (4.3б) привел бы к искажению информации, рассчитываемой по уравнению (1.4). В то же время при расчете информации для отдельных метеостанций годы с тенденциями 4, 5 необходимо учитывать. Подстановка соотношений (4.3a) и (4.3б) в (1.4) дает информацию $R \approx 0,61$ для температур и $R \approx 0,61$ для осадков. В пределах точности расчетов полученные значения полностью совпадают с величиной $R = 0,618$, требуемой для двух параллельных БП (см. табл. 1.1).

Рассмотренная природная климатическая информация R формируется физическим/календарным временем. В отличие от R информация $|R \ln R|$ формируется вторым типом внутрисистемного времени, определяемым ходом циклов ИУ-6 (см. формулировку информационного закона), т.е. годовых циклов C^1 . Для завершения отдельного C^1 у этническо-государственной системы России S^{198} требуется не менее двух календарных лет, так как начало C^1 (даты рождения) у отдельных людей распределены по всему календарному году. По этой причине промежутки физического времени менее двух лет в рассматриваемом $|R \ln R|$ -продукте неразличимы, как это имеет место и для этническо-государственных систем.

Исходя из изложенного, для расчета информации $|R \ln R|$, формируемой сопутствующей S^{99} , вместо отдельных лет мы имеем следующие периоды времени:

- периоды с нулевой продолжительностью, которые отвечают году начала C^{33} или окончания C^{33} (если последний год имеет тенденцию 1) в ходе выполнения цикла развития C^{99} ;
- двухлетние периоды, отвечающие последовательному нарастанию/убыванию годовых климатических характеристик и охватывающие два подряд идущих года с тенденциями 1 и 2 соответственно;
- трехлетние периоды, охватывающие три подряд идущих года с тенденциями 1, 2, 3; при наличии лет с тенденциями 4, 5 для конкретных метеостанций следует также учитывать 4- и 5-летние периоды.

Природная климатическая информация $|R \ln R|$ определяется двумя структурными элементами информационного временного $|R \ln R|$ -продукта: (а) средней продолжительностью периодов нарастания/убывания климатической характеристики и (б) 33-летней продолжительностью C^{33} как фазы цикла C^{99} у рассматриваемой сопутствующей системы «растительность – человек». Отметим, что данная информация аналогична информации $|R \ln R|$, формирующейся через режимы правления этносами в двухэтнической христиано-иудейской системе (п. 4.1.1).

Анализ всей совокупности данных по температурам и осадкам дал следующие соотношения встречаемости указанных выше периодов 1, 2, 3:

– для температуры соответственно
 $3,9 : 20,4 : 4,1$ (%), или $0,14 : 0,72 : 0,14$ (доли), (4.4а)

– для осадков соответственно
 $3,8 : 21,0 : 4,1$ (%), или $0,13 : 0,73 : 0,14$ (доли). (4.4б)

Учитывая продолжительность периодов 1, 2, 3, равную соответственно 0, 2, 3 года, находим первый структурный элемент информационного $|R \ln R|$ -продукта:

– для температур

$$0 \times 0,14 + 2 \times 0,72 + 3 \times 0,14 = 1,86 \text{ (годы)},$$

– для осадков

$$0 \times 0,13 + 2 \times 0,73 + 3 \times 0,14 = 1,88 \text{ (годы)}.$$

Отсюда соотношение элементов в продукте составит $1,86 : 33$, или $0,053 : 0,947$, для температур, и $1,88 : 33$, или $0,054 : 0,946$, для осадков. Подстановка этих соотношений в уравнение (1.4) дает информацию $|R \ln R|$, равную 0,30 для температур и 0,30 для осадков, что также однозначно совпадает в пределах точности расчетов с табличным значением $|R \ln R| = 0,297$ (см. табл. 1.1).

Очевидно, что при расчетах природной климатической информации R , $|R \ln R|$ для отдельных метеостанций точность расчетов может снижаться из-за погрешности метеорологических наблюдений (табл. 4.2). Заметное расхождение между значениями, полученными для метеостанции Томск, и табличным значением $R = 0,618$ отмечается для периода неустойчивого природопользования 1918-1950 гг. (первая фаза C^{33} векового климатического цикла России C^{99}), включающего Гражданскую войну, разруху, Отечественную войну.

Таблица 4.2

Расчет природной климатической информации
для метеостанции Томск

Информация	Температура		Осадки	
	1918–1950	1951–1983	1918–1950	1951–1983
R	0,628	0,618	0,662	0,620
$ R \ln R $	0,288	0,329	0,306	0,282

Информационные энергетические/вещественные продукты в рассматриваемой системе «растительность – человек» S^{99} создаются за цикл C^{99} в целом и переносят информацию H и $|H \ln H|$. По предварительным оценкам, каждый из них состоит из двух компонентов – постоянной и стохастической составляющей нарастания/убывания годовых осадков, формирующих R - и $|R \ln R|$ -продукты. На территории России C^{99} начался в 1918 г. и еще не закончен. Поэтому расчет H - и $|H \ln H|$ -продуктов с целью их проверки в настоящий момент некорректен. Осадки (динамика их выпадения) являются очевидным информационным энергетическим/вещественным продуктом, выходящим «за пределы» атмосферы и непосредственно используемым в других системах (растительностью) в соответствии с информационно-физическим законом.

В дальнейшем, по мере накопления опыта расчетов всех четырех информационных продуктов по различным территориям, будет возможно уточнить методiku их расчета. В частности, можно будет выяснить: с какого срока по существующему календарю следует отсчитывать климатический год, следует ли использовать годовые значения метеорологических характеристик или только их значения за вегетационный период растительности и др.

Формирование иерархической климатической ритмики. Рассмотрим факторы, определяющие сроки начала и окончания циклов развития у сопутствующей системы «растительность – человек» S^{99} на примере России. Выше указывалось, что Россия находится в цикле C^{198} , который начался в 1918 г. после ее 1089-летнего цикла этногенеза. C^{198} включает шесть C^{33} ИУ-7 (см. рис. 1.1, б), на основе которых формируется сопутствующая система «растительность – человек» S^{99} (см. рис. 1.1, в). В течение C^{198} эта система выполняет два C^{99} .

В отличие от растительных экосистем у человека цикл развития C^{198} эволюционно не стабилизирован. Его ход зависит от двух типов внутрисистемного времени, обеспечивающих формирование информационных продуктов согласно информационно-физическому закону. Согласно уравнению (4.2) эти два типа времени делят C^{198} на следующие последовательно сменяющиеся друг друга временные периоды, считая от начала цикла:

$$\text{«подготовительный»} = [1 \div 74], \quad T_1 = [75 \div 78], \quad P_1 = [79 \div 143],$$

$$T_2 = [144 \div 193], \quad P_2 = [194 \div 198] \text{ (годы)},$$

где периоды «подготовительный», P_1 , P_2 имеют физический/календарный тип времени, а T_1 , T_2 – биологический тип времени.

В современной России биологический тип времени двукратно замедлен, и поэтому C^{198} длится дольше 198 лет в физическом времени. Это связано с тем, что C^{33} отвечает средней ожидаемой продолжительности жизни населения, которая сейчас в 2 раза больше требуемых 33 лет (п. 4.1.2). В результате при выполнении циклов C^{99} сопутствующей системой S^{99} циклы C^{33} растительности и C^{33} социосферы в их схеме квантования (см. рис. 1.1, в) перестают совпадать друг с другом, что с неизбежностью приводит к дестабилизации климатической ритмики. Хаотизация климатических процессов на территории России уже привела к росту отвечающих им чрезвычайных ситуаций в 2–3 раза за последние 50 лет.

Как мы увидим ниже, циклы C^{33} , входящие в C^{198} России, будут определять периоды расчета климатических трендов на ее территории. Приведем эти C^{33} по физическому/календарному времени:

$$\begin{aligned}
 &1\text{-й цикл} = [1918 \div 1950], \quad 3\text{-й цикл} = [1984 \div 2020], \quad 5\text{-й цикл} = [2054 \div \dots], \\
 &2\text{-й цикл} = [1951 \div 1983], \quad 4\text{-й цикл} = [2021 \div 2053], \quad 6\text{-й цикл} = [\dots \div \dots].
 \end{aligned}
 \tag{4.5}$$

Расчет в (4.5) двух последних C^{33} будет возможен при известной/спрогнозированной средней продолжительности жизни российского населения в периоде T_2 , начинающемся в 2065 г.

Аналогично случаю России, цикл C^{33} удлинен у США (C^{198} начался в 1787 г. и еще продолжается), Китая (C^{198} начался после окончания Второй мировой войны) и большинства других стран. Таким образом, увеличение средней продолжительности жизни населения является прямой «информационной» причиной повсеместно наблюдающейся дестабилизации климатических процессов.

ИУ у биосферной растительности и социосферы помимо S^{99} могут образовывать сопутствующие системы «растительность – человек» и более высоких рангов. Согласно информационно-иерархическим организациям растительности и социосферы после ИУ-7 с циклом C^{33} следует ИУ-8 с C^{1089} . Этот ИУ соответствует 1089-летней сукцессии экосистем и 1089-летнему развитию этносов. Чтобы получить сопутствующую систему следующего ранга, сдвинемся в растительности и социосфере от ИУ-7 с циклом развития C^{33} на ИУ-8 с C^{1089} . По аналогии с изложенным выше мы получаем сопутствующую систему S^{3267} с циклом развития $1089 \times 3 = 3267$ лет. Такая S^{3267} может образовываться буддийской или исламской религиозными системами S^{6534} , имеющими схему квантования, показанную на рисунке 1.1, б. При этом S^{3267} выполняет два полных цикла своего развития в ходе существования указанных S^{6534} . В S^{3267} динамику климатических факторов следует рассматривать уже не с шагом 1 год, а по 33-летним шагам, начало и окончание которых определяется ходом внутрисистемных часов биосферной растительности и социосферы. Формирование климатической информации в S^{3267} также будет аналогично рассмотренному выше. Например, информация R должна создаваться через тенденции 1, 2, 3, ... уже по отношению к 33-летним периодам. Очевидно, что наличие таких тенденций при условии неразличимости процессов внутри C^{33} (квантования БП) означает постоянное воздействие со стороны S^{3267} на динамику климатических факторов в каждом C^{33} . Это приводит к появлению 33-летних климатических трендов, применимых для всей территории, занимаемой S^{3267} . При оценках климатических трендов в метеорологии именно период в 30–35 лет эмпирически считается оптимальным.

Наземные экосистемы биосферы могут также формировать сопутствующие системы «растительность – растительность» без участия

человека/социосферы, например, на неосвоенных территориях. Очевидно, что циклы таких сопутствующих систем не должны нарушать схем квантования ИУ биосферной растительности и должны вкладываться в циклы этих ИУ целое число раз. Данное требование можно назвать эволюционным принципом согласования ритмики совместно функционирующих природных систем.

Возьмем, например, сопутствующую систему «растительность – растительность» S^{99} со схемой квантования, показанной на рисунке 1.1, в. Данная S^{99} включает три C^{33} из цикла вторичной сукцессии растительности C^{198} (который не входит в информационно-иерархическую организацию биосферной растительности) и параллельные им три C^{33} из цикла первичной сукцессии C^{1089} . Тем самым формируются известные вековые циклы (C^{99}) изменения климатических факторов, аналогично случаю сопутствующей системы «растительность – человек» S^{99} .

Сопутствующие системы «растительность – растительность» S^{99} , S^{3267} и более высоких рангов все вместе формируют природную иерархическую ритмику климата. Используя бассейновую концепцию [Корытный, 2001], S^{99} и S^{3267} можно соотнести с естественно выделяющимися единицами ландшафта – бассейнами крупных рек с их наземными экосистемами. При этом сопутствующие системы S^{3267} будут задавать ритмику климатических процессов в бассейнах с соответствующими 33-летними климатическими трендами. Подобные тренды температур и осадков должны отвечать территориям, где сельскохозяйственные культуры составляют относительно небольшую долю всей растительности и поэтому непосредственно не влияют на формирование климатической ритмики. Позже (в п. 6.1) показано, что подобные тренды имеют определенную линейную форму, отражающую изменения климатических характеристик (месячных, годовых) в процентах от их среднеголетних значений. Такая эволюционно выработанная форма трендов одновременно обеспечивает информационную стабилизацию развития растительности, которая лежит в основе самостабилизации экосистем и известна как принцип устойчивости Ле Шателье.

Таким образом, мы определили иерархическую климатическую ритмику, которая «квантуется» циклами C^1 , C^{33} , C^{1089} , ..., вложенными в циклы сопутствующих систем различных рангов. Знание сроков начала и конца циклов позволяет корректно рассчитать средние значения и тренды климатических факторов, что важно в прикладных климатических расчетах и прогнозах. При этом повторение очередных циклов не означает обязательного повторения климатической динамики, что отличается от общепринятых подходов в исследованиях перио-

дичности климата. В соответствии с информационным законом эта динамика является информационным продуктом рассмотренных выше сопутствующих систем. Информационные продукты достаточно независимы от эпизодических климатических колебаний, вызванных различными факторами среды, поскольку тенденции 1, 2, 3, ... (см. выше) одинаковы как для возрастающих, так и для убывающих значений климатических характеристик.

Формирование климатической ритмики в аридной зоне. Для выяснения климатической ритмики в аридной зоне воспользуемся классическим примером климатического прогноза, данного египетскому фараону, согласно Библии, Иосифом [Бытие 41]. Иосиф предсказал 7-летний период больших урожаев с последующим 7-летним периодом крайне низких урожаев.

В качестве временного шага прогноза здесь используется период $6 + 1 = 7$ лет. Этот период включает цикл C^6 с дополнительным разделительным годовым циклом C^1 . Подобная организация последовательного выполнения циклов C^6 и C^1 устойчива во времени и, например, существует (с общим периодом $6 \times 6 + 6 = 42$ с) у биохимических уровней биологических часов растений и человека (ИУ-3 клеточного метаболизма): фотодыхания, β -окисления жирных кислот, превращения succinyl-CoA в citrate при работе citrate-цикла и др. (см. выше). Аналогичный период $6 + 1 = 7$ дней (неделя) используется социосферой для регуляции общественных процессов. Наконец, Господь прямо указывал на период $6 + 1 = 7$ лет, говоря Моисею о необходимость 6 лет возделывать поля и виноградники, а на 7-й год предоставлять им отдых [Левит 25]. Здесь 7-летний период соответствует многолетнему циклу функционирования агроэкосистем.

Известно, что средняя продолжительность жизни в Древнем Египте составляла около 35 лет, т.е. соответствовала эволюционно обусловленному циклу C^{33} . При этом Древний Египет окружала аридная пустыня с минимальной ролью растительности в формировании климатического режима его территории. Поэтому создание сопутствующей системы «естественная растительность – человек» S^{99} было невозможно. 7-летний период функционирования агроэкосистем не позволял также создать сопутствующую систему «аграрная растительность – человек» S^{99} из-за его значительного отличия от средней продолжительности жизни, равной C^{33} . Поэтому в аридной зоне возможно лишь формирование систем более высокого ранга по сравнению с S^{99} .

В соответствии со схемами квантования (см. рис. 1.1) наибольшая согласованность ритмики агроэкосистем и социосферы может быть достигнута при циклах их развития $C^{231} = 7 \times 33 = 231$ год

и $C^{198} = 33 \times 6 = 198$ лет соответственно. Эти циклы позволяют сформировать систему «агрозкосистема – человек» S^{594} по схеме квантования, показанной на рисунке 1.1, в, с итоговым циклом $C^{594} = 198 \times 3 = 594$ года, включающего, в том числе, три C^{198} египетской этническо-государственной системы. Наконец, формирование информационных продуктов в данной S^{594} должно осуществляться с 7-летним шагом, так как количество 33-летних шагов в каждой из трех 198-летних фаз у C^{594} слишком мало для формирования требующегося соотношения тенденций 1, 2, 3, ... подобно уравнениям (4.3) и (4.4).

Таким образом, мы получили антропогенную климатическую ритмику с циклами C^1 , C^7 , C^{594} , формируемую системой «агрозкосистема – человек» S^{594} . Эта ритмика появилась в аридной зоне с началом обработки земли человеком и отлична от климатической ритмики умеренной зоны.

В аридной зоне количество осадков непосредственно определяет величину урожая [Кирста, 1986а]. Поэтому на аридной территории Древнего Египта многолетняя динамика осадков, выпавших в бассейне Нила, динамика половодий и урожаев должны быть практически одинаковы. Очевидно, с помощью информационно-физического закона и данных многолетних наблюдений за урожаями египетским жрецам было несложно выполнить прогноз урожаев.

Успешный прогноз урожаев в Древнем Египте по 7-летним периодам, вложенным в C^{594} , приводит к определенным выводам. Известно, что этническая система S^{1089} завершает развитие дополнительным коротким циклом C^{198} . Аналогично развитие религиозных систем S^{3267} (см. рис. 1.1, в) или S^{6534} (см. рис. 1.1, б) следующего ИУ-9 должно завершаться циклом более высокого ранга по сравнению с C^{198} . В случае Древнего Египта это уже рассмотренный цикл C^{594} . Таким образом, древнеегипетская религиозная система завершила свое существование, что было, очевидно, известно египетским жрецам. Несколько позже (в 1250–1200 гг. до н.э.) иудейский народ осуществил известный исход из Египта.

После исхода из Египта малочисленный иудейский народ не мог сформировать новую этническую систему S^{1089} . Ведя оседлый образ жизни, он создал систему «агрозкосистема – человек» S^{594} , которая прошла два цикла развития C^{594} . Эти циклы известны соответственно как Период царств и Рассеяние. Второй C^{594} начался в 586 г. до н.э. после потери Иудейским царством своей независимости и вавилонского пленения иудеев. По окончании второго C^{594} иудеи вошли как этнос в христиано-иудейскую систему S^{3267} .

4.3.2. Современное состояние и перспективы развития социосферы

Объединение мировых религиозных систем. Организация христианско-иудейской религиозной системы непосредственно И.Х. не могла быть произвольной во времени. Воспользуемся эволюционным принципом наибольшей согласованности ритмики природных систем. Спустя 2000 лет мы видим, что в мире имеются три крупнейшие религиозные системы: буддизм, христианство и ислам. Появление этих мировых религий разделено циклом C^{594} , который состоит из трех C^{198} (см. рис. 1.1, в). Циклы C^{198} не входят в информационно-иерархическую организацию социосферы и биосферной растительности, а поэтому «невидимы» в ней. Это справедливо и по отношению к C^{594} , состоящему из C^{198} . Все три указанные религиозные системы активно взаимодействуют между собой и потенциально должны образовать систему следующего надрелигиозного ИУ-10, состоящую из трех параллельных религиозных БП (см. рис. 1.1, з) и имеющую цикл развития $C^{71874} = 6534 \times 11 = 71\,874$ года. Вследствие квантования и «невидимости» C^{594} для системы S^{71874} все три параллельных религиозных БП начались в ее внутрисистемном/биологическом времени одновременно. Разделение этих БП в физическом времени циклом C^{594} необходимо для включения различных народов/государств в соответствующий религиозный БП через принятие новой религии после окончания в разное время их циклов развития C^{594} .

В настоящее время надрелигиозная система S^{71874} не реализована из-за отличия цикла христианско-иудейской системы C^{3267} от циклов буддизма и ислама C^{6534} . Для существования S^{71874} христианство должно быть реформировано в S^{6534} . Для этого, вероятно, достаточно пролонгировать христианский БП до 6534 лет через создание соответствующих информационных продуктов. Христианско-иудейская S^{3267} при этом должна продолжить свое развитие и приобрести статус *социальной сопутствующей системы* S^{3267} (в силу малой численности иудеев относительно христиан и их совместного существования). Последняя будет подобна биосферной сопутствующей системе из двух параллельных БП – консументов и растительности (п. 3.1.1).

Следует учесть, что человек не может создавать по своей воле этнические системы S^{1089} и состоящие из S^{1089} системы более высоких ИУ. Христианско-иудейская система S^{3267} с информационными продуктами формировалась непосредственно И.Х. Мы можем оценить время создания первого информационного продукта, необходимого для перевода христианско-иудейской S^{3267} в S^{6534} . Воспользуемся тем, что схе-

ма квантования у S^{6534} и S^{198} одна и та же (см. рис. 1.1, б). У S^{198} первый информационный энергетический/вещественный продукт формируется согласно уравнению (4.2) в конце подготовительного периода, равного максимум 74 годам. Тогда подготовительный период у S^{6534} не должен превышать $6534 \times 74/198 = 2442$ года. Таким образом, информационные продукты у S^{6534} должны быть созданы не позже 2442 г., считая по внутрисистемному времени христианско-иудейской системы. Их создание опять должно осуществляться внешними силами, например, как второе пришествие И.Х.

Надрелигиозная S^{71874} имеет важную особенность. Она не может создавать на своей территории сопутствующие системы «растительность – человек» с рангом выше S^{99} , и поэтому она не нарушает природную климатическую ритмику. Действительно, поскольку S^{71874} уже состоит из трех параллельных религиозных БП, она не может образовывать сопутствующую систему, состоящую из двух параллельных БП – религиозного и растительности. В свою очередь, входящая в S^{71874} социальная сопутствующая христианско-иудейская система S^{3267} не позволяет на своей территории образовать сопутствующую систему «растительность – человек» S^{3267} , так как уже сформирована как два параллельных религиозных БП. Наконец, в умеренной зоне Евразии с развитой наземной растительностью не могут образовываться и сопутствующие системы «растительность – человек» S^{594} , так как количество C^{33} в каждом 198-летнем интервале их цикла C^{594} (см. рис. 1.1, в) недостаточно для формирования требующегося соотношения тенденций 1, 2, 3, ... (см. соотношения (4.3) и (4.4)).

Таким образом, с позиции информационно-физического закона создание S^{71874} является эволюционно целесообразным, так как S^{71874} не приводит к глобальной дестабилизации климата, а поэтому и дестабилизации биосферных процессов. При этом основная часть растительности Евразии должна находиться на территории двухэтнической христианско-иудейской системы S^{3267} , которая не формирует сопутствующие системы «растительность – человек» и тем обеспечивает стабильность климата. Отметим, что по этой причине христианско-иудейская система не нарушала стабильность климата в Евразии последние 2000 лет.

В данной работе мы не затрагиваем вопрос об изменении климата при смещении территориальных границ этнических S^{1089} и религиозных S^{3267} , S^{6534} . В то же время христианско-иудейская система S^{3267} после завершения в 1917 г. второй фазы развития (цикла этногенеза России C^{1089}) не начала третью фазу (см. рис. 1.1, в). Поэтому ее территория стала доступной для появления и расширения исламской сопут-

ствующей системы S^{3267} . На обретенном пространстве исламская сопутствующая система будет продолжать регулировать климатические процессы на основе режима аридного климата, отвечающего ее основной территории размещения, и формировать новые единые меридиональные потоки воздушных масс. Тем самым атмосфера на обретенном в XX в. пространстве, например, по классификации Вангенгейма – Гирса должна становиться все более меридиональной, что полностью подтверждается данными наблюдений [Виноградова и др., 2000]. Все это должно приводить к потеплению и разбалансировке внутригодовых и межгодовых климатических процессов на всей территории христиано-иудейской системы (ср. с [Balling et al., 1998]). Таким образом, мы можем выдвинуть гипотезу об обуславливаемом социосферой потеплении для всей христиано-иудейской зоны северного полушария с 1918 г. Причиной такого потепления климата является его начавшаяся регуляция исламской сопутствующей системой «растительность – человек» S^{3267} вследствие разрушения христиано-иудейской системы. Иначе это можно назвать «исламизацией» климата. Потепление идет с нарушением сложившейся за последнее тысячелетие природной климатической ритмики и должно привести также к изменению процессов развития растительности на значительной части Евразии и Америки (п. 6.3). Наблюдающиеся изменения климата и растительности в умеренных широтах Евразии уже охарактеризованы как климатическое опустынивание [Золотокрылин, 2003]. Отметим также, что связь изменений климата с развитием и падением цивилизаций установлена и для исторического прошлого Европы [Büntgen et al., 2011].

Гипотеза о социосферном характере потепления обоснована и с чисто физической точки зрения. Действительно, в ходе циклических сукцессий у наземной растительности изменяется альbedo, что ведет к циклическим изменениям теплового баланса земной поверхности и атмосферы. В свою очередь, человек постоянно воздействует на климатические процессы путем загрязнения атмосферы выбросами промышленности, вспахивания и изменение альbedo освоенных им обширных территорий (изменяются режим испарения почвенной влаги и температура приземного слоя атмосферы). Это влияние тоже имеет циклический характер с различной внутригодовой (регулярные выходные дни, праздники) и многолетней (севооборот сельскохозяйственных полей, сдвиг религиозных праздников по календарным числам) ритмикой. При таких воздействиях, очевидно, будет формироваться и определенная ритмика атмосферных процессов. В физике данное явление известно как вынужденные колебания и параметрический

резонанс динамических систем. Таким образом, предложенная гипотеза естественным образом дополняет общепризнаваемую причину глобального потепления – это выбросы промышленностью и транспортом больших количеств CO_2 из-за сжигания топлива. Что же касается собственно информационного влияния динамических систем друг на друга, то уже сказано, что информацию можно рассматривать как одну из статистических характеристик динамики переменных и поэтому с полным правом применять ее при описании воздействия одной системы на другую, в данном случае социосферы на атмосферу.

Изменения климата являются результатом совокупного действия ряда факторов, в том числе космо- и солнечно-земных связей, антропогенного воздействия на атмосферные процессы и др., об относительной значимости которых до сих пор идут споры. Выдвинутая гипотеза касается лишь одного из этих факторов – резонансного воздействия ритмики расширяющейся исламской системы хозяйствования на ритмику мезоклимата (с одновременной организацией единой территориальной ритмики потоков тепла и влаги), а через него и на глобальное потепление. Действительно, формирование исламской системой S^{6534} единообразного по всей территории теплообмена с атмосферой должно привести к проникновению потоков теплого воздуха все дальше на север, а холодных – на юг. Данная ситуация подтверждается, в частности, приведенными в главе 6 (см. табл. 6.2) результатами расчетов соответствующих климатических трендов для зернопроизводящих зон России и США.

С изложенной точки зрения можно оценить последствия, например, возникновения на российской территории нового дополнительного к существующему режима жизнедеятельности населения. Теоретически это может быть подчинение ряда республик страны исламскому регулированию жизнедеятельности на государственном уровне. В этом случае произойдет окончательное разрушение единой от Атлантического до Тихого океанов ритмики атмосферных процессов с серьезными социально-экономическими последствиями для всего населения данной территории.

Современное состояние христиано-иудейской религиозной системы. Выполнение двух первых 1089-летних фаз в 3267-летнем развитии христиано-иудейской религиозной системы обеспечили западноевропейский и русский христианские этносы (п. 4.1.1). Вторая фаза закончилась в 1917 г. с Октябрьской революцией в России. Третья 1089-летняя фаза должна была бы осуществиться в Юго-Восточной Азии.

Действительно, мутагенный толчок «накрывает» определенную область Земли со всеми этносами и обновляет их генофонд, обеспечивая им новое 1000-летнее развитие [Гумилев, 1989, 1990]. В нашем случае мутагенный толчок должен получить большой, принявший христианство этнос, свободный от иудейской диаспоры. Только так христианский и иудейский религиозные процессы могут быть организованы как два взаимосвязанных параллельных БП религиозного ИУ-9, а не как две независимые этнические системы ИУ-8, сосуществующие в одном регионе. Именно Юго-Восточная Азия является регионом, где иудейская диаспора пренебрежимо мала. Этносы Юго-Восточной Азии имеют большие генофонды, полностью новые по отношению к иудейскому. Тем самым потенциально они могут обновить генофонд иудейского этноса и обеспечить его следующее 1089-летнее существование. В свою очередь, созданная И.Х. христиано-иудейская система при осуществлении ее третьей фазы обеспечит устойчивое существование всех христианских стран.

Сейчас христиано-иудейская система разрушается, так как ни один из крупных этносов Юго-Восточной Азии не принял христианство и не начал ее третью 1089-летнюю фазу. Было ошибкой уничтожение христианства и введение коммунистической идеологии именно в русском этносе, который являлся основой христиано-иудейской системы в ее второй фазе. В результате не христианская, а коммунистическая идеология была передана русским этносом, например, китайскому после Второй мировой войны. Любопытно, что первый руководитель коммунистического Китая Мао Цзэдун все же был связан с христианством, будучи крещеным католической монахиней в 1936 г. Как следствие начавшегося разрушения христиано-иудейской системы у иудейского этноса прекратилось рассеяние и появилось самостоятельное государство Израиль. Разрушение обусловило также уменьшающиеся доли контролируемых территорий, долю населения и долю в мировом экономическом продукте у рассматриваемой системы [Яковец, 1999].

1089-летние циклы развития этносов оканчиваются 198-летним циклом(ами) его стагнации/разрушения (п. 4.1.2). В 198-летним цикле существования находятся сейчас все три этноса – русский (с 1917 г.), китайский (с 1946 г.) и иудейский (с 1948 г.). Российский цикл инициирован революцией 1917 г. и уже ощущается российским обществом как скатывание «в пропасть» [Усольцев, 2012]. Начавшийся сразу после окончания Второй мировой войны 198-летний цикл китайского этноса характеризуется «рукотворной» коммунистической идеологией. 198-летний цикл иудейского этноса реализован через провозглашение

государства Израиль и создание Временного правительства в мае 1948 г. в соответствии с резолюцией Генеральной Ассамблеи ООН. Циклы русского и иудейского этносов не обеспечены обновленным генофондом [Гумилев, 1989, 1990] и непосредственно не связаны с СФО социосферы (см. рис. 4.2), что должно привести в дальнейшем к исчезновению этносов. Поэтому текущей задачей христиано-иудейской системы S^{3267} является ее самовосстановление через побуждение нового крупного юго-восточного этноса к принятию христианства. Такая возможность, видимо, еще существует для китайского этноса. После 2020 г. китайская S^{198} уже сформирует свой первый информационный продукт (1946 + 74-летний подготовительный период = 2020 г.), и ее трансформация в S^{1089} станет невозможной (ср. с ролью точки рестрикции в цикле клеточного деления, рассмотренного в п. 4.2). Отметим, что в 2014 г. (1948 + $2 \times 33 = 2014$) будут завершены два C^{33} в 198-летнем цикле иудейского этноса, и христиано-иудейская S^{3267} должна «ощутить» отсутствие своих параллельных C^{1089} христианского и иудейского этносов, т.е. свое начавшееся разрушение. При продолжении своих 198-летних циклов и Израиль, и Китай войдут во временной период T_1 . Напомним (п. 4.1.2), что этот период у США был реализован в форме гражданской войны, а у России – как «перестройка».

Представляется маловероятным, что при отсутствии христиано-иудейской системы русский этнос в лице России сможет войти после 2115 г. (отсчет по внутрисистемному времени) в следующий 198-летний цикл. Данный вывод с очевидностью следует из критического состояния его генофонда, в том числе вследствие деградации среды обитания [Протасов, Молчанов, 1995, с. 115].

Проблемы развития социосферы. Эволюционное формирование СФО социосферы, как и СФО биосферы, подчиняется универсальному закону накопления информации. При этом социосфера и биосфера являются организационно независимыми гомологичными биосистемами, состоящими из иерархически подчиненных подсистем ИУ возрастающего ранга. Поэтому чтобы оценить текущее состояние человеческого общества или биосферных систем и предсказать их развитие, необходимо знать текущее время их часов.

На основе системного информационно-иерархического подхода несложно выполнить прогноз развития этносов и государств, включая сроки наступления критических состояний этих систем при формировании их информационных временных продуктов. В настоящее время на Земле имеется более 260 этносов (народов) с численностью более 1 млн человек каждый. Таким образом, мы имеем новую научную область – управление развитием государств как эволюционно разви-

вающихся иерархических систем, вписанных в СФО социосферы. Очевидно, что любые концепции устойчивого развития государств должны учитывать информационные закономерности их функционирования и ход их внутрисистемного времени.

В настоящее время вся христиано-иудейская система поставлена перед серьезными проблемами: что следует предпринять для прекращения ее разрушения, как начать третью 1089-летнюю фазу ее развития, как побудить крупный юго-восточный этнос принять христианство, чтобы начать эту фазу.

Полученные выше результаты показывают, что невозможно обеспечение стабильности социосферы в рамках известной концепции «золотого миллиарда», которая подразумевает развитие экуменического варианта иудео-христианства и сохранение у этого миллиарда прежнего уровня потребления ресурсов Земли. Под «золотым миллиардом» подразумевается население 24 стран Европы и мира, входящих в Организацию экономического сотрудничества и развития – ОЭСР (Organization for Economic Cooperation and Development – OECD) [Кара-Мурза, 1999]. Напомним, что сам человек не может целенаправленно формировать даже этнические ИУ социосферы (п. 4.1.2). Он может создать лишь короткие 198-летние циклы стагнации/деградации этносов или 594-летний цикл системы «агрэкокосистема – человек» в аридной зоне. Таким образом, данная концепция теоретически просто несостоятельна.

Также требует решения проблема дестабилизации климата (роста неустойчивости климатических процессов и числа климатических катастроф) из-за нарушения взаимодействия социосферы и биосферы в условиях возросшей средней продолжительности жизни людей.

Обеспечивая себя пищей, человек может взаимодействовать с биосферой только традиционным образом, как все консументы. В противном случае вмешательство человека в функционирование биосферных ИУ будет означать появление дополнительного БП в их организации, изменение схем квантования и их выпадение из биосферной СФО. Это приведет к последовательной деградации все более высоких ИУ и разрушению развитой за миллиарды лет СФО биосферы. Таким образом, сохранение человеком своей среды обитания возможно только через восстановление и поддержание эволюционно выработанной организации каждого биосферного ИУ согласно их схемам квантования. Тем самым развитый системный информационно-иерархический подход служит целям дальнейшего развития концепции «ноосферы» В.И. Вернадского.

Выводы

1. Показано, что организация социосферы является иерархической, начиная от молекулярных иерархических уровней до религиозных. Временные циклы функционирования иерархических уровней последовательно вкладываются друг в друга по определенным схемам, определяемым информационно-физическим законом развития природных систем. Временные циклы уровней имеют длительности 1 с, 6 с, 40 с, 1 сут., 11 сут., 1 год, 33 года, 1089 лет, 6534 года или 3267 лет и все вместе составляют «социосферные часы», аналогичные ранее установленным «биосферным часам».
2. Совокупность циклов от 1 с до 33 лет представляет собой непосредственно биологические часы человека, центральным механизмом которых является информационно-иерархическая организация клеточного метаболизма. Установленные информационный принцип работы и механизм биологических часов позволяют решать различные задачи хрономедицины, например лечение прогерии.
3. Подтверждена и математически обоснована теория этногенеза Л.Н. Гумилева, характеризующая формирование этнического ИУ социосферы. Показано, что человек не способен формировать по собственной воле иерархическую СФО социосферы и организует лишь этническо-государственные системы с 198-летними циклами развития, не входящие в социосферную СФО.
4. Развитый системный информационно-иерархический подход дает принципиальную возможность анализа и прогноза развития социальных (религиозных, этнических, этническо-государственных) систем. Показано, что вступление единой христиано-иудейской религиозной системы в следующий 1089-летний цикл существования сейчас зависит от принятия христианства новым крупным этносом.
5. Устойчивое развитие современной социосферы на основе известной концепции «золотого миллиарда» теоретически несостоятельно. Реализация данной концепции может обеспечить лишь 198-летние циклы стагнации/деградации этносов или, как максимум, 594-летний цикл существования системы «агрэкосистема – человек» в аридной зоне.
6. Установлено, что растительность биосферы и социосфера взаимодействуют друг с другом как информационно-иерархические системы. Результатом их взаимодействия является закономерная иерархически организованная динамика климата, которая характеризуется четырьмя типами информации.

-
-
7. Охарактеризовано информационно-ритмическое влияние растительности и человеческого общества на динамику климата в умеренной и аридной зонах. Показано, что стабильность климата Евразии на протяжении двух последних тысячелетий обеспечивалась специфической структурой христиано-иудейской религиозной системы.
 8. Наблюдающаяся повсеместно дестабилизация климатических процессов имеет информационный характер и обусловлена увеличением средней продолжительности жизни населения. При этом 33-летние циклы ИУ-7 биосферы и ИУ-7 социосферы в сопутствующей системе «растительность – человек» S^{99} уже не совпадают друг с другом, что с неизбежностью приводит к прогрессирующей дестабилизации как самой S^{99} , так и формируемой ею климатической ритмики.
 9. Предложено объяснение глобального потепления как результата расширения исламской религиозной системы на территорию разрушающейся христиано-иудейской системы и усиления с этим информационно-ритмического влияния первой на климат.
 10. Выявлена потенциально существующая информационно-иерархическая организация человеческого общества с циклом развития 71 874 г. Она состоит из трех мировых религий в качестве подсистем и обеспечивает как стабильность климата, так и сохранение эволюционно развитой СФО биосферы. Формирование этой организации зависит от восстановления в ближайшие годы христиано-иудейской религиозной системы. В противном случае следует ожидать радикальных нарушений ритмики климатических и биосферных процессов в Евразии.
 11. Заложены основы новой области исследований – информационной климатологии, позволяющей решить проблему долгосрочных прогнозов климатических изменений. В частности, информационно обусловленная динамика климатических факторов (температур и осадков) позволяет корректно определить границы периодов для расчета средних значений этих факторов и их трендов.

Глава 5

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРИРОДНЫХ ЭВОЛЮЦИОННЫХ СИСТЕМ

Большинство исследователей, работающих в области естественных наук, рассматривают биосферные объекты как эволюционно выработанную организацию вещества и энергии, а взаимодействия объектов – как обмен между ними веществом, энергией и в исключительных случаях некой конкретно не определяемой информацией [Камшилов, 1979; Реймерс, 1990]. На этих представлениях основана и разработка математических моделей (ММ), где применяется достаточно абстрактное математическое описание взаимодействий реальных объектов.

Согласно изложенному в предыдущих главах у БС каждого биосферного ИУ имеется свой временной цикл существования, в который вкладываются меньшие циклы БС предшествующего по рангу ИУ. Это вложение осуществляется по строго определенным схемам квантования, которые являются одновременно механизмом отсчета собственного времени БС. В современных представлениях о биосферных системах практически отсутствует понимание их как целостных БС, имеющих единообразную организацию начиная с ИУ молекулярно-генетических взаимодействий. Это можно целиком отнести и к моделированию экосистем. Именно с этим обстоятельством связана низкая адекватность большинства разработанных ММ экосистем или социоекосистем и их низкая эффективность для прогнозирования. В качестве примера здесь можно назвать широко известные глобальные ММ Римского клуба.

5.1. Современное состояние моделирования экосистем

Изучение функционирования и математическое моделирование сложноорганизованных природных систем/экосистем как в теоретическом, так и в прикладном аспекте началось достаточно давно [Monsi, Saeki, 1953; Ляпунов, Яблонский, 1964; Systems..., 1972–1974; Месарович и др., 1973; Николис, Пригожин, 1979; Касти, 1982; Jeffers, 1988; Система..., 1988; Николис, 1989; Jorgensen et al., 1995]. В результате был разработан ряд подходов и методов экологического моделирова-

ния, применимых к описанию динамики экосистем и/или развития растительности как их важнейшего компонента. Эти подходы охарактеризованы в ряде обзоров [Бихеле и др., 1980; Сиротенко, 1981; Розенберг, 1980, 1984; Моделирование..., 1986]. Исследования и моделирование собственно иерархической структуры экосистем и в частности растительности начались только в 1980-х гг. [Крапивин и др., 1982; Allen, Starr, 1982; Tiller, 1986; Николис, 1989; Гуляев и др., 1991], хотя теоретическая база для этого начала создаваться еще в 1960-х гг. [Берталанфи, 1969]. Не углубляясь в исторический экскурс, рассмотрим современное положение дел в экологическом моделировании.

Количество различных ММ, описывающих экологические/природные системы, сейчас уже весьма значительно и продолжает увеличиваться [Developments..., 1981–2003; Nielsen, 2000; Fundamentals..., 2001; Krivtsov, 2004]. Данная ситуация обусловлена многочисленными проблемами рационального природопользования и попытками сохранения разрушающихся экосистем путем целенаправленной, математически обоснованной регуляции их процессов. Росту количества ММ способствует также прогресс в экологическом моделировании. Однако многие процессы в экосистемах из-за большого разнообразия изучены далеко не достаточно, и для повышения адекватности ММ требуются дальнейшие экспериментальные исследования.

Большое количество ММ требует их классификации. В связи с развитием экологического моделирования последняя должна постоянно дорабатываться и расширяться. Поэтому построение более или менее полной классификации целесообразно совмещать с базами данных по ММ экосистем [Knorringschild et al., 1996]. Совмещенные классификацию и структуру таких баз можно разработать в рамках информационно-иерархического подхода, используя иерархическое строение БС биосферы. В этом случае универсальные и специализированные ММ, отвечающие определенному ИУ биосферы, одновременно могли бы использоваться как компоненты ММ, принадлежащих более высокому ИУ. Базы данных по ММ должны быть дополнены базами по значениям параметров ММ [Brenner et al., 2003], специфичных для различных регионов и экосистем. С созданием таких баз становится реальной разработка составных иерархически организованных ММ [Марчук, 1982; Крапивин и др., 1982; Израэль, 1984; Guariso, Werthner, 1989; Bragg et al., 2004], применение которых в экологическом моделировании имеет значительные перспективы.

Применяемые в моделировании экологических/природных систем подходы и ММ в целом можно разделить на два класса: *эмпирические* и *аналитические*. Нередко в ММ используются комбинации

подходов обоих классов. Эмпирические подходы не ставят своей целью выяснение СФО экосистем (т.е. конкретных физических, биохимических и других процессов) и обычно опираются на различные методы математической статистики. В отличие от этого аналитические подходы направлены на исследование непосредственно СФО, включая потоки вещества и энергии, причинно-следственные взаимоотношения между компонентами экосистем, а также биотическими и абиотическими факторами среды. Вне рамок рассматриваемых подходов проводятся также специальные исследования по новым концепциям развития экосистем. Например, это термодинамическая [Jorgensen, Svirezhev, 2004] и информационная [Fath, Cabezas, 2004; Svirezhev, 2004] концепции, концепция эластичности/устойчивости [Kristensen N.P. et al., 2003; Schulte et al., 2003] и др. Будущий прикладной потенциал в моделировании у таких концепций неясен, и здесь мы их не рассматриваем.

Эмпирические подходы. Они обычно используются при недостатке данных о структуре экосистем. К этим подходам можно отнести:

- стохастико-динамическое моделирование [Cabecinha et al., 2004; Favier et al., 2004];
- методы многомерного статистического анализа [Hettlich, Rezenzweig, 2003; Kristensen S.P., 2003];
- матричные ММ [Choi, Ryoo, 2003];
- вероятностное экологическое моделирование [Benabdellah et al., 2003];
- моделирование на основе нейронных сетей [Gevrey et al., 2003; Lee et al., 2003];
- ММ, основанные на накопленном эмпирическом опыте (экспертные системы) [Ozesmi V., Ozesmi S.L., 2004];
- самоорганизующееся моделирование [Ивахненко, 1982; Ивахненко, Мюллер, 1985; Timoshevskii et al., 2003], и др.

В качестве примера рассмотрим широко используемые ММ программирования урожая сельскохозяйственных культур, основанные на регрессионных зависимостях. В основе таких ММ лежат самые общие связи между факторами среды и урожаем. Коэффициенты соответствующего регрессионного уравнения определяются по данным о количественных изменениях этих факторов и урожая на протяжении ряда лет. Для достаточно надежной оценки коэффициентов и достижения необходимой точности ММ этот ряд должен составлять не менее 10 лет. Точность расчетов здесь невысока, хотя и приемлема для практического использования при программировании урожая. Такие ММ являются адекватными для своего типа, т.е. оценивают/прогнозируют

величину урожая с определенной надежностью и точностью, причем только для конкретных экологических условий развития растительности и допустимых вариаций учитываемых в регрессии факторов. При изменении экологических условий, например по прошествии достаточного времени или переходе к другому местообитанию, ММ становятся неадекватными. Для них требуется не только новое определение всех коэффициентов, но иногда и замена ММ на новые. Необходимость изменения ММ здесь обусловлена уже не недостатком данных наблюдений, а излишне упрощенным описанием в виде регрессионной зависимости урожая от условий среды. Регрессионные уравнения не могут отразить реальных зависимостей урожая от всего комплекса взаимодействующих компонентов агроценоза и факторов среды, а поэтому становятся неверными в случае изменения этого комплекса во времени или пространстве. Более того, если характерный период таких изменений составляет менее 10 лет, которые требуются для построения уравнения регрессии, то использование регрессии вообще теряет смысл.

Аналитические подходы. Очевидно, прогноз развития экосистем является одной из важнейших целей экологического моделирования. При современном уровне моделирования эмпирический и аналитический классы ММ имеют приблизительно одинаковые прогностические возможности [Matala et al., 2003]. Однако только системные аналитические подходы позволяют выяснить СФО исследуемых экосистем и тем самым лучше понять закономерности их функционирования. Именно они могут обеспечить долгосрочное прогнозирование и управление развитием экосистем.

По мере накопления экспериментальных данных о СФО конкретных экосистем, повышения требований к точности описания и прогнозирования их поведения эмпирические подходы становятся явно неудовлетворительными. В этом случае применение аналитических подходов становится целесообразным и продуктивным. И не случайно с наращиванием исследований экосистем эмпирические подходы начинают постепенно заменяться на аналитические.

Первые аналитические ММ развития растительности/экосистем разработаны в 1950-х гг. [Monsi, Saeki, 1953; Хильми, 1957; Davidson, Philip, 1958; Gaastra, 1959]. Появление компьютеров и реализуемых на них вычислительных методов позволило проанализировать и количественно оценить различные функциональные зависимости между экологическими факторами и процессами [DeWit, 1965; Goodall, 1967; Idso, 1968], что дало мощный толчок развитию аналитического моделирования [Wit, Goudriaan, 1978; Бихеле и др., 1980; Розенберг, 1981, 1984]. ММ можно разделить на две группы:

- традиционные ММ процессов переноса вещества и энергии в экосистемах [Drouet, Pages, 2003; Potter, 2004; Santos, Costa, 2004], которые сейчас активно объединяются с пространственным ГИС-моделированием [Matejicek et al., 2003; Store, Jokimaki, 2003]. Мы не будем выделять различные типы традиционных ММ, поскольку в них не отражается единообразная информационно-иерархическая организация всех БС биосферы, обязательная для учета в адекватных ММ;
- моделирование, основанное на информационных системно-иерархических подходах, позволяющих анализировать и отражать в ММ реальную информационно обусловленную организацию экосистем. Этот метод моделирования разработан в начале 1990-х гг. [Кирста, 1991; Kirsta, 1992, 1994; b], и мы будем называть его системно-аналитическим моделированием (САМ).

Кратко охарактеризуем традиционные аналитические ММ. Аналитические ММ экосистем (в том числе агроэкосистем – как частный случай) приобрели широкое распространение. В большинстве эти ММ базируются на математическом аппарате дифференциальных уравнений, который хорошо разработан и используется в математической физике, химии и других науках. ММ обычно представляют собой сложные системы дифференциальных уравнений, решаемых с помощью специализированных компьютерных программ. В отличие от эмпирических ММ, опирающихся преимущественно на данные о количественных изменениях компонентов моделируемой экосистемы, аналитические ММ используют информацию о СФО, т.е. факт существования, форму и количественные характеристики важнейших взаимодействий между компонентами экосистемы ([Титлянова, 1977; Титлянова и др., 1982]).

Как пример аналитического подхода рассмотрим построение традиционных имитационных ММ и возникающие при этом проблемы [The Ecosystem..., 1969; Моисеев, 1973, 1981; Шеннон, 1978; Розенберг, 1984; Кирста, 1986а]. Разработка имитационных ММ подразумевает выполнение двух общих процедур. Первая – описание топологического строения СФО моделируемой экосистемы в виде графической схемы и отвечающей этой схеме системы уравнений. Вторая – достижение приемлемого совпадения расчетных и экспериментальных (обычно недостаточных) данных путем подбора параметров или трансформации уравнений; анализ поведения ММ при различных вариациях ее параметров и внешних факторов. Совпадение расчетной и наблюдаемой динамики экосистемы в основном достигается за счет

подбора параметров уравнений, описывающих экосистемные процессы и их связи между собой и с различными факторами среды. При моделировании экосистем проверка существования и формы этих связей, равно как и оценка степени их адекватности, как правило, ограничены объемом экспериментальных данных.

Построение сложных ММ должно выполняться с использованием длинных рядов параллельных наблюдений за динамикой экосистемных процессов. Только при этом условии можно из большого числа возможных вариантов описания СФО выбрать правильный. Иначе говоря, в параллельных рядах продолжительных наблюдений за динамикой экосистемы содержится неявным образом информация о ее реальной СФО. В существующих разработках имитационных, и в целом аналитических ММ эта информация используется минимально из-за отсутствия методов ее прямого выявления. В то же время для любой аналитической ММ информация о СФО является основной. Функционирование любой экосистемы как целого и сложная динамика ее процессов нередко определяются не столько формой/видом причинно-следственных связей, сколько собственно их наличием, т.е. самой топологией/схемой СФО экосистемы. Именно по этой причине экспериментальные данные о конкретном взаимодействии компонентов СФО экосистем допускают, как правило, различные варианты его математического описания: линейной, степенной, экспоненциальной, S-образной или иной аналитической зависимостью [Baier, 1969; Гильманов, 1978].

Недопонимание важности выявления конкретных СФО экосистем по длинным рядам данных о динамике их процессов часто приводит к элементарной подгонке расчетных и экспериментальных данных за счет введения в ММ новых параметров и искусственного усложнения формы математических зависимостей. Несмотря на такое приближенное описание СФО, имитационное моделирование считается эффективным средством для количественного прогнозирования динамики экологических/природных систем.

В свою очередь, САМ основано на системном информационно-иерархическом подходе и может применяться к эволюционно развитым природным (биологическим, экологическим, социальным) системам с иерархической СФО. Согласно этому подходу все эволюционно развитые БС биосферы представляют собой подсистемы одного из биосферных ИУ, имеют собственный цикл функционирования с одним или более циклическими БП и обладают максимальным значением информации о своей организации (схеме квантования).

Данный подход отличается от большинства существующих, например от известной концепции иерархического континуума [Allen, Start, 1982]. Особенностью и основным преимуществом САМ является

возможность установить и количественно оценить неизвестные взаимодействия между компонентами исследуемой природной системы. Это достигается специальной обработкой данных многолетних наблюдений за ее динамикой и изменениями факторов среды. При этой обработке используется информация о СФО системы, неявно содержащаяся в параллельных рядах данных о взаимообусловленной динамике ее основных процессов.

Важной особенностью САМ, отличающего его от аналитического моделирования, является описание динамики иерархически организованных природных систем по временным интервалам, задаваемым информационным законом. Еще одним отличием САМ является одна теоретически наименьшая погрешность описания СФО и две конечные теоретически наименьшие погрешности описания базовых процессов в экосистемах – по временным и количественным характеристикам. Все три погрешности/точности определяются информационными закономерностями функционирования отдельных ИУ экосистем (рассматриваются ниже). Существование этих погрешностей, в частности, позволяет прекратить бесконечные попытки улучшить точность ММ экосистем и растительности (см., например, [Todorovski et al., 2003]).

Следует указать на некоторые методы моделирования, подобные САМ. Они известны как методы получения уравнений и включают:

- моделирование, интегрирующее знания (integrating knowledge-based modelling) [Dzeroski, Todorovski et al., 2003];
- моделирование с решением обратной задачи (inverse modelling), использующее такую технику оптимизации, как поиск по «золотым» сечениям (golden section search) и генетический алгоритм (genetic algorithm), с целью определения параметров, обеспечивающих наилучшее соответствие с наблюдаемыми характеристиками системы [Cropper, Anderson, 2004];
- автоматическое моделирование (automated modelling), которое позволяет по данным наблюдений изменять как значения параметров, так и структуру уравнений [Todorovski et al., 2003].

Все подобные методы, к сожалению, не обеспечивают достижения наилучшей точности ММ, поскольку используют ограниченный набор возможных взаимосвязей между переменными ММ.

5.2. Методология системно-аналитического моделирования и точность математических моделей

5.2.1. Системный информационно-иерархический подход и язык моделирования

Системный информационно-иерархический подход. Для разработки ММ сложноорганизованных природных систем/экосистем обычно используется системный, или, точнее, системно-иерархический подход, разработанный еще в 1970-х гг. [Ляпунов, Титлянова, 1971; Systems..., 1972–1974; Форрестер, 1978; Patten, 1978; Куркин, Матвеев, 1981, и др.]. Вместе с информационным законом он составляет основу применяемого системного информационно-иерархического подхода.

В соответствии с информационно-иерархическим подходом под СФО понимается целостная иерархическая система взаимодействующих биотических и абиотических компонентов исследуемого объекта. Это могут быть структурные компоненты: биомасса растений или их отдельных органов, количество влаги в почве и др., или функциональные: температура среды, солнечная радиация, скорость ветра и т.д., которые принято называть факторами. Каждому ИУ СФО отвечают свои структурные компоненты и факторы. Факторы могут быть внешними и внутренними. Первые не зависят от рассматриваемых в СФО компонентов и представляют собой внешние по отношению к моделируемой системе условия среды. Вторые, внутренние факторы зависят от взаимодействующих компонентов системы, например это может быть напряженность водного баланса растений, определяемая запасами влаги в почве, испаряемостью и особенностями самих растений [Кирста, 1986а].

Иерархическая СФО экосистем, подобно СФО всех природных БС, состоит из «уровневых» СФО, характеризующих динамику отдельных ИУ. Эти СФО достаточно независимы друг от друга, и каждая из них имеет свою схему квантования БП, или, иначе, уровневую подпрограмму циклического развития БС. Объединение (последовательное подчинение) уровневых СФО осуществляется строго по иерархии ИУ общей СФО через продукты БП этих ИУ. Продукт БП каждого ИУ как результат завершённой работы уровневой подпрограммы используется в качестве субстрата при формировании продукта БП следующего ИУ. Тем самым одновременно обеспечивается и независимость работы уровневых подпрограмм, и объединение всех уровневых СФО в одну общую иерархическую СФО экосистемы. Примером может

служить работа уровневой подпрограммы сборки рибосомы *E. coli* из белков-субстратов, являющихся результатом работы подпрограмм более низкого ИУ (см. главу 3). Следует напомнить, что продукт БП образуется в каждой фазе временного цикла ИУ, и каждая фаза может иметь свои особенности СФО, отличающие ее от других фаз цикла.

Основными целями моделирования экосистем являются выяснение их СФО, прогноз и управление развитием. Традиционный недостаток информации о СФО и количественной динамике экосистемных процессов обычно позволяет использовать в ММ только один ИУ СФО экосистемы. Каждый компонент и взаимодействие моделируемого ИУ являются некоторой совокупностью соответствующих составляющих низшего ИУ, данные о которых в ММ непосредственно не включаются. Эти данные должны учитываться в совокупности и усредняться во времени и пространстве с шагом, отвечающим моделируемому ИУ.

Приведем простейший пример учета динамики составляющих СФО более низкого ИУ СФО. Так, при характеристике внутригодичного хода транспирации фитоценозов нами использовались интенсивности транспирации растений за отдельные дни [Кирста, 1983, 1986а]. Данные наблюдений усреднялись по временному шагу ММ (месяцам) и фазам цикла ИУ годовой вегетации (сезонам), а затем суммировались по всем видам растений на выбранной территории. Тем самым данные для суточных фаз трехдневного временного цикла ИУ-5 (см. рис. 3.2) использованы в ММ для более высокого ИУ-6 внутригодичной динамики развития растительности.

Включение в ММ низших ИУ по сравнению с выбранным не означает повышения точности ММ. Это связано с тем, что каждому ИУ СФО экосистемы отвечает определенная минимальная погрешность его описания в ММ. Последняя обусловлена случайными влияниями на взаимодействия компонентов множества различных факторов. Поэтому точность ММ может расти лишь до определенных пределов, которые будут определены ниже.

При разработке ММ выполняется анализ и математическое описание экосистемных процессов на протяжении нескольких временных циклов выбранного ИУ. Последние же организованы в цикл следующего, более высокого ИУ СФО, который в ММ непосредственно не рассматривается. Влияние СФО этого ИУ может учитываться через медленно меняющиеся параметры (или переменные) уравнений. Так, в ММ пустынных экосистем [Кирста, 1986а], описывающей сезонное развитие растений, такой медленно меняющейся переменной являлась биомасса их многолетних органов.

Наконец, одной из основных целей моделирования экосистем является прогнозирование их развития. Очевидно, что максимальный

срок прогноза будет ограничен временным циклом наиболее высокого из моделируемых ИУ экосистемы.

Язык моделирования. Объективно язык моделирования экосистем должен удовлетворять целому ряду требований. В основе функционирования экосистем лежат эволюционно выработанные СФО их ИУ, а также известные физические, химические и биологические законы и закономерности. Эти СФО, законы и закономерности имеют детерминированный характер, как, например, законы сохранения вещества и энергии. В то же время функционирование экосистем осуществляется под воздействием внешних факторов среды, имеющих стохастическую природу. Все это означает, что язык ММ должен быть детерминированным и одновременно допускать включение в ММ вероятностных (стохастических) взаимодействий, не являющихся принципиальными для функционирования экосистем.

Язык моделирования должен быть также дискретным. Каждому выбранному для моделирования ИУ экосистемы отвечает своя схема квантования БП, определяющая протекание всех процессов ИУ. Минимальным промежутком времени, различимым в динамике последнего, является временной цикл предшествующего ИУ. Этот цикл и будет составлять шаг адекватного описания динамики экосистемы на выбранном ИУ. При необходимости описания экосистемных процессов с меньшим шагом по времени «автоматически» осуществляется переход на низший ИУ уже со своей СФО и БП. На низшем ИУ вновь должен использоваться фиксированный шаг описания процессов, равный циклу следующего низшего ИУ экосистемы. Аналогичная ситуация, очевидно, повторяется вплоть до молекулярно-генетических ИУ экосистем. Данная особенность взаимодействий компонентов ИУ экосистем, когда взаимодействиями отвечают характерные временные интервалы, давно известна из экспериментальных наблюдений. Одним из примеров здесь может служить зависимость физиологических процессов у растений от ведущих факторов среды, которая стабильно проявляется только при определенных периодах осреднения этих процессов [Малкина и др., 1970].

С учетом изложенного в качестве языка, обеспечивающего возможность построения адекватной ММ, можно предложить следующую систему алгебраических уравнений:

$$\bar{Y}^i = \bar{F}^i(\bar{Y}^{i-1}, \dots, \bar{Y}^{i-2}, \dots, \bar{Y}^{i-j}; \bar{X}^i, \dots, \bar{X}^{i-1}, \dots, \bar{X}^{i-r}), \quad (5.1)$$

где i, j, r – индексы, отвечающие шагам расчета ММ по времени, $i = 0, 1, 2, \dots, j = 0, 1, 2, \dots, r = 0, 1, 2, \dots$; $\bar{Y}^i = (\bar{Y}_1^i, \bar{Y}_2^i, \dots, \bar{Y}_n^i)$ – вектор из n переменных ММ, относящихся к i -му шагу и характеризующих со-

стояние системы в выбранной области пространства; $\vec{X}^i = (\vec{X}_1^i, \vec{X}_2^i, \dots, \vec{X}_m^i)$ – вектор из m внешних факторов, т.е. внешних воздействий, величины которых в ММ непосредственно не рассчитываются и задаются как исходные; \vec{F}^i – вектор-функция, согласно которой вектор переменных \vec{Y}^i ставится в однозначное соответствие переменным и факторам, перечисленным в правой части (5.1).

В выражении (5.1) предполагается изотропность экосистемы в рассматриваемой области пространства и тем самым учитываются общие/средние для этой области особенности экосистемных процессов. Переменные в левой части (5.1) характеризуют состояние компонентов СФО, включая внутренние факторы. Переменные i -го шага по времени ставятся в соответствие переменным, относящимся к предыдущим шагам. В природных БС с эволюционно выработанными иерархическими СФО в качестве субстрата у БП каждого ИУ используется уже сформированный продукт БП низшего ИУ. Это означает, что на каждом i -м шаге, который выбирается равным циклу более низкого ИУ, используется продукт БП, уже сформированный за предыдущий шаг ($i-1$). Иначе говоря, текущее значение переменных ММ всегда является результатом функционирования экосистемы на предыдущем(их) шаге(ах). Например, это зависимость развития пустынной растительности от метеорологических условий ее весенней вегетации (условий цветения, а значит и продукции семян) в два предшествующих года [Кирста, 1986а, б].

Вектор внешних факторов \vec{X}^i всегда известен и определяется по данным экспериментальных наблюдений. Поскольку в правой части системы уравнений (5.1) отсутствует вектор переменных \vec{Y}^i , не возникает и типичная для всех аналитических ММ с дифференциальными уравнениями проблема проверки (5.1) на существование решения и его единственность. Отметим, что существование и единственность решения (5.1) не является специальным «математическим ухищрением» и лишь отражает наличие у экосистем закономерной динамики развития.

Таким образом, система уравнений (5.1) является достаточно универсальным языком для математического моделирования экосистем. Она наиболее предпочтительна из всех остальных языков, поскольку характеризует (имитирует) непосредственно квантование ИУ и динамики экосистем.

Система уравнений (5.1) проста по структуре и удобна для практического использования. Очевидно, ее несложно дополнить математическим аппаратом традиционных разностных уравнений, являющихся близким аналогом дифференциальных, аппаратом матричной

алгебры, теории графов и др. Различные языки моделирования могут использоваться в рамках (5.1) одновременно, т.е. отдельные выделенные блоки СФО моделируемого ИУ могут описываться как подмодель на каждом временном шаге с помощью выбранных для них математических средств.

Блочная структура ММ позволяет дополнительно к (5.1) использовать стохастические зависимости и дифференциальные уравнения. Применение последних традиционно при моделировании процессов, в основе которых лежат слабо зависящие от иерархического строения СФО экосистем «элементарные» законы и закономерности. Например, это могут быть физические процессы диффузии влаги в почве или CO_2 в атмосфере и т.п. Описанный с помощью дифференциальных уравнений блок рассчитывается для отдельных временных шагов самостоятельно и имеет свои «входные» и «выходные» переменные. Последние затем учитываются в общей ММ по каждому временному шагу моделируемого ИУ экосистемы.

Отметим, что охарактеризованный язык моделирования был успешно реализован при разработке аналитических ММ пустынных экосистем [Кирста, 1986а] и агроэкосистем (п. 5.3).

5.2.2. Метод моделирования и три теоретически наилучшие точности математических моделей

Метод моделирования. Метод САМ представляет собой специальный анализ динамики природной иерархически организованной системы как целостного комплекса процессов и воздействующих на них факторов среды. Этот комплекс описывается и анализируется в виде ММ, которая может состоять из алгебраических, дифференциальных и иных уравнений. Определение характера функциональных зависимостей между процессами и факторами производится через целенаправленный подбор и корректировку системы уравнений ММ с целью минимизации расхождений (невязки) между рассчитываемыми и наблюдаемыми динамическими характеристиками системы. Исследование СФО и построение ММ считаются завершенными при достижении наилучшей точности описания динамики экосистем.

Опыт моделирования динамики развития пустынных экосистем [Кирста, 1986а], а также агроэкосистем [Kirsta, 2006a, b] показал, что реальные взаимоотношения между процессами и факторами в экосистемах иногда значительно отличаются от их традиционного представления в ММ. Поэтому для достижения необходимой точности ММ

требуется их уточнение и/или поиск новых. К сожалению, стандартизированный набор потенциально возможных функциональных зависимостей для формализованной процедуры отбора из них наилучшего отсутствует из-за существования множества вариантов связей между биотическими и физическими процессами и факторами. Поэтому разработчик ММ должен целенаправленно формировать и анализировать различные версии уравнений, описывающих процессы в системе. Каждая версия при этом подвергается двум проверкам: на соответствие физическим, химическим, информационным законам и закономерностям, мнениям экспертов и на соответствие рассчитываемых значений параметров экспериментальным и литературным данным. Ситуация осложняется тем, что некоторые взаимодействия являются итоговым результатом десятков различных специфических процессов. Поэтому от начала до конца САМ ни на форму проверяемых уравнений, ни на значения их параметров не накладывается никаких ограничений. Тем самым метод САМ является по сути имитационным, т.е. имитирующим наиболее адекватным образом организацию и закономерности процессов в реальных системах.

Таким образом, САМ осуществляется непосредственно «от экспериментальных данных к закономерностям и ММ», что отличается от подавляющего числа методов моделирования природных систем, реализуемых «от известных закономерностей и шаблонов к ММ». Высокая эффективность САМ была полностью подтверждена, например, при моделировании хода внутрисистемного/биологического времени культуры пшеницы, в котором были выявлены ранее неизвестные короткие периоды ее развития в 1–2 дня, не зависящие от температуры воздуха [Kirsta, Tarabrin, 1994].

Разработка ММ с помощью САМ осуществляется путем решения обратной задачи, обеспечивающей выяснение как СФО исследуемой системы, так и количественных зависимостей ее процессов от факторов среды. Для выполнения расчетов используется специально разработанный в среде программирования Delphi пакет программ, включающий ряд оптимизационных процедур и численных методов: Монте-Карло, Хука – Дживса [Hooke, Jeeves, 1961], Стеффенсона [Ortega, Rheinboldt, 1970] и др. Создание специального программного обеспечения потребовалось из-за громоздкости известных стандартизированных пакетов MathCad, MatLab, Mathematica, Maple, Statistica и других, которые в то же время не предоставляли всего набора функций, необходимых для расчетов по ММ. Разработанный пакет обеспечивает одновременно решение обратной задачи для сложной системы уравнений с десятками переменных, обработку больших массивов

экспериментальных данных (тысячи единиц хранения) и оптимизационный подбор до 100 параметров уравнений. Подбор параметров осуществляется путем вариации их значений с постепенно уменьшающимся шагом оптимизации вплоть до достижения минимального для проверяемого варианта уравнений значения невязки. Решение обратной задачи в САМ является типичным для оптимизационных методов, и детали мы здесь опустим.

Нахождение значений параметров ММ в ходе САМ, очевидно, объединяет и процедуру идентификации (определения параметров), и процедуру верификации (проверки) ММ сразу по всей совокупности экспериментальных данных об изучаемой системе. Дополнительная проверка показала, что идентификация и верификация ММ, выполненные общепринятым способом, т.е. отдельно по различным частям экспериментальных данных, дают такой же результат, что и САМ.

Применение САМ для экосистем показало, что точность ММ определяется тремя видами ошибок:

- 1) неправильным выбором типа уравнений ММ – дифференциального, алгебраического или другого;
- 2) выбором неадекватных математических зависимостей между экосистемными процессами и факторами среды;
- 3) приближенными значениями параметров ММ.

Ошибки первого вида особенно существенны при описании сложноорганизованных экосистем системами дифференциальных уравнений, когда возникает проблема неустойчивости решения (нарушение устойчивости по Ляпунову [Бронштейн, Семендяев, 1981]). При внесении реальных случайных флуктуаций (дисперсий) факторов среды в уравнения устойчивость решения часто нарушается со значительным возрастанием погрешности расчетов. При этом могут радикально меняться фазовый портрет и динамика системы, как это имеет место даже для простых биохимических динамических систем [Сельков и др., 1979].

Отметим, что дифференциальные уравнения получили широкое распространение в моделировании природных систем, так как они удобны в математическом плане. Современные методы расчетов на компьютерах позволяют решать сложные системы таких уравнений и создают иллюзию высокой эффективности подобного моделирования для экосистем. В то же время общепризнано, что дифференциальные уравнения плохо соответствуют имеющемуся дискретному способу получения исходных данных о динамике экосистем [Одум, 1986]. При решении этих уравнений необходимо непрерывным образом задавать начальные и граничные условия. Для этого приходится интерполировать и экстраполировать исходные данные и тем самым вносить

в ММ недостоверную информацию. Таким образом, системы дифференциальных уравнений в целом не обеспечивают достижения теоретически наилучшей точности ММ, и их использование в САМ можно полагать нецелесообразным.

При выполнении оптимизационных процедур в процессе расчетной проверки различных вариантов уравнений ни на форму проверяемых зависимостей, ни на значения параметров уравнений ограничения не накладываются, и параметры ММ варьируются все одновременно. Как результат, невязка между рассчитанными и экспериментальными данными по динамике исследуемых процессов включает практически лишь ошибки второго вида. Следовательно, САМ обеспечивает не только количественную оценку параметров уравнений, но и проверку адекватности непосредственно структуры уравнений для проверяемого варианта ММ. Это является важной особенностью метода САМ, отличающей его от традиционных методов моделирования.

Еще одна особенность САМ заключается в возможности использования рядов экспериментальных данных одновременно по нескольким исследуемым экосистемам. В этом случае САМ позволяет выявить общие для этих систем структурно-функциональные взаимодействия компонентов, т.е. определить универсальную СФО исследуемых систем.

Три теоретически наилучшие точности математических моделей. Для САМ необходим большой объем наблюдений за циклами функционирования моделируемых природных иерархических систем. Это позволяет принять очевидное положение, что теоретически наилучшая точность ММ может быть достигнута только при адекватном описании СФО этих систем. Следует подчеркнуть, что данная точность отвечает описанию динамики собственно БП систем. Например, в случае экосистемных БП это динамика формирования биомассы растений, включая урожай (см. рис. 3.1). Поэтому разработка адекватных ММ (включая описание СФО и значений параметров) невозможна без выяснения и описания БП у исследуемых систем.

Очевидно, любая ММ экосистем должна характеризовать только те компоненты, факторы и их взаимоотношения, которые значимы для СФО выбранного ИУ экосистемы и поставленной задачи. Усложнение ММ за счет включения в нее излишне большого числа составляющих СФО (для больших ММ это десятки и сотни переменных) приводит обычно к снижению точности прогноза [Моисеев, Свиричев, 1975] и ухудшает качество ММ. Ухудшение связано с внесением в ММ излишней информации о СФО, которая часто «взята со стороны» и поэтому недостоверна. В связи с этим все второстепенные взаимоотно-

ношения должны исключаться из ММ в ходе САМ (ср. А.М. Глобус [1987]). Рассмотрим, как это сделать.

БП каждого ИУ биосферы используют информационные продукты (и их компоненты) предшествующих ИУ в качестве субстрата для формирования собственных энергетических/вещественных и временных продуктов. Например, это использование молекул-энергоносителей в клеточном метаболизме (глава 3). Формируя собственные продукты, БП должны различать компоненты продуктов ИУ предыдущего ранга, включая и их наименьший временной компонент. Вследствие квантования БП и организации ИУ такой наименьший временной компонент формируется за один элементарный цикл предшествующего ИУ, составляющий полный цикл следующего предшествующего ИУ. Анализ информационных продуктов в различных иерархических системах полностью подтверждает данный вывод [Kirsta, 2001, 2003]. Следовательно, для корректного описания СФО, в основе которой согласно информационному закону лежат БП, необходимо характеризовать процессы исследуемого ИУ с шагом не менее, чем полный цикл ИУ, находящегося на два ранга ниже. Тем самым описание собственно СФО (взаимоотношений между ее компонентами, а также формирования информационных продуктов) имеет теоретически наилучшую точность ε_1 :

$$\varepsilon_1 = [\text{цикл ИУ}-(N-2)]/[\text{цикл ИУ}-N], \quad (5.2)$$

где N – номер моделируемого ИУ (см. рис. 3.2).

Итак, мы определили *первую теоретически наилучшую точность*, отвечающую адекватности описания/моделирования непосредственно СФО экосистем. Эта точность связана с выбранным для моделирования ИУ экосистемы и определяется квантованием иерархической организации последней (неразличимостью процессов низких ИУ).

Адекватные аналитические ММ экосистем должны учитывать только значимые компоненты, факторы и их взаимоотношения. Для исключения всех малозначащих функциональных зависимостей в методе САМ используется теоретически наилучшая точность описания СФО (5.2). Исключение выполняется в ходе САМ, если проверяемая новая зависимость дает уменьшение невязки на величину менее ε_1^2 .

Точность описания СФО (5.2) используется также для оценки диапазона ошибок у найденных значений параметров ММ. Диапазон ошибок для каждого параметра определяется путем пробных изменений значения последнего при фиксированных значениях остальных пара-

² Здесь и далее под невязкой понимается стандартное (среднеквадратичное) отклонение расчетных данных от наблюдаемых, нормированное/деленное на среднее значение наблюдаемых и известное также как коэффициент вариации.

метров так, чтобы возрастание невязки не превышало ε_1 . Такая оценка диапазона ошибок является наиболее простой и очевидной по сравнению с другими способами (см., например: [Marsili-Libelli et al., 2003]).

В качестве примера рассмотрим ИУ-6, характеризующий ежегодное 99-дневное развитие растительности (см. рис. 3.2). Более низкий ИУ-5 имеет полный 3-дневный цикл, а предшествующий ему ИУ-4 – 1-дневный цикл. Тогда теоретически наилучшая точность описания СФО для ИУ-6 составит $\varepsilon_1 = [\text{цикл ИУ-4}]/[\text{цикл ИУ-6}] = (1 \text{ день})/(99 \text{ дней}) \approx 0,01$ (или 1%). В частности, САМ биологического времени пшеницы выявило особые 1–2-дневные периоды ее 99-дневного развития, отвечающие этой точности [Kirsta, Tarabrin, 1994]. Таким образом, точность $\varepsilon_1 = 1\%$ должна служить критерием для исключения из ММ развития растительности всех малозначимых процессов и воздействий факторов.

Перейдем к следующим двум наилучшим точностям. Устойчивость и единообразие динамики эволюционно развитых природных систем во времени и пространстве обеспечивается согласно информационному закону максимальным накоплением информации на каждом ИУ их СФО. При разработке ММ такая эволюционная устойчивость уравнениями непосредственно не описывается, так как выражается лишь в существовании фиксированной устойчивой СФО систем. В то же время все процессы у последних взаимосвязаны между собой и со средой, подвергаясь случайным воздействиям множества факторов среды. Как результат, динамика этих процессов испытывает случайные вариации во времени и пространстве относительно своих «средних» без нарушения устойчивости СФО и динамики систем в целом. Поэтому всегда будет существовать невязка между данными, наблюдаемыми *in situ* и рассчитываемыми по ММ. Это справедливо и для БП, формирующих информационные продукты у экосистем (п. 1.2).

Воспользуемся примером ИУ-6 с 99-дневным временным циклом биологического времени как цикла БП ежегодного развития растительности. Здесь создание информационных энергетических/вещественных продуктов БП обеспечивается согласно уравнению (1.4) через соответствующие приросты биомассы различных органов растений как структурных элементов, а временных продуктов – через характерные периоды этих приростов (см. рис. 3.1). Информационные продукты могут переносить информацию также через случайные вариации величин структурных элементов относительно средних значений согласно (1.5). Поэтому для вариаций структурных элементов информационных продуктов, вызванных случайными воздействиями факторов среды вне связи с информацией ИУ-6, очевидно, перенос инфор-

мации (1.5) запрещен, так как приведет к дестабилизации СФО ИУ-6. Отсюда в соответствии с уравнением (П.17) в приложении следует, что нормированное стандартное отклонение σ этих вариаций и у энергетических/вещественных, и у временных элементов не должно превышать значения 0,242, так как именно при таких σ информация (1.5) равна нулю.

Поскольку природные иерархические системы/экосистемы подвергаются воздействию значительного количества случайных факторов, они допускают максимально возможное значение отклонений $\sigma = 0,242$ для случайных вариаций количественных и временных характеристик БП. Это означает, что любая ММ не может обеспечить точность описания динамики их БП с нормированным стандартным отклонением (невязкой) рассчитанных данных от наблюдаемых меньшим, чем 0,242. Таким образом, мы получаем *вторую и третью наилучшие точности*

$$\varepsilon_2=0,242, \quad \varepsilon_3=0,242 \quad (\text{или } 24,2 \text{ и } 24,2\%) \quad (5.3)$$

для описания в ММ количественных и временных характеристик БП соответственно. Эти точности отвечают максимально допустимым для природной системы вариациям ее БП, обусловленным случайными воздействиями среды. В нашем примере развития растительности на ИУ-6 они характеризуют описание в ММ динамики прироста биомассы по количеству и по времени.

Таким образом, САМ природной иерархически организованной системы/экосистемы следует считать завершенным, когда невязка между рассчитанными и наблюдаемыми данными по динамике ее БП, например формирования урожая как одного из компонентов информационных продуктов БП, достигает теоретически наилучшего значения (ср. [Waller et al., 2003; Robinson, Froese, 2004]). Как следует из информационного закона, это значение должно соответствовать двум нормированным стандартным отклонениям: 24,2% для количественных характеристик динамики БП и 24,2% для временных. Оба отклонения определяются всегда существующими из-за влияния среды случайными вариациями БП системы (формирования биомассы растений), которые не должны превышать значения 24,2%. Такое ограничение вариаций исключает появление излишней информации в системе и последующую дестабилизацию ее СФО. В свою очередь, максимально возможные вариации БП необходимы природным системам как для обеспечения наилучшей приспособляемости к меняющейся среде, так и для экономии собственных затрат энергии на излишнее ограничение таких вариаций.

Отметим, что полученные теоретически наилучшие точности $\varepsilon_1, \varepsilon_2, \varepsilon_3$ непосредственно не связаны друг с другом. Они будут исполь-

зоваться в ходе САМ как независимо, так и в совокупности в качестве критериев адекватности описания СФО и ММ в целом. Этим точностям в совокупности, очевидно, соответствует одна традиционно рассматриваемая точность ММ, в которой, за редким исключением, вообще не выделяются отдельно точности описания СФО (ε_1), количественных (ε_2) и временных (ε_3) характеристик процессов.

Информационная регуляция БП, обеспечивающая стабилизацию СФО систем и их динамики, известна как принцип Ле Шателье, отражающий самостабилизацию экосистем. Очевидно, эта самостабилизация, по сути, имеет информационную основу – она направлена на ограничение случайных вариаций хода БП (представляющего собой информационно регулируемое формирование биомассы) до 24,2% и достижение информационной стабильности СФО экосистем.

5.3. Системно-аналитическое моделирование агроэкосистем

Рассмотрим универсальную ММ агроэкосистем пшеницы, включающую балансовую подмодель динамики почвенной влаги, подмодели хода фенологического/биологического времени у растений и формирования урожая. Ее разработка в рамках САМ потребовала данных многолетних комплексных наблюдений за развитием агроэкосистем в широком диапазоне изменений факторов среды. Для этого была выбрана сельскохозяйственная зона Сибири, отличающаяся значительными сезонными изменениями среднемесячных температур (от -32°C зимой до $+22^\circ\text{C}$ летом) и месячных осадков (от 1 до 180 мм). Это обеспечило дальнейшее применение ММ для любой зоны возделывания пшеницы, в том числе с отрицательными зимними температурами воздуха. Из-за сложности задачи создание ММ в целом заняло более 10 лет.

Выбранная зона Сибири расположена между 52 и 56° с.ш., 79 и 104° в.д. (рис. 5.1). Для выполнения САМ агроэкосистем взяты результаты наблюдений за динамикой агроценозов яровой пшеницы. Наблюдения выполнялись в 1972–1985 гг. на 10 станциях бывшего Государственного комитета СССР по гидрометеорологии и контролю природной среды. Сбор данных выполнялся по специальной многолетней научно-исследовательской программе комитета, включающей параллельные наблюдения за развитием основных сельскохозяйственных культур, водным, тепловым режимами и другими характеристиками сельскохозяйственных полей по стандартным методикам. В ходе САМ в совокупности использовано более 8000 месячных характеристик влажности почвы, температур воздуха, осадков, суммарного ис-

парения, сроков наступления фенологических фаз развития и урожаев 16 сортов пшеницы для 220 различных агроценозов.

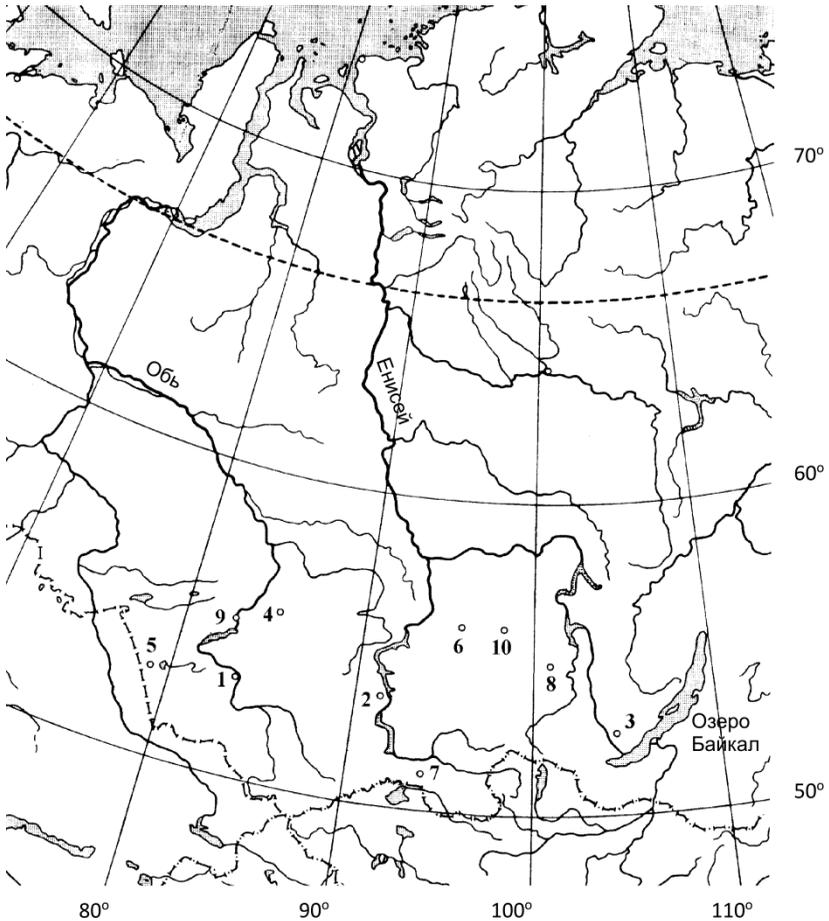


Рис. 5.1. Схема расположения опорных агрометеорологических станций в сельскохозяйственной зоне Сибири, входящих в комплексную воднобалансовую и агрометеорологическую сеть бывшего Государственного комитета СССР по гидрометеорологии и контролю природной среды:

1 – Барнаул; 2 – Хакасская; 3 – Хомутово; 4 – Кемерово; 5 – Славгород; 6 – Солянка; 7 – Сосновка; 8 – Тулун; 9 – Огурцово; 10 – Тайшет

В таблице 5.1 представлены среднемесячные температуры воздуха и месячные осадки в среднем для всей сельскохозяйственной зоны Сибири.

Таблица 5.1

Климатические характеристики сельскохозяйственной зоны Сибири*

Порядковый номер месяца											
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Среднемесячные температуры воздуха и их стандартные отклонения, °С											
-19,5	-17,5	-9,2	2,2	9,9	17,2	18,2	15,5	9,8	0,8	-8,2	-16,0
4,8	3,4	2,6	2,8	2,2	2,0	1,7	1,7	1,7	2,4	4,2	4,6
Месячные осадки и их стандартные отклонения, мм											
17,6	13,8	14,3	21,9	33,7	52,0	72,8	55,6	34,1	34,4	25,8	19,2
11,0	9,1	9,4	14,9	17,5	28,2	37,6	28,3	21,3	20,1	14,4	11,0

* Все величины рассчитаны из соответствующих климатических характеристик для 220 агроценозов на 10 станциях (см. рис. 5.1) за период 1972–1985 гг. Вариации среднемесячных температур воздуха и месячных осадков во времени и пространстве представлены через их стандартные (среднеквадратичные) отклонения от средних значений. Последние зависят от изменений климатических условий по территории, погрешности наблюдений и других факторов.

5.3.1. Подмодель фенологического развития

Подмодель фенологического развития пшеницы, характеризующая ход биологического времени растений в зависимости от температуры воздуха, достаточно подробно описана в работе [Kirsta, Tarabrin, 1994]. При ее разработке использовались около 3000 конкретных фенологических дат, отражающих развитие агроценозов пшеницы во всем спектре климатических/экологических условий рассматриваемой территории (см. рис. 5.1). В ней рассчитываются наступление и длительность основных фаз фенологического развития пшеницы начиная с момента сева зерна: всходов, появления третьего листа, кушения, выхода в трубку, появления нижнего стеблевого узла, колошения, цветения, молочной спелости, восковой спелости и полной спелости зерна. Подмодель дает более точное описание фенологического развития растений по сравнению с традиционными суммами эффективных температур. Последние определяются через суммирование разностей среднесуточной и пороговой температур воздуха нарастающим итогом, причем пороговая температура постоянна и находится обычно в интервале 3–7 °С [Полуэктов, 1991].

Каждый ИУ организации биосферы и биологических систем имеет циклическую динамику и создает собственное биологическое время, обеспечивающее одновременно выполнение схем квантования БП (см. рис. 1.1) и соответствие динамики систем ритмике среды – суточной, годовой и др. Ежегодное развитие растительности/агро-экосистем отвечает биосферному ИУ-6 с 99-дневным временным циклом БП формирования биомассы/урожая. Схема квантования данного автономного БП имеет три фазы, каждая из которых включает 11 циклов низшего ИУ-5. Тем самым полный ежегодный цикл развития растительности составляет 3,3 мес., каждая фаза – 1,1 мес., и каждый из 33 циклов низшего ИУ-5 – 0,1 мес.

В ходе САМ фенологического развития пшеницы выявлено несколько временных периодов T_1, T_2, T_3, P_1, P_2 , последовательно сменяющих друг друга в ее 99-дневном жизненном цикле (см. рис. 3.1). Периоды T_1 и T_2 до этого были неизвестны, так как их продолжительность составляла около 1–2 дней и они не могли фиксироваться стандартными наблюдениями. Для расчета хода биологического времени используются два устойчивых физиологических параметра (два температурных порога), характеризующих нелинейную связь данного хода с температурой воздуха. При этом подмодель обеспечивает более точное описание фенологического развития пшеницы по сравнению с суммами активных температур. Следует отметить, что оценки различных ММ [Хуе et al., 2004] также свидетельствуют в пользу нелинейной зависимости между скоростью фенологического развития пшеницы и температурой. В дальнейшем при анализе формирования урожаев в рамках САМ был выявлен еще один короткий период P_3 , завершающий 99-дневный цикл развития растений. Все найденные периоды $T_1, T_2, T_3, P_1, P_2, P_3$ являются выходными переменными подмодели.

Основные уравнения, по которым ведется расчет биологического времени и его соответствия с ходом физического (календарного) времени, имеют вид:

$$tb = 1/30 \sum_{t_0}^t \Delta tb, \quad (5.4a)$$

$$\Delta tb = \begin{cases} H(T1, T2, 0, 1, 0, 0, Td) + \frac{a}{\pi} \sin[\pi H(T1, T2, 0, 1, 0, 0, Td)], \\ 1, \text{ если } t1 \leq tb \leq t2 \text{ или } t3 \leq tb \leq t4 \text{ или } t5 \leq tb \leq t6, \end{cases} \quad (5.4б)$$

где tb – текущее биологическое время растений, мес.; Δtb – прирост биологического времени за один день, дни; t_0 и t – дата всходов (или сева) и текущая календарная дата соответственно, мес.; $1/30$ – множи-

тель, переводящий дни в месяцы биологического времени; T_1, T_2 – температурные пороги, используемые в подмодели как параметры, °С; Td – среднесуточная температура воздуха, полученная путем выполняемой в ходе расчетов интерполяции на основе кубических сплайнов имеющих среднемесячных температур, °С; a – параметр, $-1 \leq a \leq 1$; $t_1, t_2, t_3, t_4, t_5, t_6$ – значения биологического времени, отвечающие началу (t_1, t_3, t_5) и окончанию (t_2, t_4, t_6) соответствующих периодов, где отсутствует зависимость хода биологического времени от температуры воздуха, которые определяются информационным законом и имеют фиксированное положение в ежегодном 99-дневном (3,3-месячном) цикле развития растений.

Функция H в (5.4б) задается выражением

$$H(X_1, X_2, Y_1, Y_2, Z_1, Z_2, X) = \begin{cases} Y_1 + Z_1(X - X_1), & \text{если } X < X_1 \\ \frac{Y_2 - Y_1}{X_2 - X_1}(X - X_1) + Y_1, & \text{если } X_1 \leq X < X_2, \\ & X_1 \neq X_2 \\ Y_2 + Z_2(X - X_2), & \text{если } X \geq X_2 \end{cases} \quad (5.5)$$

где $X_1, X_2, Y_1, Y_2, Z_1, Z_2$ – параметры; X – какая-либо переменная ММ.

Функция H является произвольной непрерывной кусочно-линейной функцией, состоящей из трех линейных сегментов (рис. 5.2). Видно, что она может использоваться для аппроксимации различных зависимостей между переменными ММ при изменении значений ее параметров в (5.5). Отметим, что применение функции H , по существу, подобно методу автоматического моделирования [Todorovski et al., 2003].

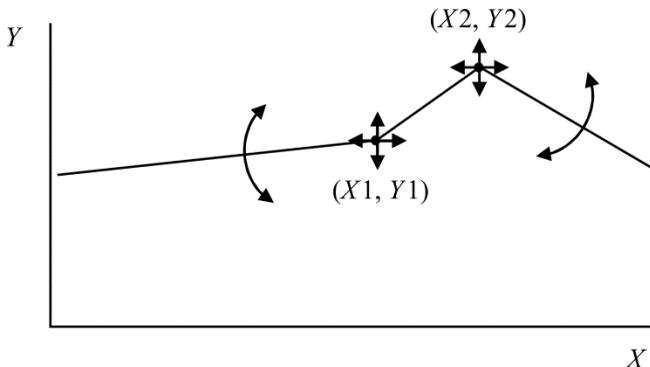


Рис. 5.2. Произвольная непрерывная кусочно-линейная функция $H(X_1, X_2, Y_1, Y_2, Z_1, Z_2, X)$, состоящая из трех линейных фрагментов

Согласно информационному закону один автономный БП формирует два временных информационных продукта (см. уравнение (1.2а)). Оба продукта отвечают циклу в целом, и в случае трех фаз первый из них имеет информацию $R = 0,318$ согласно (1.4), а второй – $|R \ln R| = 0,364$ (см. табл. 1.1). Кроме временных продуктов, автономным БП формируются два энергетических/вещественных информационных продукта для каждой из трех фаз. Первый продукт здесь имеет информацию $H = 0,682$, а второй – $|H \ln H| = 0,261$. Согласно экспериментальным данным продукты с $H = 0,682$ для трех фаз создаются через соответствующее распределение вновь образованного органического вещества между тремя основными органами растений [Полевой, 1983; Kirsta, 1994; Kirsta, Tarabrin, 1994]: листья с корнями, стеблями и генеративными органами (см. рис. 3.1).

С помощью информационно-иерархического подхода и САМ проанализировано расположение характерных периодов $P_1, P_2, P_3, T_1, T_2, T_3$ (см. рис. 3.1) в ежегодном жизненном цикле растений. Этим периодам отвечают два типа биологического времени. Первый тип (T_1, T_2, T_3) не зависит от температуры воздуха и совпадает с физическим/календарным временем, тогда как второй (P_1, P_2, P_3) – зависит от температуры [Kirsta, Tarabrin, 1994]. «Подготовительный» период от нуля до начала T_1 , так же как P_1, P_2, P_3 , зависит от температуры и соответствует фотосинтетическому образованию нового органического вещества с последующим образованием листьев с корнями, стеблей и генеративных органов. T_3 соответствует перераспределению «старого» (ранее образованного) мобильного органического вещества к созревающим зернам [Полевой, 1983]. По аналогии можно полагать, что определенное перераспределение органического вещества имеет место в T_1 и T_2 .

Информационный закон подразумевает, что периоды T_1, T_2, T_3 и P_1, P_2, P_3 формируют два временных информационных R - и $|R \ln R|$ -продукта соответственно. Следовательно, T_1, T_2, T_3 должны представлять собой время существования трех энергетических/вещественных информационных H -продуктов, а P_1, P_2, P_3 – $|H \ln H|$ -продуктов [Kirsta, 1994; Kirsta, Tarabrin, 1994]. Тогда в каждом периоде T_1, T_2 или T_3 должно быть постоянным соотношение (информация $H=0,682$) между биомассами органов, представленных на рисунке 3.1. В течение каждого из периодов P_1, P_2, P_3 аналогично должно существовать постоянное соотношение (информация $|H \ln H| = 0,261$) между соответствующими органами, включая формирующиеся зерна. Эти органы можно будет определить специальными исследованиями в дальнейшем. Таким образом, энергетические/вещественные продукты формируются

в соответствующих фазах в момент начала периодов T_1 , P_1 (первая фаза, 0–1,1 мес. биологического времени), T_2 , P_2 (вторая фаза, 1,1–2,2 мес.) и T_3 , P_3 (третья фаза, 2,2–3,3 мес.).

Из общих соображений можно ожидать, что периоды P_2 (образование генеративных органов) и T_3 (созревание зерна) должны быть максимально длительны для формирования наиболее жизнеспособного зерна как зачатка будущих растений. Далее, T_3 должен находиться в конце третьей фазы для обеспечения в будущем произрастающего зерна максимальным количеством ресурсов от создавшего его растения. В связи с квантованием последовательно возрастающих ИУ в СФО растений (см. рис. 3.2) периоды T_1 , T_2 , T_3 , P_1 , P_2 , P_3 у временных информационных продуктов должны быть кратны циклам низших ИУ. Согласно информационному закону энергетические/вещественные продукты создаются из структурных элементов продуктов низшего ИУ-5. Эти элементы будут готовы минимум за период из двух временных циклов ИУ-4, когда все несинхронизированные системы ИУ-4 завершат формирование своих продуктов для ИУ-5. Тем самым периоды P_1 , P_2 , P_3 , T_1 , T_2 , T_3 у временных информационных продуктов должны быть больше или равны двум циклам ИУ-4 (длительностью 1 день или 0,033 мес. каждый), т.е. $0,033 \times 2 = 0,066$ мес. Согласно уравнению (1.4) чтобы получить значение информации $R = 0,318$ и $|R \ln R| = 0,364$ для T_1 , T_2 , T_3 и P_1 , P_2 , P_3 соответственно, продолжительность T_1 или T_2 должна равняться 0,033, как и P_2 или P_3 . В этой ситуации данные периоды являются «невидимыми» в ежегодном цикле развития растений и должны вводиться в уравнение (1.4) со значениями «ноль».

Исходя из изложенных соображений, уравнения (1.4) и значений R и $|R \ln R|$, можно определить длительность T_1 , T_2 , T_3 , P_1 , P_2 , P_3 , а также их расположение в ежегодном жизненном цикле пшеницы (см. рис. 3.1):

$$\begin{aligned} T_1 &= [0,833 \div 0,966], P_1 = [0,966 \div 1,133], \\ T_2 &= [1,133 \div 1,166], P_2 = [1,166 \div 2,233], \\ T_3 &= [2,233 \div 3,266], P_3 = [3,266 \div 3,3] \text{ (месяцы биологического времени)}. \end{aligned} \quad (5.6)$$

Здесь T_1 , T_2 , T_3 равны по длительности 0,133, 0,033, 1,033 мес. биологического времени соответственно, так как именно такие периоды обеспечивают формирование временных продуктов с информацией $R = 0,318$. Соотношение $T_1 : T_2 : T_3$ равно 0,133 : 0,0 : 1,033, или в долях 0,114 : 0,0 : 0,886. Подстановка последнего в (1.4) дает требуемую информацию $R \approx 0,318$. Аналогично для P_1 , P_2 , P_3 имеем информацию $|R \ln R| \approx 0,364$.

Как продолжительность, так и расположение всех периодов T_1 , T_2 , T_3 , P_1 , P_2 , P_3 были также независимо рассчитаны через САМ

с использованием данных наблюдений за фенологическим развитием 220 анализируемых агроценозов пшеницы [Kirsta, Tarabrin, 1994]. В ходе САМ на длительность и расположение периодов, как и на другие параметры подмодели, никаких ограничений не накладывалось для достижения минимальной невязки между рассчитанными и наблюдаемыми фенологическими датами. При этом были получены следующие результаты:

$$\begin{aligned} T_1 &= [0,8 \div 0,9], & P_1 &= [0,9 \div 1,24], \\ T_2 &= [1,24 \div 1,3], & P_2 &= [1,3 \div 2,2], \\ T_3 &= [2,2 \div 3,3], & P_3 &= [3,3 \div 3,3] \end{aligned} \quad (5.7)$$

(месяцы биологического времени).

В (5.7) P_3 был взят как период прекращения формирования урожая. Следует отметить наличие у пшеницы/зерновых периода физиологического созревания зерна [Корнев, 1990]. Здесь нет фотосинтеза, и данный период, видимо, не входит в ежегодный цикл развития растений. Следует также отметить, что ход биологического времени у пшеницы оказался линейно зависим от температуры воздуха в течение P_1, P_2, P_3 .

Очевидно, что теоретические периоды $T_1, T_2, T_3, P_1, P_2, P_3$ в (5.6) совпадают с аналогичными в (5.7), полученными из экспериментальных данных. Невязка между ними оказалась близкой к точности/погрешности фенологических наблюдений, составляющей порядка 0,1 мес. и включающей одновременно случайную и систематическую ошибки.

Таким образом, разработанная с помощью САМ подмодель фенологического развития включает 20 параметров. 17 из них (в том числе $t_1, t_2, t_3, t_4, t_5, t_6$ в (5.4б)) могут приниматься одинаковыми для любых агроценозов пшеницы, а 3 параметра (две пороговые температуры воздуха T_1, T_2 и среднеголетняя дата всходов t_0) целесообразно определять заново для конкретных агроценозов. Значения этих трех параметров находятся путем оптимизации в ходе САМ при идентификации подмодели для конкретной территории или агроценозов (сортов пшеницы). Температурные пороги T_1, T_2 в (5.4б) позволяют учесть особенности хода биологического времени у возделываемых сортов, а дата всходов t_0 в (5.4а) – особенности применяемых сельскохозяйственных технологий и климата рассматриваемой территории.

Точность расчетов по подмодели сроков наступления фенологических фаз для каждого из 220 агроценозов характеризуется стандартным отклонением расчетных данных от наблюдаемых в отдельные годы сроков не более 7 дней (0,23 мес.) на протяжении годового цикла вегетации растений. При этом все 20 параметров подмодели взяты одинаковыми для всех агроценозов анализируемой зоны Сибири. Полученная точность с учетом ошибки наблюдений [Kirsta, Tarabrin,

1994] близка к теоретически наилучшей 24,2%, которая согласно информационному закону применима к расчетам временных характеристик (структурных элементов временных информационных продуктов) БП экосистем. Таким образом, подмодель обеспечивает максимально точное описание сроков наступления фенологических фаз, что принципиально отличает ее от традиционных методов, например, использующих суммы эффективных температур.

5.3.2. Подмодель влагообмена в почвах

Подмодель/модель описывает динамику запасов продуктивной влаги в почве (выше влажности завядания) под воздействием климатических факторов на протяжении многолетних периодов с шагом по времени 1 мес. Входными факторами здесь являются температуры воздуха, осадки и сроки прохождения агроценозами их годового цикла развития, рассчитываемые в первой подмодели. Выходными факторами/переменными служат запасы продуктивной влаги в почве и количество влаги, затрачиваемое агроценозами на суммарное испарение/эвапотранспирацию (транспирацию плюс испарение с поверхности почвы) за отдельные периоды фенологического развития агроценозов.

В результате САМ установлен ряд закономерностей влагообмена в различные сезоны года. В частности, охарактеризованы накопление влаги в верхней толще почвы в начале ее сезонного промерзания за счет создающегося под коркой льда пониженного давления, значительная термодиффузия почвенной влаги снизу вверх зимой и ряд других эффектов. Для всех рассмотренных агроценозов орошение не применялось, и глубина залегания грунтовых вод составляла более 3 м. В связи с этим непосредственное влияние грунтовых вод и орошения на влагообмен в ММ не учитывалось. Отметим, что рассматриваемая территория в целом характеризуется глубоким залеганием грунтовых вод, поскольку относится к зоне континентального климата средних широт с недостаточным увлажнением [Мосиенко, 1984].

Выяснение закономерностей влагообмена в почвах имеет принципиальное значение для разработки ММ как экосистем, так и агроэкосистем. В ходе САМ было проанализировано большое число таких закономерностей, известных из отечественной и зарубежной литературы. Подавляющее их число оказались бесполезными для моделирования, поскольку они не обеспечивали необходимую для САМ точность описания водного баланса в замерзающих и оттаивающих почвах в осенний, зимний и весенний периоды. Поэтому мы опустим и их критический анализ.

Таким образом, общей задачей исследования влагообмена было выяснение основных закономерностей и разработка универсальной ММ динамики почвенной влаги в сельскохозяйственной зоне Сибири с помощью САМ. При этом задача была осложнена наличием значительных вариаций климатических факторов и экологических условий во времени и по территории. Для оптимизационного подбора параметров была выбрана следующая невязка между расчетными и наблюдаемыми величинами:

$$\text{невязка} = \frac{\sqrt{\sum_{l=1}^{10} \sum_{k=1}^{kl} \sum_{j=1972}^{1985} \sum_{i=1}^{12} (W_{lkji}^{cal} - W_{lkji}^{obs})^2 / N}}{\sum_{l=1}^{10} \sum_{k=1}^{kl} \sum_{j=1972}^{1985} \sum_{i=1}^{12} W_{lkji}^{obs} / N}, \quad (5.8)$$

где i – номер месяца; j – текущий год; k – порядковый номер агроценоза пшеницы на агрометеорологической станции; l – номер станции (см. рис. 5.1); kl – число анализируемых агроценозов на станции l ; W_{lkji}^{cal} , W_{lkji}^{obs} – соответственно расчетные и наблюдаемые среднемесячные значения запасов продуктивной влаги в верхнем метровом слое почвы; N – общее число использованных среднемесячных значений почвенной влаги (более 2000).

В процессе исследований из подмодели исключались все выявляемые, но малозначимые функциональные зависимости. Они исключались, если давали уменьшение невязки (5.8) менее $\varepsilon_1 = 1\%$ согласно требованиям САМ. Это позволило избежать излишнего усложнения подмодели и уменьшить число ее параметров с 40–60 (для различных версий систем уравнений) до 36 после завершения САМ.

Чтобы достичь наиболее адекватного описания влагообмена в почвах, с помощью САМ было протестировано большое количество версий подмодели. Оказалось, что все значимые в указанном выше смысле функциональные зависимости имели достаточно простую форму. Усложнение формы этих зависимостей и введение дополнительных параметров в уравнения в подавляющем числе случаев улучшало невязку (5.8) менее чем на 1%. Отсюда можно сделать вывод, что подробные ММ влагообмена, характеризующие большое число различных процессов со сложными зависимостями от факторов среды, нецелесообразно использовать в качестве универсальных для территорий со значительными вариациями условий среды. Кроме того, сложные ММ требуют полевых измерений многих специфических характеристик почв, рельефа, атмосферных условий, что значительно затрудняет их практическое применение. Метод САМ, наоборот, позволяет ограничиться лишь небольшим числом основных характеристик сре-

ды – в нашем случае лишь тремя наборами данных – по влажности почвы, температурам воздуха и осадкам.

Значительное превышение числа данных наблюдений в (5.8) над числом параметров (более 2000 данных по среднемесячной влажности почвы против 36 параметров в подмодели влагообмена) позволило охарактеризовать процессы и определить значения параметров более точно, чем это могло быть сделано при специальных полевых наблюдениях. Такое превышение определило и высокую чувствительность метода САМ как инструмента исследования влагообмена. С помощью САМ легко проверялись «на реальность» любые предполагаемые закономерности влагообмена, в том числе с относительно малым вкладом в почвенный водный баланс или трудно определяемые экспериментально, через уменьшение/увеличение невязки (5.8).

Влагообмен в почвах описывался системой балансовых уравнений следующего вида:

$$W^n - W^l = \sum_{i=1}^n PRO_i(P, T, W, a_1, \dots, a_k), \quad (5.9)$$

где W^l , W^n – запасы продуктивной влаги в верхнем метровом слое почвы на начало и конец текущего месяца соответственно, мм; PRO_i – изменение продуктивной влаги за счет процесса i , зависящего от аргументов P , T , W и параметров, мм/мес.; n – общее число процессов, рассматриваемых в текущем сезоне года; P – месячные осадки, мм; T – среднемесячная температура воздуха, °C; W – среднемесячные запасы продуктивной влаги $W = (W^l + W^n)/2$, мм; a_1, \dots, a_k – параметры подмодели, число которых равно k .

Рассчитываемые по (5.9) для отдельных агроценозов и лет среднемесячные запасы влаги подставлялись в уравнение невязки (5.8). Последняя минимизировалась путем вариаций параметров проверяемой версии уравнений в оптимизационной процедуре САМ, как описано выше. В ходе САМ проверялись различные варианты правой части уравнений (5.9), отражающие разные зависимости процессов влагообмена друг от друга и метеорологических условий текущего и предыдущего года. Найденная финальная версия, т.е. собственно подмодель влагообмена, включала более 20 уравнений и дала минимальную из всех вариантов невязку (5.8).

Для описания влагообмена в почвах был выбран верхний метровый слой почвы. Данный слой активно обменивается влагой с атмосферой через растения и поверхность почвы и используется в стандартных агрометеорологических наблюдениях за почвенной влагой [Зубенок, 1976]. И что важно, этот слой близко соответствует корнеобитаемой зоне однолетних растений. В свою очередь, характерное

время изменения запасов влаги этого слоя как в летний, так и зимний период года составляет около 1 мес. [Зубенок, 1976; Палагин, 1981]. Это обусловило выбор шага описания влагообмена равным 1 мес. и позволило ограничиться в САМ лишь среднемесячными значениями температур воздуха, влажности почвы и месячными значениями осадков. В целом при описании балансов продуктивной влаги учитывались уже накопленная в почве влага, осадки, обмен влагой верхнего слоя с нижележащей толщей почвы, эвапотранспирация, поверхностный и боковой внутрипочвенный сток и ряд других процессов.

САМ показало, что влагообмен текущего года в значительной степени зависит от метеорологических условий предыдущего года. В связи с этим расчет среднемесячных значений влажности почв выполнялся в подмодели последовательно с января предыдущего до декабря текущего года и единообразно для обоих лет. В свою очередь, невязка (5.8) рассчитывалась только для текущего года. При этом запасы влаги на начало января предыдущего года являлись параметром подмодели, и их значение было найдено равным 137 мм для всех анализируемых почв³. Как и следовало ожидать при адекватном описании влагообмена, это значение совпало с экспериментальными данными по запасам влаги для зимнего периода (табл. 5.2).

Таблица 5.2

Наблюдаемые и расчетные запасы продуктивной влаги в верхнем метровом слое почв для сельскохозяйственной зоны Сибири

Порядковый номер месяца											
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Среднегодовое наблюдаемое запасы продуктивной влаги в верхней метровой толще почв и их стандартные отклонения от средних значений, мм											
142	136	137	143	136	115	81	74	80	98	137	138
45,5	41,9	43,5	53,1	45,7	41,7	40,0	41,8	45,7	48,2	47,1	48,2
Среднегодовое расчетные запасы продуктивной влаги и их стандартные отклонения от наблюдаемых текущих значений*, мм											
135	134	139	144	137	111	86	74	76	99	126	136
29,5	21,1	28,6	32,6	26,0	24,0	27,9	27,6	27,8	28,5	30,6	31,4

* Отклонения рассчитаны по месячным характеристикам при одинаковых параметрах подмодели влагообмена для всех 220 моделируемых агроценозов пшеницы (см. табл. 5.1).

³ Здесь и далее все количественные характеристики в уравнениях найдены в процессе САМ как значения соответствующих параметров ММ. Эти параметры являются одинаковыми для всей сельскохозяйственной зоны Сибири и для наглядности заменены на их значения.

Текущий и предыдущий годы разделены в подмодели традиционным образом на четыре периода (зимний, весенний, летний и осенний), каждому из которых отвечают свои уравнения влагообмена. Согласно результатам САМ весенний период начинается при превышении среднемесячной температурой воздуха порогового значения $1,1\text{ }^{\circ}\text{C}$ и длится весь календарный месяц. В это время идет оттаивание почв. Затем следует продолжительный летний период. Осенний период начинается при среднемесячных температурах воздуха ниже $-3,6\text{ }^{\circ}\text{C}$ и длится, подобно весеннему, один календарный месяц. Начинается сезонное промерзание почв. Затем следует длинный зимний период с дальнейшим промерзанием верхней толщи почвы.

Рассмотрим основные сезонные закономерности влагообмена, отражаемые в подмодели влагообмена в почвах. Целесообразно начать с осеннего периода, поскольку климатические условия осени предыдущего года в значительной степени влияют на влагообмен зимой и весной текущего года.

Осенний период. В осеннем периоде начинается сезонное промерзание почв. Согласно данным наблюдений их промерзание обычно идет со скоростью около 50 см/мес. и в итоге достигает глубины более 100 см. САМ показало, что баланс влаги (5.9) в осеннем периоде определяется следующими процессами:

$$\begin{aligned} PRO_1 &= \begin{cases} P, & \text{если } T \geq -5,4\text{ }^{\circ}\text{C} \\ 0, & \text{если } T < -5,4\text{ }^{\circ}\text{C}, \end{cases} \\ PRO_2 &= \begin{cases} a1 \times W, & \text{если } W < 95,5\text{ мм} \\ 0, & \text{если } W \geq 95,5\text{ мм}, \end{cases} \\ PRO_3 &= \begin{cases} 0, & \text{если } W < 95,5\text{ мм} \\ a2, & \text{если } W \geq 95,5\text{ мм}, \end{cases} \end{aligned} \quad (5.10)$$

где PRO_1 – инфильтрация осадков в почву; PRO_2 – конвекция парообразной влаги сквозь поровое пространство почвы в атмосферу; PRO_3 – диффузия парообразной влаги из глубоких почвенных горизонтов в верхний метровый слой, где она конденсируется; $a1, a2$ – параметры со значениями, приблизительно равными $-0,17$ и 40 мм/мес. соответственно.

Первый процесс PRO_1 в (5.10) не зависит от влажности почвы W и отвечает поступлению 100% осадков P в почву при температуре воздуха $T \geq -5,4\text{ }^{\circ}\text{C}$. При $T < -5,4\text{ }^{\circ}\text{C}$ осадки остаются на поверхности почвы в виде снега, и их поступление в почву равно нулю. Второй процесс PRO_2 отвечает выносу влаги с теплым воздухом из почвы в более холодный атмосферный воздух со скоростью $0,17 \times W\text{ мм/мес.}$

Условием существования такой конвекции сквозь поровое пространство почвы является требование $W < 95,5$ мм. Отметим, что конвекция должна идти в основном ночью, когда перепад между температурой атмосферного воздуха и температурой почвы максимален. Третий процесс PRO_3 соответствует конденсации поступающего снизу водяного пара на непроницаемом ледяном слое, образующемся в приповерхностном слое почвы при $W \geq 95,5$ мм по мере осенне-зимнего снижения температуры воздуха. Экспериментальным подтверждением формирования такого ледяного слоя может служить, например, появление вакуумного разрежения внутри промерзшей почвы [Горяев, 1986]. Как следует из САМ, интенсивность третьего процесса (подтягивания влаги снизу в приповерхностный слой) равна $a_2 \approx 40$ мм/мес.

Зимний период. Промерзание почв в агроэкосистемах Сибири обычно достигает глубины более 100 см. Миграция влаги в промерзающих и оттаивающих почвах определяется большим числом различных физических процессов ее движения в жидкой и газообразной формах [Палагин, 1981; Фельдман, 1988]. Согласно экспериментальным данным снежный покров незначительно влияет на температуру почвы ниже 70 см, а значит, и на миграцию водяного пара и содержание влаги на этой глубине [Муромцев, 1986]. САМ также показало незначительное влияние снежного покрова на содержание влаги в верхней метровой почвенной толще. Было найдено, что почвенный влагообмен зимой формируется за счет процессов термодиффузии (передвижения влаги в парообразном виде под действием температурного градиента), зависящих от W и T :

$$PRO_1 = \begin{cases} H(-40, 0; -10, 7; -31, 6; 11, 0; 0; 0; T), & \text{если } W < 139,6 \text{ мм} \\ H(-10, 7; -10, 7; -4, 4; 7, 8; 0; 0; T), & \text{если } W \geq 139,6 \text{ мм}, \end{cases} \quad (5.11)$$

где PRO_1 – термодиффузия водяного пара в почве; H – функция (5.5).

При $W < 139,6$ мм (рис. 5.3, а) поровое пространство почвы достаточно свободно, и при $T < -10,7$ °С начинается заметная термодиффузия влаги из почвы в более холодный снежный покров (и затем в атмосферу). Эти потери влаги, очевидно, тем больше, чем значительнее разница температур почвы и атмосферы. При $W \geq 139,6$ мм (см. рис. 5.3, б) термодиффузия невелика из-за перекрытия порового пространства льдом и идет при $T < -10,7$ °С лишь из приповерхностного слоя почвы в снежный покров. При $T > -10,7$ °С поступление влаги снизу в рассматриваемый метровый слой превышает ее потери в снежный покров, которые малы или отсутствуют из-за незначительной разницы температур почвы и атмосферы.

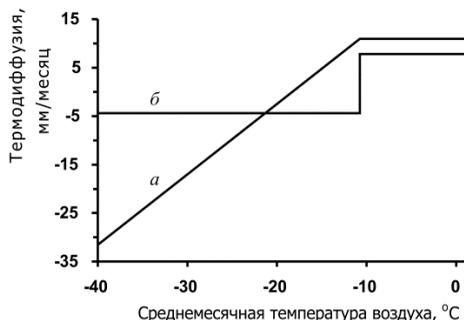


Рис. 5.3. Температурная зависимость термодиффузии влаги (> 0 – приток, < 0 – потери) из верхнего метрового слоя почвы в зимний период года при среднемесячных запасах продуктивной влаги этого слоя $W < 139,6$ мм (a) и $W \geq 139,6$ мм (b)

Весенний период. В этот период идет оттаивание почв, которое длится 1–2 мес. и обычно заканчивается в начале летнего периода. Скорость оттаивания почв сверху, по данным наблюдений достигает 100 см/мес. и, как правило, превышает скорость их оттаивания снизу. САМ показало, что ни наличие снежного покрова, ни его толщина практически не влияют на влагозапасы почвы весной. Это согласуется с тем, что оттаиванию почвы предшествует стаяние снега. При этом талые воды плохо проникают в промерзшую почву и формируют лишь поверхностный и внутрипочвенный боковой сток. Согласно результатам САМ баланс влаги в весеннем периоде определяется шестью основными процессами:

$$PRO_1 = P,$$

$$PRO_2 = -5,13 \times T,$$

$$PRO_3 = \begin{cases} 0, & \text{если } W < 117,4 \text{ мм} \\ -16,5, & \text{если } W \geq 117,4 \text{ мм}, \end{cases}$$

$$PRO_4 = \begin{cases} 0, & \text{если } W < 149,1 \text{ мм} \\ 1,92 \times P, & \text{если } W \geq 149,1 \text{ мм}, \end{cases} \quad (5.12)$$

$$PRO_5 = \begin{cases} 0,36 \times W, & \text{если } \begin{cases} 117,4 \leq W < 139,6 \text{ мм} \\ 4,3 \leq T < 12,1 \text{ }^\circ\text{C} \end{cases} \\ 0 & \text{во всех других случаях,} \end{cases}$$

$$PRO_6 = \begin{cases} 0, & \text{если } W'' \leq a3 \\ -(W'' - a3), & \text{если } W'' > a3, \end{cases}$$

где PRO_1 – инфильтрация осадков в почву; PRO_2 – эвапотранспирация; PRO_3 – перемещение влаги в более глубокие почвенные горизонты; PRO_4 – восходящий поток парообразной влаги из нижних горизонтов и ее конденсация в верхнем метровом слое почвы (из-за формирования непроницаемой ледяной корки из влаги осадков при ночных понижениях температуры воздуха); PRO_5 – формирование временного «подвешенного» горизонта влаги; PRO_6 – инфильтрация гравитационной влаги вниз при насыщении влагой верхнего слоя почвы; W'' – содержание продуктивной влаги на конец месяца, рассчитанное по (5.9) как

$$W'' - W' = \sum_{i=1}^6 PRO_i ; a3 - \text{параметр, равный } \sim 190 \text{ мм.}$$

Первый процесс в (5.12) отвечает поступлению в почву 100% осадков. Это объясняется тем, что после стаивания снежного покрова к началу весеннего периода оттаивание почв и их промачивание осадками идут одновременно. Интенсивность второго процесса, характеризующего расход влаги на эвапотранспирацию, прямо пропорциональна температуре воздуха и равна $5,13 \times T$ мм/мес. Третий процесс идет при условии $W \geq 117,4$ мм с интенсивностью оттока влаги 16,5 мм/мес. Существование этого процесса может объясняться движением капиллярной влаги сверху вниз при оттаивании почвы, внутрипочвенным боковым стоком и др. [Палагин, 1981].

Четвертый процесс идет при условии $W > 149,1$ мм с интенсивностью $1,92 \times P$ мм/месяц. Здесь интересна полученная прямо пропорциональная зависимость процесса от количества осадков P , которая тщательно проверялась в ходе САМ. Она может объясняться формированием из влаги осадков сплошной ледяной корки в приповерхностном слое почвы при ночных понижениях температуры воздуха. В результате под коркой идет конденсация водяного пара, которая существует только в ночные часы в отличие от осеннего периода. Поэтому чем больше количество осадков, тем чаще формируется ледяная корка и тем больше насыщается влагой верхний почвенный слой.

Пятый процесс отражает формирование временного термодиффузионного горизонта влаги, называемого также «подвешенным» горизонтом. Существование такого горизонта предполагается многими исследователями, но его экспериментальное подтверждение и тем более измерение его количественных характеристик затруднено. Последнее обусловлено сложностью отделения собственно термодиффузионной влаги от остальной почвенной влаги. В отличие от традиционных экспериментальных методов САМ позволяет разделить и количественно охарактеризовать каждый из основных процессов влагообмена в почве. С помощью САМ определены следующие условия существования временного

термодиффузионного горизонта влаги (рис. 5.4): $117,4 < W < 139,6$ мм и $4,3 < T < 12,1$ °С. Выяснилось, что мощность этого горизонта прямо пропорциональна влажности почвы и равна $0,36 \times W$ мм.

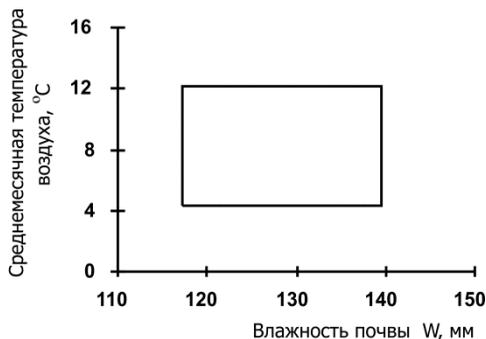


Рис. 5.4. Область формирования временного «подвешенного» термодиффузионного горизонта влаги весной

Шестой процесс в (5.12) имеет место в случае насыщения почвы влагой выше полевой влагоемкости, когда избыточная (гравитационная) влага стекает в нижележащие слои почвы. Этот процесс учтен в подмодели как ограничение влажности W максимальным значением $a3 \approx 190$ мм.

Летний период. Изучению влагообмена в свободных ото льда почвах посвящено много теоретических и экспериментальных исследований (см., например: [Роде, 1965, 1969]). В связи с достаточно хорошей изученностью процессов влагообмена в летнем периоде выполнение САМ здесь вызвало наименьшие трудности. С помощью САМ выделены и количественно охарактеризованы следующие основные процессы, определяющие летний баланс влаги:

$$PRO_1 = a4 \times P,$$

$$PRO_2 = \begin{cases} -5,13 \times T \times a5, & \text{если } T > 0^\circ\text{C} \\ -A, & \text{если } 5,13 \times T > A \\ 0, & \text{если } T \leq 0^\circ\text{C} \end{cases} \quad (5.13)$$

$$PRO_3 = H(a6; 300, 0; 32, 0; a7; 0; 0, W),$$

где PRO_1 – инфильтрация осадков в почву; PRO_2 – эвапотранспирация; PRO_3 – диффузия влаги через нижнюю границу верхнего метрового слоя почвы; A – максимально возможная эвапотранспирация, рассчитываемая из уравнения $22,6 - W' = PRO_1 - A + PRO_3$ (см. (5.9)); $a4$ – параметр, равный 0,77; $a5$ – параметр, равный 1,0 до жатвы и $\sim 0,37$ после нее; $a6$ и $a7$ – параметры, равные 64 мм и -68 мм/мес. соответственно.

Первый процесс отвечает поступлению в почву 77% выпадающих осадков ($a_4 \approx 0,77$) в связи с частичным перехватом осадков растениями. Второй процесс – эвапотранспирация – является важным для формирования урожая. Исследование процесса в рамках САМ выполнялось сначала с привлечением данных наблюдений за эвапотранспирацией, полученных с помощью стандартных почвенных испарителей ГГИ-500. Однако в ходе исследований выяснилось, что они неадекватно характеризуют реальную эвапотранспирацию из-за конструкции приборов – отсутствия у них влагообмена с нижележащей толщей почвы. Использование этих данных в САМ вызывало значительное возрастание невязки (5.8). В связи с этим все данные наблюдений за эвапотранспирацией в дальнейшем были исключены из исследований (ср. с использованием данных испарителей/лизиметров в качестве теста для ММ сельскохозяйственных культур в [Eitzinger et al., 2004]). САМ показало, что интенсивность эвапотранспирации, подобно весеннему периоду, равна $5,13 \times T$ мм/мес. и становится нулевой при $T \leq 0$ °С. После жатвы значение параметра a_5 снижается с 1,0 до $\sim 0,37$ вследствие прекращения транспирации. В случае летнего иссушения верхнего метрового слоя почвы интенсивность эвапотранспирации снижается до величины A , отвечающей минимально возможным запасам влаги в этом слое $W = 22,6$ мм.



Рис. 5.5. Диффузия влаги через нижнюю границу верхнего метрового слоя почвы в летний период года (> 0 – приток в слой, < 0 – потери)

Интенсивность третьего процесса в (5.13) характеризуется кучочно-линейной зависимостью от влажности почвы W , как показано на рисунке 5.5. Согласно САМ при больших значениях W , наблюдающихся обычно в начале лета, влага диффундирует из рассматриваемого метрового слоя в более глубокие слои почвы ($PRO_3 < 0$). По мере снижения влажности W диффузия меняет направление и идет снизу вверх ($PRO_3 > 0$). При этом интенсивность диффузии снизу вверх ограничена значением 32 мм/мес.

Таким образом, проведенные на основе САМ исследования влагообмена в почвах сельскохозяйственной зоны Сибири выявили ряд важных процессов и закономерностей этого влагообмена. Установлены и количественно охарактеризованы: подъем влаги из глубоких почвенных горизонтов к поверхности при образовании на ней ледяной корки поздней осенью и весной, термодиффузия влаги из почвы в снежный покров зимой, условия формирования временного термодиффузионного горизонта влаги весной и ряд других процессов.

Задача ранжирования и идентификации параметров для различных территорий. Все аналитические ММ, описывающие динамику влажности почв, имеют сложную структуру и содержат большое число функциональных зависимостей и неизвестных параметров. Определение численных значений этих параметров для конкретных почв представляет собой трудную задачу, так как лишь часть из входящих в ММ параметров может быть найдена в результате прямых экспериментов. Остальные параметры приходится определять методом идентификации [Льюнг, 1991; Полуэктов, 1991]. В отличие от традиционного моделирования САМ не требует экспериментального определения параметров и использует только идентификацию, совмещенную с верификацией (п. 5.2.2).

Собственно под идентификацией параметров понимается определение численных значений входящих в ММ параметров на основе сопоставления значений выходных переменных ММ с экспериментальными данными. Если параметры в ММ подобраны правильно, то можно ожидать близкого соответствия рассчитанных и экспериментально измеренных значений переменных. Отсутствие полного совпадения этих величин обусловлено рядом причин – это погрешности экспериментальных измерений, изменение во времени и пространстве характеристик моделируемого объекта, а также неадекватность самой ММ. В целом при постановке задачи идентификации должны быть заданы [Кирста и др., 2004]:

- совокупность параметров, подлежащих идентификации, и область их допустимых значений;
- критерий сравнения результатов натурального опыта и моделирования;
- структура учитываемых воздействий на систему (входных факторов);
- метод решения задачи, который, как правило, призван обеспечить наилучшее значение критерия сравнения.

В процессе идентификации должны также соблюдаться следующие условия:

- число настраиваемых параметров много меньше, чем общее число измерений влажности почв;
- значения параметров не выходят за пределы, определяемые их физическим смыслом.

Подмодель влагообмена имеет 36 параметров, значения которых характеризуют всю сельскохозяйственную зону Сибири в целом. Для других территорий значения некоторых из них, очевидно, могут значительно меняться. Поэтому параметры могут быть разделены на постоянные, отвечающие стабильным характеристикам почв и процессов влагообмена, и варьлируемые, которые ответственны за значительные изменения характера влагообмена у разных почв. Варьлируемые параметры, в свою очередь, должны быть ранжированы по степени важности для быстрого достижения максимальной адекватности ММ.

Для решения задачи использованы данные наблюдений за продуктивной влагой в почвах отдельно для каждой из 10 рассматриваемых станций (см. рис. 5.1). Первый этап решения задачи заключался в разделении всех параметров подмодели на постоянные и изменяемые. Для каждой станции с помощью САМ найдены значения всех 36 параметров подмодели, обеспечивающие минимальное отклонение расчетных данных по влажности почв от наблюдаемых. Таким образом, для каждого параметра были получены 10 различных значений. Кроме того, определено стандартное отклонение разброса значений параметра по анализируемой зоне Сибири. Полученные отклонения использовались затем для оценки чувствительности подмодели влагообмена к вариациям параметров.

Оценка чувствительности подмодели выполнялась следующим образом. Каждый параметр искусственно изменялся на величину его стандартного отклонения в сторону увеличения и уменьшения от его среднего значения. В результате для каждого параметра были получены две невязки (5.8). Эти две невязки, очевидно, всегда превышали исходную невязку, отвечающую среднему для станций значению тестируемого параметра. Данное увеличение (в среднем для двух невязок), таким образом, являлось характеристикой чувствительности подмодели влагообмена к соответствующему параметру. На рисунке 5.6 представлена найденная чувствительность подмодели влагообмена к 36 протестированным параметрам.

На втором этапе задачи требовалось оценить степень значимости параметров. Оценка значимости выполнялась по шагам. На первом шаге из всех параметров был найден параметр № 1 (см. рис. 5.6), в наибольшей степени уменьшающий (в среднем по всем станциям) рассчитываемые для отдельных станций невязки (5.8). При этом для

каждой станции идентифицировался только один тестируемый параметр, а остальные параметры подмодели имели фиксированные средние значения.

На втором шаге идентифицировались одновременно два параметра: установленный на предыдущем шаге и следующий тестируемый параметр. В качестве последнего проверялись поочередно все оставшиеся параметры. По наименьшей средней невязке из полученных для разных пар параметров невязок выбирался параметр №2.

На третьем и последующих шагах процедура повторялась с тремя, четырьмя и т.д. одновременно идентифицируемыми параметрами и по наименьшим средним невязкам устанавливались параметры №3, №4 и т.д. Указанным образом были выделены семь параметров. Следует отметить, что распределение параметров по значимости (по степени уменьшения невязок) не соответствует их распределению по чувствительности подмодели (см. рис. 5.6).

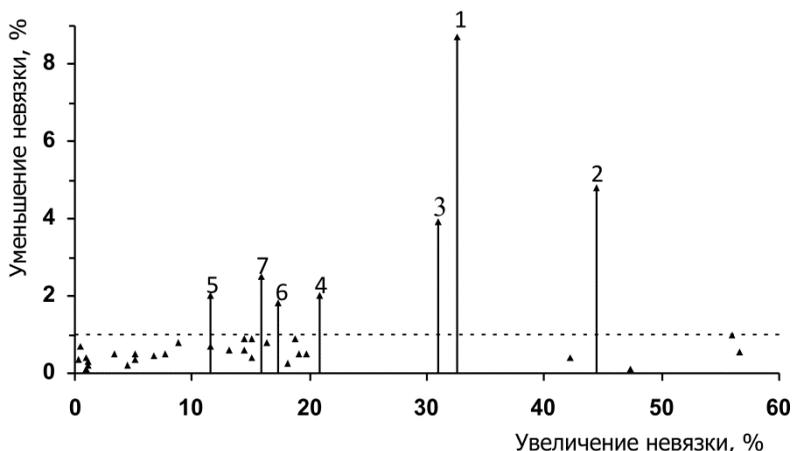


Рис. 5.6. Оценка чувствительности подмодели влагообмена к параметрам:

по оси абсцисс отложено увеличение невязки (5.8) при вариации отдельных параметров; по оси ординат показано среднее по станциям уменьшение невязки при последовательном увеличении числа варьируемых параметров от 1 до 7 и их идентификации для каждой станции в отдельности

На рисунке 5.6 видно, что параметры распределились на две четко выраженные группы. Первая группа – стабильные параметры,

вариации значений которых слабо влияют на невязку (уменьшение менее 1%), а значит, и на режим влагообмена в почвах. Значения этих параметров можно принять постоянными для рассматриваемой территории. Вторая группа – семь параметров, вариации которых в пределах сельскохозяйственной зоны Сибири существенно влияют на невязку и поэтому на рассчитываемый режим влагообмена в почвах.

Таким образом, из 36 параметров подмодели влагообмена выделены семь, наиболее важных для выполнения процедуры идентификации параметров в случае конкретных почв. Эти семь изменяемых параметров обозначены в приведенных выше уравнениях подмодели как a_1 , a_2 , a_3 , a_4 , a_5 , a_6 , a_7 .

Установленная последовательность изменяемых параметров позволяет ограничивать их число при идентификации подмодели в соответствии с имеющимися данными наблюдений. Используя при этом первые параметры из найденного ряда значимости, мы, очевидно, быстрее достигаем наилучшей точности описания влагообмена в конкретных почвах.

Установленный ряд значимости для семи изменяемых параметров подмодели отвечает степени важности для влагообмена в целом соответствующих свойств почв и процессов. Именно эти свойства требуется учитывать в первую очередь при описании влагообмена любимыми ММ. Рассмотрим эти свойства в соответствии с ранжированием параметров.

Параметр №1 (a_7) характеризует максимальную диффузию влаги вниз в весенние и летние месяцы через нижнюю границу верхнего метрового слоя, когда происходит оттаивание почв. Эта диффузия согласно расчетам изменяется в диапазоне 35–80 мм/мес. (здесь и далее диапазон соответствует среднему значению параметра \pm стандартное отклонение).

Параметр №2 (a_6) отвечает пороговому значению влажности почвы (меняющемуся в диапазоне 50–80 мм), при котором диффузия влаги из нижележащей толщи почв в иссушаемый летом верхний метровый слой почвы достигает максимальной величины (около 30 мм/мес.).

Параметр №3 (a_2) соответствует количеству влаги, поступившей из глубоких почвенных горизонтов за счет диффузии в верхнюю метровую толщу почв при образовании непроницаемой для воздуха ледяной прослойки в приповерхностном слое почвы. Появление такой прослойки приводит к вакуумному разрежению в нижележащей толще почвы, что и вызывает указанную диффузию [Горяев, 1986]. Такая вакуумная конденсация влаги составляет 30–40 мм/мес.

Параметр №4 (a_5) характеризует снижение суммарного испарения влаги в атмосферу (испарение с поверхности почвы + транспирация растений) после жатвы или увядания растений. Это имеет место, когда исчезает естественный биологический насос (растения), работающий за счет фотосинтеза и перекачивающий влагу из почвы в атмосферу. Данное уменьшение составляет по территории Сибири 20–50%.

Параметр №5 (a_3) соответствует максимальной влагоемкости оттаявшей почвы в полевых условиях. В условиях Сибири эта влагоемкость, как показали расчеты по подмодели, в большинстве случаев находится в диапазоне 150–250 мм продуктивной влаги в верхней метровой толще почв.

Параметр №6 (a_1) используется при описании процесса конвекции – конденсации влаги из почвы в атмосферу (конвекция) и из атмосферы в почву (конденсация, подобная выпадению росы, инея). Ежедневный процесс конвекции/конденсации идет в осенний период до момента установления устойчивого снежного покрова. Согласно проведенному анализу в условиях Сибири при достаточном увлажнении почв конвекция преобладает над конденсацией и пропорциональна влажности почвы. Это приводит к потерям влаги из почвы до 15 мм/мес.

Параметр №7 (a_4) представляет собой долю осадков, достигающих почвы. Другая, меньшая доля перехватывается надземными частями растений и идет на их смачивание. Достигающая почвы доля осадков в агроценозах пшеницы составляет 60–80%.

Значения остальных 29 параметров из 36 оказались достаточно стабильными и поэтому могут быть зафиксированы для всех типов почв и возделываемых на них агроценозов пшеницы. Эти фиксируемые параметры отвечают общим особенностям влагообмена в почвах под агроценозами зерновых, где имеется регулярно пропахиваемый верхний почвенный горизонт, а нижележащий горизонт пронизан живыми корнями и ходами от отмерших корней.

Изложенный метод оценки чувствительности подмодели и значимости ее параметров достаточно универсален и применим для различных ММ природных систем, в том числе ММ влагообмена в почвах. В ходе исследований проверялись также другие методы оценки чувствительности подмодели к параметрам. Например, проведена идентификация отдельных параметров подмодели для каждой из 10 рассматриваемых станций (см. рис. 5.1) при фиксированных средних значениях остальных параметров. В результате для каждого параметра получено характерное для него уменьшение невязок по всем станциям, по сравнению с невязками, отвечающими его среднему значению. Анализ показал, что данное уменьшение невязок нельзя ис-

пользовать в качестве показателя чувствительности подмодели к отдельным параметрам. Проверен и другой метод, при котором значение тестируемого параметра принималось равным его среднему для 10 станций значению, а остальные параметры идентифицировались для каждой станции в отдельности. Этот метод также оказался неэффективным для оценки искомой чувствительности.

Таким образом, САМ позволило выявить и математически описать основные процессы, определяющие помесечную динамику влажности почв для сельскохозяйственной зоны Сибири. Разработанная подмодель идентифицирована для широкого спектра экологических условий и тем самым представляет собой универсальную ММ влагообмена. В качестве входных факторов здесь используются данные о месячных осадках и среднемесячных температурах воздуха без привлечения каких-либо других динамических характеристик среды. Точность расчетов запасов продуктивной влаги в метровой толще почвы по отдельным месяцам каждого года многолетних периодов характеризуется невязкой (5.8), представляющей собой нормированное стандартное отклонение от арифметического среднего (коэффициент вариации). Она составила 25%. Данное значение практически совпадает с теоретически наилучшей точностью $\varepsilon_2 = 0,242$, или 24,2%, достижимой при описании продукционных процессов в экосистемах/агроэкосистемах. С аналогичной точностью, очевидно, рассчитывается и суммарное испарение, являющееся одним из основных формирующих влагообмен процессов. Суммарное испарение будет использоваться в третьей подмодели для расчета урожайности агроценозов.

Практическое совпадение точности подмодели влагообмена с теоретически наилучшей ε_2 может быть объяснено следующим образом. Как будет показано, при объединении трех подмоделей (влагообмена, фенологического развития и формирования урожая) величины урожая для каждого из 220 рассмотренных агроценозов рассчитываются с теоретически наилучшей точностью. Сельскохозяйственная зона Сибири характеризуется недостаточным увлажнением, и поэтому величина урожая в целом пропорциональна количеству доступной влаги в почве и *vice versa*. Тем самым и урожай, и влагообмен должны иметь практически одинаковую точность описания.

5.3.3. Подмодель формирования урожая

Разработка уравнений. Для анализа с помощью САМ закономерностей формирования урожая привлекались данные наблюдений по всем агроценозам исследуемой зоны Сибири (см. рис. 5.1). При этом все три подмодели – влагообмена в почвах, фенологического развития и собственно формирования урожая пшеницы – использовались совместно. Для разработки подмодели были приняты следующие исходные положения.

Согласно информационному закону распределение вновь образованного органического вещества между органами растений представляет собой БП для ИУ ежегодного жизненного цикла последних. Поэтому между биомассами трех основных органов (листьев с корнями, стеблями и генеративными органами) к началу периодов T_1 , T_2 , T_3 (см. рис. 3.1) должны достигаться строго определенные соотношения (энергетические/вещественные информационные продукты). Эти периоды тесно связаны с процессом формирования собственно зерна. К моменту наступления T_1 , а значит, и T_2 , T_3 надземная биомасса растений уже велика и растительный покров достаточно сомкнут. В таком случае поступление необходимого для фотосинтеза углекислого газа из атмосферы в растительный покров прямо связано с диффузией водяного пара из покрова в атмосферу. Эту диффузию с достаточно хорошим приближением можно заменить на эвапотранспирацию. Иначе говоря, общий прирост биомассы растений в указанных периодах будет непосредственно зависеть от эвапотранспирации, которая рассчитывается по подмодели влагообмена в почвах.

В средних широтах, к которым относится и сельскохозяйственная зона Сибири, интенсивность фотосинтетически активной радиации на протяжении вегетационного периода составляет около 300 В/м^2 [Ефимова, 1977]. Насыщение фотосинтетической активности у сельскохозяйственных растений наступает при величинах, в несколько раз меньших [Тооминг, 1977]. Поэтому солнечная радиация, равно как и архитектура растительного покрова, не являются лимитирующими урожаем факторами, и их можно учитывать косвенным образом через отвечающие рассматриваемой зоне значения параметров подмодели. Не является лимитирующим и количество высеваемого зерна ($180\text{--}200 \text{ кг/га}$), поскольку при повреждении всходов морозами производится повторный сев.

В п. 3.2 показано, что образуемое при фотосинтезе органическое вещество должно находиться в определенном соотношении с его количеством, затрачиваемом растениями на дыхание. Анализ экспери-

ментальных данных по фотосинтезу и дыханию у растений различных регионов мира также показывает их пропорциональность друг другу [Каллис, 1974]. Поэтому без ограничения общности можно полагать, что дыхание растений пропорционально фотосинтезу. Это позволяет учесть дыхание косвенным образом и рассматривать общий прирост биомассы растений в указанных периодах только как функцию эвапотранспирации.

САМ агроэкосистем и формирования урожая в частности использует среднемесячные температуры воздуха и месячные осадки в качестве входных факторов. В то же время расчет эвапотранспирации в течение $T_1, T_2, T_3, P_1, P_2, P_3$, как и самих этих периодов должен вестись с точностью около одного дня. Поэтому при моделировании урожая использовались интерполированные значения температур, осадков и расчетных запасов продуктивной влаги (выше влажности завядания) в метровом слое почвы. Интерполяция выполнялась по месячным значениям перечисленных характеристик с помощью кубических сплайнов [Форсайт и др., 1980] непосредственно в ходе расчетов. С использованием интерполированных значений характеристик выполнялся и расчет эвапотранспирации за отдельные периоды $T_1, T_2, T_3, P_1, P_2, P_3$, что обеспечило достижение требуемой точности подмодели.

САМ показало, что решающую роль в формировании урожая играют периоды T_2 и T_3 , когда происходит непосредственное образование репродуктивных органов (урожая) с отсутствием зависимости от температуры воздуха. Действительно, согласно информационному закону к концу T_1, T_2, T_3 также должны сформироваться фиксированные соотношения биомасс определенных органов (энергетические/вещественные продукты), отличных от указанных на рисунке 3.1. Очевидно, что созревающее в T_3 зерно является одним из таких органов. Тогда по аналогии с рисунком 3.1 формирование зерна (урожая) должно осуществляться как в T_3 , так и в T_2 .

Следуя результатам САМ, урожай пшеницы наилучшим образом описывается уравнением

$$Y = a1 \times ET_3 \times f_2(W_2) \times f_3(W_3) \quad (5.14a)$$

с ограничением

$$Y \leq a2 \times ET_2 \times f_2(W_2), \quad (5.14б)$$

где Y – урожай; $a1, a2$ – коэффициенты пропорциональности; ET_2, ET_3 – эвапотранспирация за T_2, T_3 соответственно, мм/месяц; W_2, W_3 – запасы продуктивной влаги (выше влажности завядания) в верхнем метровом слое почвы в течение T_2, T_3 соответственно, мм;

$$f_2(W_2) = \begin{cases} 0,58, & \text{если } W_2 < 80 \text{ мм} \\ 1,0, & \text{если } W_2 \geq 80 \text{ мм}, \end{cases} \quad (5.15)$$
$$f_3(W_3) = \begin{cases} 0,58, & \text{если } W_3 < 125 \text{ мм} \\ 1,0, & \text{если } W_3 \geq 125 \text{ мм}. \end{cases}$$

Функции $f_2(W_2)$ и $f_3(W_3)$ характеризуют скачкообразные изменения в приросте биомассы в зависимости от влажности почвы. Такие изменения могут объясняться изменениями в метаболизме растений при благоприятных и неблагоприятных условиях среды в течение T_2 и T_3 . Для окончательного решения этого вопроса, очевидно, требуются экспериментальные исследования.

Уравнение (5.14а) характеризует прямо пропорциональную зависимость величины урожая от эвапотранспирации и, следовательно, от транспирации. Последняя дает основной вклад в эвапотранспирацию, поскольку растительный покров в T_2 и T_3 уже достаточно сомкнут. Можно предположить без потери общности разрабатываемой ММ, что транспирация растительности пропорциональна фотосинтезу как в T_2 , так и в T_3 . Тогда транспирация может учитываться опосредованно через соответствующие значения a_1 , a_2 в (5.14). Таким образом, общее возрастание биомассы растений в T_2 и T_3 может быть функцией эвапотранспирации, как и доказано САМ в (5.14а).

Уравнение (5.14б) характеризует ограничение величины урожая лимитирующими факторами среды за период T_2 . В свою очередь, сомножитель $f_2(W_2)$ в (5.14, а, б) отражает ограничение непосредственно влажностью почвы (засуха при $W_2 < 80$ мм) за тот же период.

Таким образом, в результате ранее выполненного [Kirsta, Tarabrin, 1994] и изложенного выше САМ разработана универсальная ММ агроэкосистем пшеницы, включающая три подмодели: фенологического развития, зимне-летнего влагообмена в почвах и формирования урожая. В качестве входных факторов ММ используются среднемесячные температуры воздуха и месячные осадки как текущего, так и предыдущего года. ММ включает 61 параметр, в том числе 20 параметров для описания фенологического развития, 36 – влагообмена и 5 – урожая. Для сельскохозяйственной зоны Сибири в целом проведена идентификация (определение значений параметров) ММ, что позволяет рассчитывать внутригодовую и многолетнюю динамику агроэкосистем без дополнительных полевых исследований. Тем самым снята основная проблема ММ – определения параметров путем проведения часто сложных полевых исследований в агроэкосистемах [Emlen et al., 2003].

Адекватность ММ агроэкосистем пшеницы. Согласно требованиям САМ для оценки адекватности разработанной универсальной

ММ агроэкосистем пшеницы использовалась следующая невязка (нормированное стандартное отклонение) между расчетными и наблюдаемыми величинами:

$$\text{невязка} = \frac{\sqrt{\sum_{l=1}^{10} \sum_{k=1}^{k1} \sum_{j=1972}^{1985} (Y_{lkj}^{cal} - Y_{lkj}^{obs})^2 / N}}{\sum_{l=1}^{10} \sum_{k=1}^{k1} \sum_{j=1972}^{1985} Y_{lkj}^{obs} / N}, \quad (5.16)$$

где j – текущий год; k – порядковый номер агроценоза пшеницы на агрометеорологической станции; l – номер станции (см. рис. 5.1); kl – число анализируемых агроценозов на станции l ; Y_{lkj}^{cal} , Y_{lkj}^{obs} – соответственно расчетные и наблюдаемые величины урожаев, ц/га; N – общее число анализируемых агроценозов (220).

Стандартное отклонение расчетных значений урожаев от наблюдаемых для 220 рассмотренных случаев развития агроценозов пшеницы составило 6,74 ц/га при средней величине урожаев 20,43 ц/га. При этом все параметры ММ (61) имели одинаковое значение для всех агроценозов. Отсюда получаем нормированное стандартное отклонение (5.16) (или коэффициент вариации), равное $6,74/20,43 = 0,33$, т.е. 33%.

В п. 5.2.2, исходя из информационных принципов функционирования природных систем, показано, что ММ экосистем имеют три вида точностей/погрешностей – для математического описания СФО ($\varepsilon_1 = 1\%$), для описания количественных ($\varepsilon_2 = 24,2\%$) и временных ($\varepsilon_3 = 24,2\%$) характеристик БП (см. уравнения (5.2) и (5.3)). В случае ММ агроэкосистем этими точностями/погрешностями вместо БП характеризуется процесс формирования урожая как по величине, так и по времени. При этом число сравнений расчетных и экспериментальных данных должно быть много больше числа параметров ММ.

Погрешность подмодели фенологического развития близка к теоретически минимальной $\varepsilon_3 = 24,2\%$ (п. 5.3.2), так же как и подмодели влагообмена, где рассчитываются эвапотранспирация и влажность почвы, – к $\varepsilon_2 = 24,2\%$ (п. 5.3.1). Охарактеризуем погрешность подмодели формирования урожая, а значит, и ММ агроэкосистем в целом. Эта погрешность должна определяться всеми тремя указанными выше погрешностями – ε_1 , ε_2 и ε_3 . Следуя правилу сложения дисперсий [Миркин, Розенберг, 1978; Корн Г., Корн Т., 1984], можно ее оценить как $\varepsilon = \sqrt{1^2 + 24,2^2 + 24,2^2} \approx 34\%$. Полученная величина отвечает теоретически наилучшей точности описания информационно

регулируемого БП экосистем/агроэкосистем (см. рис. 3.1), а значит, формирования биомассы растений и урожая.

Таким образом, полученная невязка (5.16), равная 33%, практически совпадает с теоретически наилучшей точностью $\varepsilon = 34\%$. Это объясняется не очень большим различием количества параметров ММ (61) и числом сравнений (220) расчетных и наблюдаемых урожаев в (5.16). Отметим, что при равных количествах параметров и сравнений можно вообще достигнуть погрешности ММ, равной нулю. Из полученной невязки 33% следует вывод о максимально высокой адекватности разработанной универсальной ММ агроэкосистем пшеницы. Достигнутая адекватность описания означает, в свою очередь, высокую точность использованных данных наблюдений за среднемесячной температурой воздуха, осадками и урожаями. Очевидно, что большая погрешность наблюдений согласно правилу сложения дисперсий добавится к ε_1 , ε_2 и ε_3 и приведет к росту невязки (5.16) выше $\varepsilon = 34\%$.

Выводы

Итоги выполнения САМ как метода исследования экосистем, основанного на информационно-иерархическом подходе

1. Согласно информационно-иерархическому подходу эволюционно развитые экосистемы принадлежат определенному ИУ биосферы, имеют свой временной цикл развития и подчиняются определенным информационным закономерностям протекания их БП. При моделировании динамики экосистем, как и всех природных БС, обязательны выделение моделируемых ИУ их СФО, БП этих ИУ и учет схем квантования организации ИУ. В ММ требуется четкое разделение процессов, относящихся к разным ИУ, поскольку в соответствии с информационным законом ИУ функционируют автономно.
2. Метод САМ предназначен для исследования и моделирования различных экологических систем с недостаточно изученной СФО. САМ показало высокую эффективность при анализе СФО экосистем/агроэкосистем и закономерностей их функционирования. Выявляемые структурно-функциональные связи часто не соответствуют традиционным представлениям о СФО агроэкосистем, хотя последние более изучены по сравнению с другими наземными экосистемами. Для выявления с помощью САМ реальных процессов и взаимодействий требуется большое количество экспериментальных данных по динамике основных компонентов изучаемой системы и проверка на адекватность различных вариантов математического описания ее СФО.

3. Определение СФО и отдельных функциональных зависимостей между компонентами и факторами экосистем выполняется по экспериментальным данным через решение обратной задачи. При этом решение уравнений ММ всегда существует и единственно, что является следствием собственно информационно-иерархической организации экосистем.
4. САМ дает возможность одновременно проверки «на существование» и количественной оценки процессов, изучение которых экспериментальными методами затруднительно. Для разработки ММ не требуется специализированных полевых экспериментов по изучению воздействия различных факторов на динамику исследуемой системы и достаточно лишь стандартизированных наблюдений за ее процессами. Например, для выяснения с помощью САМ закономерностей влагообмена в почвах потребовались данные наблюдений лишь за влажностью почвы, температурой воздуха и осадками.
5. Эффективность САМ практически не зависит от точности наблюдений вследствие использования больших объемов экспериментальных данных. Погрешность последних приводит лишь к увеличению невязки между рассчитанными и экспериментальными значениями переменных, но никак не влияет на количественную оценку параметров и хода процессов. При этом САМ позволяет создавать наиболее адекватное и оптимальное описание СФО исследуемых систем, что делает его незаменимым при разработке универсальных ММ сложных природных объектов с недостаточно изученной СФО.
6. В качестве критерия адекватности, а значит, и полноты ММ используются три теоретически наилучшие точности (нормированные стандартные отклонения или коэффициенты вариации) описания БП экосистем, вытекающие из информационных свойств последних. Первая ($\varepsilon_1 = 1\%$) характеризует адекватность математического описания непосредственно СФО экосистем и используется для отсеивания незначущих зависимостей между переменными, а также оценки диапазона ошибок у найденных значений параметров после завершения САМ. Вторая ($\varepsilon_2 = 24,2\%$) и третья ($\varepsilon_3 = 24,2\%$) характеризуют расхождение/невязку между расчетными и наблюдаемыми данными по количественным и временным характеристикам БП соответственно. Разработка ММ считается завершенной, когда невязка между рассчитанной и наблюдаемой динамикой БП достигает теоретически наименьшей величины (наилучшей точности). Таким образом, все адекватные ММ экосистем должны включать в себя информационно регулируемые БП и описывать их с теоретически наилучшей точностью.

7. Предложена процедура по ранжированию параметров ММ, требующаяся для идентификации ММ при разных объемах исходных экспериментальных данных.

Основные результаты моделирования агроэкосистем

1. С помощью САМ разработана высокоадекватная универсальная ММ агроэкосистем пшеницы, использующая информационные закономерности функционирования биологических систем. Этим закономерностям подчиняются соотношения биомасс органов растений, равно как и ход биологического времени последних. Точность ММ является теоретически наилучшей, что означает адекватное описание всего комплекса факторов, влияющих на урожай. В силу универсальности указанных закономерностей ММ может применяться для описания развития различных зерновых культур после соответствующей идентификации (определения параметров) ММ в рамках САМ.
2. При разработке ММ агроэкосистем установлены и количественно охарактеризованы особенности хода биологического времени растений, влагообмена в почвах на протяжении всего года и формирования урожая зерновых для условий континентального климата средних широт. Количественные характеристики процессов определены путем решения обратной задачи по данным наблюдений. Для идентификации разработанной ММ необходимы только данные о среднемесячных температурах воздуха, месячных осадках и урожаях. После идентификации входными факторами ММ служат среднемесячные температуры воздуха и месячные осадки без привлечения других динамических характеристик среды.
3. Показано наличие у растений двух типов биологического времени, которые сменяют друг друга в ежегодном цикле развития растений согласно информационному закону. Получены балансовые уравнения, описывающие по месяцам года основные процессы влагообмена в промерзающих и оттаивающих почвах. Это образование в приповерхностном слое почвы осенью и весной прослойки из льда; осенний подъем влаги из нижних слоев почвы в верхний метровый слой, где влага конденсируется при наличии указанной прослойки; зимняя термодиффузия парообразной влаги из почвы в снежный покров; формирование временного «подвешенного» горизонта влаги весной и др. Проведено ранжирование параметров подмодели влагообмена, отражающее значимость соответствующих свойств почв и процессов для влагообмена на протяжении всего года.

Глава 6

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ АГРОКЛИМАТИЧЕСКОГО ПОТЕНЦИАЛА ТЕРРИТОРИЙ И РЕГИОНАЛЬНЫХ ИЗМЕНЕНИЙ КЛИМАТА

6.1. Модель агроклиматического потенциала и климатических трендов

Понятие агроклиматического потенциала (АП) используется в природопользовании для характеристики климатических, почвенных и других возможностей территории, обеспечивающих получение сельскохозяйственной продукции [Жуков и др., 1989]. Оценка АП, например, нужна при сельскохозяйственном районировании территории. Не менее важной характеристикой сельскохозяйственной деятельности является эффективность землепользования. Современные подходы к оценке АП и эффективности землепользования все чаще базируются на математическом моделировании агроэкосистем, в том числе стохастико-динамических и вероятностных методах. При оценке по мере возможности учитываются зависящая от энерговооруженности культура земледелия, обеспеченность материально-техническими ресурсами, ведущаяся селекционная работа, мелиорация земель, их плодородие и другие факторы. Особого внимания заслуживает подход, когда в качестве показателя агроклиматических ресурсов используются расчетные значения потенциального урожая, действительно возможного урожая или баллы относительной урожайности [Кочуров, 2003]. Важным преимуществом такого подхода к оценке АП является то, что АП выражается не в показателях отдельных составляющих климата или качества почв, а в удобных для экономической интерпретации значениях урожайности. Это позволяет давать сравнительную оценку АП для различных зон применительно к конкретным культурам или комплексу культур.

Таким образом, АП целесообразно определять как ожидаемую урожайность сельскохозяйственных культур для сложившихся условий среды и землепользования. Для оценки АП, например, можно использовать урожайность зерновых в целом, принятую в статистической отчет-

ности [Российский статистический..., 2000]. Для большинства технологически развитых стран, включая Россию и США, основной сельскохозяйственной культурой является пшеница. Поэтому АП можно эквивалентным образом определить как ожидаемую урожайность в агроэкосистемах пшеницы, отвечающую меняющимся условиям среды, почвам и эффективности землепользования (зависящего от условий среды, качества земель, агротехнологий, используемых районированных сортов культур и т.д.). Отметим, что рис, как вторая по значимости продовольственная культура (основная в Юго-Восточной Азии), не может использоваться для этих целей из-за значительной роли орошения для его возделывания и незначительной – самих осадков. Введенное понятие потенциала и будет использоваться далее. Под динамикой АП мы будем понимать его многолетние годовые изменения. Последние рассчитываются с помощью разработанной ММ по наблюдаемым/статистическим данным об урожаях пшеницы совместно с расчетом трендов для температур воздуха (отдельно для холодного и теплого периодов года), осадков и эффективности землепользования.

При традиционных оценках агроклиматических ресурсов используются достаточно простые комбинации (формулы) из среднесноголетних значений климатических, почвенных или других факторов, как например известный гидротермический коэффициент (ГТК) территории или часто используемый биоклиматический потенциал Д.И. Шашко [1985]. Последний представляет собой комбинацию лишь двух факторов среды: суммы среднесуточных температур воздуха за период активной вегетации и изменения показателя атмосферного увлажнения воздуха. Предложенный АП имеет значительные преимущества перед общепринятыми методами расчета агроклиматических и биоклиматических ресурсов территории.

✓ Рассчитываемый по модели АП адекватно учитывает весь комплекс основных факторов среды, влияющих на развитие и продуктивность растений.

✓ АП сопоставим со среднесноголетней урожайностью – основной характеристикой, используемой в сельском хозяйстве.

✓ Возможны оценка с помощью ММ годовых изменений АП и выполнение долгосрочных прогнозов.

✓ АП позволяет оценить многолетнюю реакцию системы землепользования на широкий спектр процессов, направленность и темп протекания которых определяются как неконтролируемыми погодными условиями, так и контролируемыми человеком воздействиями на агроэкосистемы, например использованием районированных сортов культур и специализированных агротехнологий.

✓ Можно охарактеризовать степень адекватности АП конкретным территориям путем сравнения рассчитанных по ММ и наблюдаемых урожаев, тогда как для традиционно используемых потенциалов такая характеристика невозможна в принципе.

✓ Расчет АП по ММ позволяет выбрать оптимальную стратегию использования земель и проводить мониторинг эффективности их использования в меняющихся климатических условиях. В свою очередь, это дает возможность сохранять максимально высокий уровень сельскохозяйственного производства в целом.

ММ динамики АП и климатических трендов. Представленная выше ММ агроэкосистем пшеницы при общих для сельскохозяйственной зоны Сибири значениях параметров дает точность расчетов, близкую к теоретически наилучшей. ММ отражает общие закономерности развития агроценозов зерновых и поэтому является универсальной. Все это дает возможность использовать данную ММ для оценки АП различных сельскохозяйственных территорий с возделыванием зерновых культур.

ММ динамики АП и климатических трендов (ММ АП) включает с некоторыми изменениями три подмодели (п. 5.3.1–5.3.3), описывающие фенологическое развитие агроценозов яровой пшеницы, влагообмен в почвах и урожайность. Помимо этих подмоделей, ММ АП дополнена подмоделью климатических трендов с уравнениями, характеризующими тренды изменений климата для анализируемых территорий в целом (площадные климатические тренды). Относительно медленные изменения условий среды (климата, почв), сельскохозяйственных технологий, а значит, и АП на протяжении многолетних периодов позволяют характеризовать изменения климатических факторов и эффективности землепользования через линейные тренды по времени. Поэтому в ММ АП одновременно с расчетом АП определяются четыре линейных тренда: температур воздуха для холодного периода года (среднемесячные температуры < 0 °С), температур воздуха для теплого периода года (среднемесячные температуры ≥ 0 °С), количества выпадающих осадков и эффективности землепользования (которая зависит от уровня технологий, плодородия почв, мелиорации и других факторов).

ММ АП разработана с использованием данных по сельскохозяйственной зоне Сибири (см. рис. 5.1) и является дальнейшим развитием ММ агроэкосистем. В качестве входных факторов в ней используются среднемноголетние значения среднемесячных температур воздуха, месячных осадков и многолетние ряды наблюдаемых урожаев. В отличие от ММ агроэкосистем данные о влажности почв и фенологическом цикле развития зерновых из нее исключены. Расчет этих

характеристик выполняется по соответствующим подмоделям на основе параметров, определяемых в ходе САМ. Многолетняя динамика АП рассчитывается по ММ как ожидаемая урожайность зерновых (пшеницы как основной культуры) для существующих условий среды, условий землепользования и текущих трендов перечисленных выше факторов. Таким образом, в АП учитываются одновременно природные условия территории (климат, почвы и др.) и антропогенные факторы (агротехнологии, сорта зерновых культур и др.).

Определение параметров ММ АП (включая многолетние тренды температур воздуха отдельно для холодного и теплого периодов года, тренды количества осадков и эффективности землепользования) осуществляется стандартным для САМ образом как процедура идентификации параметров ММ АП для конкретных территорий. Идентификация выполняется путем решения обратной задачи на основе оптимизационных методов САМ. С их помощью определяются значения параметров, обеспечивающие наименьшее отклонение расчетной урожайности/АП от наблюдаемых урожаев согласно (5.16). При этом фактически используется информация о динамике АП, трендах температур воздуха, осадков и эффективности землепользования, которая заключена неявным образом в многолетних рядах наблюдений за урожаями культуры пшеницы на характеризуемой территории. В конечном итоге, эта информация выражается количественно в параметрах ММ АП.

Подмодель климатических трендов восстанавливает среднемесячные температуры воздуха и месячные осадки для отдельных лет по их среднемноголетним значениям, являющимся входными факторами ММ АП. Для этого используются найденные в процессе САМ значения параметров климатических трендов.

САМ показало, что традиционное описание многолетних изменений температур воздуха и осадков как ежегодное увеличение или уменьшение их месячных значений на определенную величину не является адекватным и дает значительные расхождения расчетных и наблюдаемых данных по урожайности агроценозов всей сельскохозяйственной зоны Сибири. Найдено более адекватное описание реальных трендов, когда изменения температур воздуха (отдельно для холодного и теплого периодов года) и осадков характеризуются в процентах от их среднемноголетних месячных значений. Данный характер климатических трендов обусловлен также физическими соображениями о регуляции растительностью климата (п. 4.3.1) через изменение альбедо земной поверхности и транспирации влаги за счет ежегодных и/или многолетних вариаций видового состава. Так, уменьшение (увеличение) альбедо земной поверхности ведет к увеличению (уменьшению)

температуры приземного слоя атмосферы пропорционально приходящей солнечной радиации, а значит, пропорционально среднемесячным значениям температур воздуха. В свою очередь, до 25–35% осадков на континенте формируется за счет испаряющейся с земной поверхности влаги [Мировой... , 1974]. Эта часть включает транспирацию растений и значительно превышает собственно межгодовые колебания осадков. Поскольку испарение влаги непосредственно зависит от количества приходящей солнечной радиации и температуры воздуха, изменения испарения и осадков также должны быть пропорциональны их месячным значениям.

Общие уравнения для многолетних трендов имеют вид

$$T = \bar{T}[1 + a1(k - N/2)] \text{ для } T < 0, \quad T = \bar{T}[1 + a2(k - N/2)] \text{ для } T \geq 0, \\ P = \bar{P}[1 + a3(k - N/2)], \quad (6.1)$$

где T – среднемесячная температура воздуха, °C; P – месячные осадки, мм; \bar{T} , \bar{P} – наблюдаемые среднемноголетние месячные значения температуры воздуха и осадков соответственно; $a1$, $a2$, $a3$ – параметры тренда, отвечающие долям (%) ежегодного увеличения/уменьшения месячных значений температур воздуха для холодного ($T < 0$ °C) и теплого ($T \geq 0$ °C) периодов и осадков соответственно; k – порядковый номер года в рассматриваемом многолетнем периоде, $k = 1, \dots, N$; N – общее число рассматриваемых лет.

Восстановленные по уравнениям (6.1) среднемесячные температуры воздуха (для холодного $T < 0$ °C и теплого $T \geq 0$ °C периодов года) и осадки используются одновременно в остальных трех подмоделях: фенологического развития, влагообмена в почвах и урожайности.

В подмодели фенологического развития рассчитывается ход биологического времени растений для отдельных лет в зависимости от восстановленных по трендам среднемесячных температур воздуха отдельных лет.

С помощью САМ установлено, что использование среднемноголетней даты всходов для отсчета хода биологического времени отдельных лет обеспечивает наилучшую точность описания подмоделью фенологического развития растений в отличие, например, от сроков сева. САМ показало, что сроки всходов слабо зависят от температур воздуха. Действительно, эти сроки должны преимущественно определяться интенсивностью приходящей солнечной радиации, прогревающей верхний слой почвы с семенами, и в меньшей степени – температурой воздуха. Внутригодовая динамика прихода солнечной радиации одинакова для всех лет, что обеспечивает достаточное постоянство сроков всходов. Отметим, что при известных из наблюдений средне-

многoletних датах всходов и созревания урожая идентификацию параметров подмодели (температурных порогов в уравнении (5.4)) можно проводить независимо от других подмоделей.

Для повышения точности расчетов ход биологического времени у пшеницы характеризуется в подмодели с 3-дневным шагом (отвечает циклу низшего ИУ-5) с использованием интерполированных с тем же шагом значений температур воздуха. Интерполяция выполняется по восстановленным среднемесячным значениям температуры за отдельные годы непосредственно в ходе расчетов с помощью кубических сплайнов [Форсайт и др., 1980].

Выходными переменными подмодели фенологического развития, используемыми в дальнейших расчетах, являются сроки прохождения агроценозами фенологических фаз и выделенных периодов T_1 , T_2 , T_3 , P_1 , P_2 , P_3 (п. 5.3.1). Завершение развития агроценозов согласно информационному закону наступает при достижении растениями 99 дней (3,3 мес.) биологического времени.

В подмодели **влагообмена** используются те же балансовые уравнения (5.10)–(5.13), что и в ММ агроэкосистем. Входными факторами здесь являются среднемесячные температуры воздуха и месячные осадки, а также сроки прохождения пшеницей годового жизненного цикла, рассчитываемые в подмодели фенологического развития. Среднемесячные температуры и осадки восстанавливаются для отдельных лет по трендам (6.1) из соответствующих среднемноголетних величин (входных факторов ММ АП). Выходными переменными подмодели являются запасы продуктивной влаги в почве и значения суммарного испарения/эвапотранспирации за летний период развития растений. Как и в предыдущей подмодели, все входные и полученные выходные месячные характеристики интерполируются на основе кубических сплайнов с 3-дневным шагом в пределах каждого месяца года.

По подмодели **урожайности** рассчитывается динамика АП. Входные факторы подмодели включают восстановленные по трендам среднемесячные температуры воздуха и месячные осадки для отдельных лет, сроки фенологических фаз и периодов, запасы продуктивной влаги в почве и суммарное испарение. Динамика АП рассчитывается по этим факторам как ожидаемая урожайность у агроценозов пшеницы за отдельные годы. При необходимости ММ АП должна также одновременно характеризовать многолетнее развитие агроэкосистем зерновых в целом (включая пшеницу как основную культуру). В связи с заметными отличиями фенологического развития у разных зерновых культур, а также из-за использования в ММ восстановленных климатических характеристик выражения (5.14, а, б) с тесной зависимостью

урожая от хода биологического времени для расчета АП становятся неудовлетворительными. В рамках САМ получено другое уравнение для АП:

$$\text{АП} = H(a4, a5, a6, 1, 0, 0, Wb) \times \frac{a7 \times Si}{1 + a8 \times Si} \times (1 + a9)^{k-1}, \quad (6.2)$$

где АП – агроклиматический потенциал, ц/га; $H(a4, a5, a6, 1, 0, 0, Wb)$ – кусочно-линейная функция (5.5); $a4, a5, a6, a7, a8, a9$ – параметры; Wb – запасы продуктивной влаги в почве в критической для формирования будущего урожая фазе развития растений (колошение–цветение), мм; k – порядковый номер года в рассматриваемом многолетнем периоде; Si – суммарное испарение/эвапотранспирация за время формирования урожая, мм; значения Si рассчитываются в подмодели влагообмена с 3-дневным шагом по времени после интерполяции соответствующих месячных характеристик, входящих в уравнения баланса продуктивной влаги в почве (5.13) для летнего периода.

В уравнении (6.2) функция $H(a4, a5, a6, 1, 0, 0, Wb)$, где $a6 \leq 1$, характеризует увеличение АП (урожайности) с ростом влагообеспеченности растений в критический для формирования урожая период биологического времени. Этот период найден в ходе САМ и отвечает рассчитываемой по подмодели фенологического развития фазе колошения–цветения растений. Сигмоидальная зависимость

$$\frac{a7 \times Si}{1 + a8 \times Si},$$

в свою очередь, характеризует увеличение общих затрат влаги на образование органического вещества с ростом суммарного испарения в период формирования урожая. Параметр $a7$ здесь зависит от плодородия почв, применения удобрений, возможного орошения, особенностей ландшафта и других факторов. Множитель $(1 + a9)^{k-1}$ в уравнении (6.2) характеризует собственно многолетний тренд эффективности землепользования, снижающегося или увеличивающегося при $a9 < 0$ или $a9 > 0$ соответственно. При этом значение параметра $a9$ определяется многолетними изменениями факторов среды и почвенных характеристик, а также улучшением/ухудшением применяемых сельскохозяйственных технологий. Характеризуя далее собственно тренд эффективности землепользования через параметр $a9$, будем выражать его в процентах.

Ранжирование параметров. ММ АП в целом содержит большое число функциональных зависимостей, характеризуемых с помощью 65 параметров, включая четыре значения параметров трендов $a1, a2, a3, a9$. Каждый параметр, очевидно, прямо или косвенно влияет на

рассчитываемую динамику АП. Некоторые параметры, соответствующие стабильным для разных территорий агроклиматическим характеристикам среды, можно принять постоянными (при необходимости с их более точной оценкой для конкретной территории через САМ). Их значения получены с помощью САМ непосредственно при разработке ММ. Остальные параметры, отвечающие значительно варьирующим характеристикам среды, могут использоваться для идентификации ММ АП. Для них выполнено ранжирование по степени влияния на АП, аналогичное ранжированию параметров влагообмена (п. 5.3.2). Это позволило определить 19 основных параметров, подлежащих идентификации и обеспечивающих корректный расчет динамики АП, климатических трендов и тренда эффективности землепользования для конкретных территорий. Из них 3 параметра относятся к подмодели климатических трендов, 3 – фенологического развития, 7 – влагообмена, 6 – урожайности/АП.

Выделенные параметры имеют разную значимость для формирования АП. САМ показало, что наиболее значимыми для АП являются параметры третьей подмодели, за ними следуют параметры второй и затем первой подмодели. Таким образом, мы имеем последовательность из 19 параметров, обеспечивающих в целом идентификацию ММ АП.

1. Параметр a_7 в (6.2), характеризующий АП.

2. Параметр a_8 в (6.2), характеризующий снижение скорости образования органического вещества при большой интенсивности суммарного испарения S_i и зависящий от сомкнутости растительного покрова и сложившихся в целом на характеризуемой территории климатических условий.

3–5. Три параметра a_4 , a_5 , a_6 в (6.2), характеризующие влияние на урожайность увлажнения почв в период колошения–цветения растений.

6–9. Четыре параметра a_1 , a_2 , a_3 , a_9 в (6.1) и (6.2), соответствующие определяемым в ходе САМ трендам среднемесячных температур воздуха (отдельно для холодного и теплого периодов года), месячных осадков и эффективности землепользования.

10–16. Семь параметров в (5.10)–(5.13), характеризующих особенности влагообмена в почвах (п. 5.3.2).

17–18. Два параметра T_1 , T_2 в (5.4) – температурные пороги, определяющие ход биологического времени растений.

19. Параметр, характеризующий специфичную для территории среднесезонную дату всходов.

Полученный ряд значимости параметров ММ АП характеризует степень важности для АП соответствующих факторов среды и идущих в агроэкосистемах процессов. Остальные факторы, которые непосредственно в ММ не рассматриваются, учитываются или косвенным образом при идентификации перечисленных 19 параметров, или при дополнительной идентификации оставшихся из 65 параметров. Тем самым учитываются все факторы среды, определяющие АП и его многолетнюю динамику.

Процедура идентификации ММ АП требует наличия данных наблюдений за урожайностью в агроэкосистемах. В некоторых случаях данных может быть недостаточно для удовлетворения требования САМ о превышении количества наблюдений над числом идентифицируемых параметров. Установленная последовательность параметров позволяет ограничивать их число при идентификации ММ АП в соответствии с количеством имеющихся наблюдений. С использованием при этом первых параметров из установленного ряда значимости максимально быстро достигается наилучшая точность оценки как динамики АП, так и климатических трендов с трендом эффективности землепользования для выбранной территории.

Таким образом, на основе ММ агроэкосистем (п. 5.3.1–5.3.3) с помощью САМ создана универсальная ММ АП. Она описывает многолетние изменения АП, климата и эффективности использования сельскохозяйственных земель, а также внутригодовую динамику основных агроэкосистемных процессов (фенологического развития зерновых культур, влагообмена в почве, процесса формирования урожая). Расчеты ведутся с использованием только многолетних рядов фактических урожаев, среднемноголетних месячных температур воздуха и осадков как входных факторов ММ АП. Это обуславливает значительные преимущества и принципиальное отличие предложенного метода оценки АП от традиционных оценок природно-климатических ресурсов по формулам-комбинациям из отдельных факторов среды (сумм положительных температур, осадков, увлажнения воздуха и другим факторам).

В прикладном отношении ММ АП предназначена для применения в региональных системах контроля и управления земельными ресурсами в условиях континентального и умеренного климата. Такие системы сейчас имеются в различных странах мира и позволяют заблаговременно подготовиться к неблагоприятным последствиям глобальных климатических изменений [Винокуров и др., 2000]. Решение вопросов совершенствования землепользования также является одним из прикладных результатов применения ММ АП. Она обеспечивает возможность оптими-

зации структуры земельного фонда и систем земледелия, а также выделения территорий, потенциально перспективных для сельскохозяйственного производства при современных изменениях климата.

6.2. Адекватность модели агроклиматического потенциала и реализация принципа Ле Шателье в агроэкосистемах

Адекватность ММ АП. Любая ММ экосистем/агроэкосистем описывает идущие в них процессы с определенной погрешностью. Погрешность расчетов по разработанной ММ агроэкосистем пшеницы (п. 5.3.3) для сельскохозяйственной зоны Сибири характеризуется нормированным стандартным отклонением (коэффициентом вариации) 33% для невязки урожаев (5.16) при одинаковых для всех агроценозов значениях ее параметров. Данная погрешность расчета урожаев совпадает с наилучшей для таких ММ, составляющей 34%. Напомним, что погрешность 34% формируется из трех теоретически наименьших погрешностей, определяемых информационным законом. Они равны соответственно 1% для описания СФО системы, 24,2% для описания количественных характеристик БП и аналогичной погрешности 24,2% для временных характеристик. Согласно правилу сложения дисперсий эти три погрешности дают значение $\sqrt{1^2 + 24,2^2 + 24,2^2} \approx 34\%$.

ММ агроэкосистем фактически является частным случаем ММ АП, когда в последней вместо среднепогодных температур воздуха и осадков для расчетов используются их реальные значения для отдельных лет, а тренды этих факторов и тренд эффективности землепользования отсутствуют (уравнений (6.1) нет, а параметр a_9 в (6.2) равен нулю). Поэтому ММ АП, использующая восстановленные климатические характеристики вместо реальных, должна иметь большую погрешность расчетов по сравнению с погрешностью (34%) ММ агроэкосистем.

Можно определить фактическую точность/погрешность расчетов у ММ АП, взяв данные наблюдений по сельскохозяйственной зоне Сибири 1972–1985 гг., которые использовались для ММ агроэкосистем. Для этого с помощью САМ необходимо определить (идентифицировать) общие для всех агроценозов характеризуемой зоны значения параметров, включая тренды. Полученное при этом расхождение (невязка) между расчетной урожайностью и наблюдаемыми для отдельных агроценозов урожаями составит точность/погрешность ММ АП.

Установлено, что основной период погодных колебаний среднемесячных температур воздуха и осадков на территории бывшего СССР, включая Сибирь, равен четырем годам [Федоров, 2001]. Поэтому для корректного определения трендов этих климатических характеристик следует взять расчетный период ММ, кратный четырем годам, чем минимизируется влияние их погодных колебаний на определяемые значения трендов. По этой же причине расчетный период должен быть кратным среднему 11,5-летнему периоду колебаний солнечной активности, также влияющей на климатические процессы. С учетом изложенного для оценки точности/погрешности ММ АП из имеющихся данных 1972–1985 гг. выбран 12-летний период наблюдений за агроценозами 1973–1984 гг., включая среднемноголетние значения месячных температур и осадков по каждой из 10 станций рассматриваемой зоны Сибири (см. рис. 5.1) и более 200 значений урожаев отдельных лет.

Расчет динамики АП (ожидаемых урожайностей отдельных агроценозов в каждом году) в рамках САМ дал точность/погрешность с нормированным стандартным отклонением расчетных урожайностей от наблюдаемых урожаев (у отдельных агроценозов в каждом году), равную 24,2% вместо ожидаемых 34% (табл. 6.1). Отметим, что согласно данным таблицы 6.1 при общем многолетнем росте АП в отдельные годы наблюдается падение АП. Этот эффект объясняется особенностями зимне-весеннего влагообмена в почвах (п. 5.3.2), когда процессы зимней термодиффузии влаги в почвах имеют специфичную зависимость от их предшествующего увлажнения в осенний период.

Таблица 6.1

Динамика агроклиматического потенциала
для сельскохозяйственной зоны Сибири за 1973–1984 гг.*

Годы											
1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984
Средняя для зоны наблюдаемая урожайность агроценозов, ц/га											
19,02	18,50	17,36	17,40	20,01	17,23	13,41	21,09	16,87	24,69	22,82	24,72
АП как средняя для зоны ожидаемая урожайность агроценозов, ц/га											
17,05	17,01	17,30	17,98	17,81	18,82	17,83	20,81	19,34	21,02	22,01	22,52
Нормированное стандартное отклонение (коэффициент вариации) ожидаемой урожайности отдельных агроценозов от фактических урожаев, %											
23	24	24	19	24	19	45	19	21	20	27	26

* Для рассматриваемого 12-летнего периода тренды согласно уравнениям (6.1), (6.2) составили: для температур холодного и теплого периодов года $a_1 = -0,28\%$ и $a_2 = -0,30\%$ за год соответственно, для осадков $a_3 = +2,21\%$ за год, для эффективности землепользования $a_9 = +0,47\%$ за год. Отрицательное значение тренда a_1 для холодного периода года с температурами $< 0^\circ\text{C}$ означает повышение последних.

Таким образом, полученная погрешность 24,2% при расчете урожайности отдельных агроценозов по ММ АП для всей сельскохозяйственной зоны Сибири (когда вместо фактических среднемесячных температур воздуха и осадков для отдельных лет используются их менее точные значения, восстановленные из среднемноголетних величин по уравнениям трендов (6.1)) оказалась *меньше* требуемых 34%. Из полученного улучшения точности ММ АП следуют важные выводы.

Первый вывод – о существовании общих для анализируемой территории трендов температур воздуха и осадков, рассчитываемых пропорционально среднемесячным значениям по уравнениям (6.1). Он следует из достигнутой теоретически наилучшей точности расчетов урожайности агроценозов 24,2%. Эта точность означает, что для каждой из 10 рассмотренных станций сельскохозяйственной зоны Сибири многолетние тренды температур воздуха и осадков охарактеризованы в ММ АП максимально точно, без погрешностей. В то же время для всех станций и отвечающих им более 200 агроценозов при расчете по ММ АП используется один тренд (параметр) для температур воздуха холодного периода, один – для температур теплого периода и один – для осадков. Таким образом, эти три тренда являются общими для всей анализируемой территории.

Из первого вывода вытекает полезное следствие. При оценке согласно (6.1) трендов температур и осадков лишь по одной или нескольким тестовым точкам (станциям) эти тренды могут быть распространены на большие территории [Кирста, 2011а], в данном случае на всю сельскохозяйственную зону Сибири. Это, например, важно при анализе климатических изменений на больших территориях по одной-двум точкам с уникальными рядами метеорологических наблюдений в 100 лет и более.

Второй вывод – с помощью ММ АП можно прогнозировать урожайность зерновых на ряд лет, исходя из условия, что количественные характеристики трендов рассмотренных климатических факторов и эффективности землепользования остаются достаточно стабильными. Периоды их стабильности рассчитываются по совместному воздействию социосферы и биосферы на климат (п. 4.3.1). Точность/погрешность $\approx 24\%$ прогнозов урожайности отвечает теоретически наилучшей точности у ММ экосистем/агроэкосистем. Тем самым разработанная ММ АП является одновременно и наилучшей прогнозной ММ, для которой требуются лишь среднемноголетние месячные данные о температурах воздуха и осадках в дополнение к данным об урожаях отдельных лет и ритмике развития общества на характеризующей территории [Кирста, Ловцкая, 2009; Кирста, 2011б]. При этом

точность прогноза будет в основном зависеть от значений одного-двух параметров ММ АП с наибольшими диапазонами ошибок и влиянием на АП (таких как тренд эффективности землепользования a_9 в (6.2)).

Третий вывод касается известного принципа Ле Шателье. Рассмотрим ситуацию подробнее.

Принцип Ле Шателье. Использование среднесуточных климатических характеристик в ММ АП нельзя трактовать как сглаживание входных данных, обычно применяемое в экологических ММ с дифференциальными уравнениями. В случае ММ АП среднесуточная внутригодовая динамика температур воздуха и осадков совмещена с незначительным ежегодным сдвигом линий тренда на протяжении многолетнего периода и значительно отличается от реальной динамики данных факторов в каждом году. Поэтому применение среднесуточных климатических характеристик вместо реальных должно привести к увеличению погрешности расчетов до $> 34\%$.

Полученная погрешность расчетов $24,2\%$ вместо 34% является прямым следствием свойства самостабилизации биологических систем, известного для экосистем как принцип Ле Шателье. Это свойство обеспечивает «гашение» дестабилизирующего влияния на БП (на формирование энергетических/вещественных и временных информационных продуктов) и, следовательно, на связанные с БП другие процессы наземных экосистем/агроэкосистем появляющихся случайных отклонений температур воздуха и осадков в отдельные годы относительно их среднесуточного (трендового) значения. Выработка такого свойства, очевидно, возможна только при одной и той же закономерной форме изменения климатических факторов (в данном случае климатических трендов (6.1)) на протяжении эволюции биосферы.

В ММ АП самостабилизация непосредственно не учитывается, и по этой причине, как показали расчеты, погрешность расчетов увеличивается с $24,2$ до 35% при переходе в ММ АП от трендовых значений среднемесячных температур воздуха и месячных осадков к их реальным значениям за отдельные годы. Несложно оценить «погашенный» через самостабилизацию вклад в годовые колебания урожая непосредственно случайных вариаций этих двух факторов. При расчете по трендовым значениям факторов мы имеем нормированное стандартное отклонение расчетной урожайности от наблюдаемых урожаев $24,2\%$. При переходе в ММ АП к наблюдаемым значениям среднемесячных температур воздуха и осадков мы фактически добавляем к трендовым значениям их случайные вариации и тем самым увеличиваем отклонение до 35% . Согласно правилу сложения дисперсий имеем:

$$(35\%)^2 \approx (24,2\%)^2 + (\text{вклад вариаций температур и осадков})^2.$$

Отсюда «погашенный» вклад вариаций температур воздуха и осадков в колебания урожая составит $\sqrt{35^2 - 24,2^2} = 25,3 \approx 25\%$ от среднего значения урожайности.

Из существования самостабилизации у агроэкосистем, погашающей воздействия случайных вариаций температур воздуха и осадков на формирование урожая, следует также вывод, что повышение точности прогностических ММ урожаев сельскохозяйственных культур и/или АП может быть достигнуто путем использования восстановленных по трендам значений среднемесячных температур воздуха и осадков вместо фактических.

Рассмотрим первичную причину эволюционного появления у экосистем свойства самостабилизации. Согласно требованиям информационного закона СФО биологических систем эволюционно устойчива только при условии, что случайные вариации формирующихся в них компонентов энергетических/вещественных и временных продуктов имеют нормированные стандартные отклонения не более 24,2%, и тем самым отвечающая этим вариациям информация будет равна нулю (п. 5.2.2). К таким компонентам относится, в частности, урожай. Поэтому принцип самостабилизации, или принцип Ле Шателье, означает на деле информационную стабилизацию экосистем/агроэкосистем через ограничение вариаций урожаев в пределах 24,2% относительно их среднееголетнего значения, определяемого многолетними климатическими трендами. Только в этом случае будет отсутствовать перенос стохастической информации, разрушающей информационную устойчивость СФО.

Таким образом, на примере агроэкосистем подтверждена информационная основа эволюционного появления у экосистем свойства самостабилизации и дана количественная оценка последнего.

6.3. Влияние климатических изменений и деятельности человека на развитие опустынивания для юга Западной Сибири

Проблеме изменения природной среды сейчас уделяется особое внимание. Важное место в этой проблеме занимает изучение реакции природных систем регионального и топологического уровня на изменение климата. Для Западной Сибири подобные работы не проводились. Это определило выбор данной территории для моделирования и прогноза региональных проявлений глобальных климатических изменений и их влияния на ход климатического опустынивания на юге

Западной Сибири. При прогнозе учитывались изменение ландшафтной структуры лесостепной зоны под воздействием климатических факторов, а также особенности географического положения территории, характер подстилающей поверхности и хозяйственная деятельность человека.

С помощью разработанной ММ АП для лесостепной зоны Западной Сибири выявлены многолетние тренды температур и осадков как площадные характеристики ее температурного режима и режима увлажнения. Анализ современных климатических изменений с помощью ММ АП выполнялся в рамках САМ, которое обеспечило обработку больших массивов экспериментальных данных с одновременным просчетом сложной системы уравнений ММ АП и оптимизационным подбором ее параметров. Тренды климатических характеристик находились как соответствующие параметры ММ АП путем достижения минимального отклонения (невязки) рассчитываемых значений урожайности от наблюдаемых урожаев согласно (5.16). Тем самым тренды были найдены по информации, заключенной неявным образом в многолетних рядах наблюдений за урожаями зерновых по анализируемым зонам и являются площадными характеристиками.

Именно площадные климатические тренды позволяют прогнозировать изменение ландшафтной структуры территории. По восстановленным трендам температур и осадков с учетом особенностей географического положения территории, характера подстилающей поверхности и хозяйственной деятельности человека рассчитано влияние климатических факторов на развитие растительности и эволюцию ландшафтной структуры территории.

Региональные факторы формирования зональных ландшафтов.

В формировании зональных ландшафтов важнейшее значение имеют климатические факторы, а среди них – термический режим лета [Будыко, 1977; Мильков, 1986]. В пределах Западно-Сибирской равнины изолинии сумм температур теплой (вегетационной) части года и изолинии сумм температур летнего сезона имеют направление, близкое к широтному [Филандышева, Окишева, 2002]. В западной части они отклоняются к северу, а в восточной – к югу [Барышникова и др., 2003].

В первом случае положение изолиний температур определяется влиянием Уральских гор, так как они представляют собой границу между различными барическими системами и воздушными массами. Урал создает особые условия продвижения воздушных масс с запада на восток. В атмосфере над Уралом возникают крупномасштабные гребни, блокирующие западный перенос воздушных масс [Бордовская, 1974]. С подветренной стороны Урала облачность расслаивается [Со-

ветова, 1959; Хргиан, 1961]. В условиях барьерной тени уменьшается величина осадков и формируется своеобразный умеренно континентальный климат Приуралья [Сляднев, 1972].

Во втором случае на юго-востоке Западно-Сибирской равнины на пути циклонических образований, перемещающихся с запада и юго-запада, находятся Салаирский кряж и Алтай. Горы здесь создают противоположный Уральским барьерный эффект, в результате которого количество осадков повышается, а суммы температур за вегетационную часть года снижаются по сравнению с западными районами юга Западной Сибири. Таким образом, реальная ландшафтная зональная граница смещается либо к северу, либо к югу от климатического рубежа в результате трансформации климата региональными и локальными ландшафтными факторами (рис. 6.1).

В формировании приведенной на рисунке 6.1 подзоны северной лесостепи заметная роль принадлежит лесной растительности. Подзона южной лесостепи состоит из различных видов ландшафтов, в большей степени формирующихся под влиянием литогенного фактора (характера микрорельефа и свойств почвогрунтов). В ряде случаев южная граница этой подзоны обусловлена градиентными изменениями климатических факторов.

Прогноз изменений ландшафтной структуры. Ландшафтная структура лесостепной зоны Западной Сибири находится в состоянии относительного равновесия, определяющегося взаимодействием зональных климатических, орографических, антропогенных, экосистемных и исторических факторов. Наиболее динамичными из этих факторов являются климатические, и именно их изменения приводят к современному смещению ландшафтных границ.

Для оценки изменений ландшафтной структуры разработана прогнозная ММ, описывающая изменения границ лесостепной зоны России и учитывающая в явном виде климатические факторы и неявно, через параметры, – остальные [Кирста и др., 2003]. В основу ММ положено уравнение множественной регрессии, характеризующее потенциал развития растительности в зависимости от суммы температур и суммы осадков теплого периода года:

$$\text{потенциал} = a1 \times \left(\sum_i T_i \right) + a2 \times \left(\sum_i P_i \right) - a3, \quad (6.3)$$

где $a1$, $a2$, $a3$ – параметры, равные 0,121, 0,050 и 13,142 соответственно; $\sum_i T_i$, $\sum_i P_i$ – сумма среднееголетних месячных температур T_i и осадков P_i за теплый период года ($T_i \geq 0$ °C) соответственно.

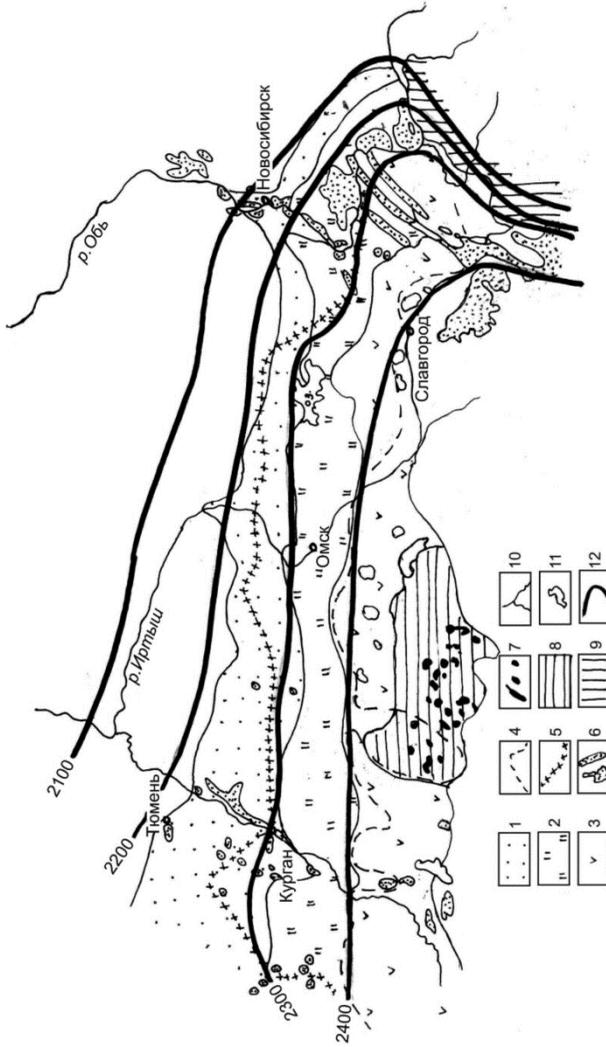


Рис. 6.1. Границы основных типов растительности Западной Сибири до начала интенсивного освоения и изолинии сумм температур за теплую/вегетационную часть года [Барышникова и др., 2003]: 1 – северная лесостепь; 2 – южная лесостепь; 3 – степь; 4 – южная граница березовых колков; 5 – южная граница сфагнового болота; 6 – сосновые боры на песках; 7 – сосновые боры на гранитах; 8 – лесостепи и степи Кокчетавской возвышенности; 9 – лесостепи и степи предгорий Алтая; 10 – реки; 11 – озера; 12 – сумма среднесуточных температур за вегетационную часть года

Для вывода уравнения потенциала (6.3) взяты среднесезонные урожаи зерновых культур (в ц/га) в лесостепной зоне России за 1967–1999 гг. по 12 областям (Белгородской, Курской, Липецкой, Тамбовской, Пензенской, Ульяновской, Республики Татарстан, Челябинской, Курганской, Тюменской, Омской, Новосибирской). Среднесезонные месячные температуры и осадки для каждой области рассчитаны средствами ГИС ArcView ESRI® по данным атласа «Digital Atlas of the World Water Balance, GisHydro97». Множественный коэффициент корреляции между урожаем и температурой с осадками составил 0,862, а адекватность потенциала (6.3) по критерию Фишера превысила 95%. Таким образом, потенциал развития растительности (6.3) имеет высокую адекватность в отличие от известных методов расчета биоклиматических ресурсов территорий: гидротермического коэффициента по Г.Т. Селянинову [1958], биоклиматического потенциала Д.И. Шашко [1985] и других, адекватность которых не оценивается в принципе.

В п. 6.2 на примере сельскохозяйственной зоны Сибири с помощью САМ было показано:

- наиболее адекватным является описание многолетних трендов температур и осадков (отдельно для теплого и холодного периодов года) через ежегодное изменение их среднемесячных значений (в %). Этот результат отличается от распространенных интерпретаций климатических изменений, например, от одинакового по всем месяцам или рассчитанного по каким-либо математическим функциям уменьшения/увеличения температур без непосредственного учета их месячных значений;
- существуют общие для больших регионов многолетние линейные тренды температур и осадков. Поэтому для оценки таких трендов по большим территориям можно использовать данные отдельных метеостанций с уникальными рядами метеорологических наблюдений в 100 лет и более;
- в своем многолетнем развитии растительность реагирует на линейные тренды температур и осадков (см. уравнения (6.1)).

Прогнозная ММ изменения границ лесостепной зоны является объединением перечисленных положений с уравнением потенциала развития растительности (6.3). Рассмотрим выполненный с ее помощью прогноз сдвига границ для лесостепной зоны Западной Сибири.

Циклы первичных и вторичных сукцессий растительности составляют приблизительно 1000 и 200 лет соответственно [Одум, 1986].

При первичных сукцессиях почвы формируются заново, тогда как вторичные идут на уже существующих почвах. В случае сдвига границ экосистем почвы уже сформированы, и развитие растительности мы должны характеризовать 198-летними циклами. Согласно информационному закону 198-летние циклы включают в себя две 99-летние фазы по три 33-летних цикла ИУ-7 биосферы каждая (см. рис. 1.1, б, 3.2). В каждой фазе формируется свой информационный продукт из соответствующих видов растений (п. 3.3 и 3.4). Поэтому характерный период смены видового состава экосистем для 198-летних циклов составит около 100 лет.

Регрессионный анализ климатических данных по метеостанции Барнаул за 1838–2001 гг. с использованием линейных трендов (6.1) показал, что в среднем температуры теплого периода года ежегодно увеличивались на 0,12%, а осадки – на 0,25%. Без ограничения общности можно полагать, что найденные тренды температур и осадков сохраняются приблизительно на 100 лет вперед. Для 100-летних периодов изменения составят 12% для месячных температур и 25% для суммы осадков теплого периода года, или 1,4 °C и 70 мм соответственно. В дальнейшем эти оценки можно уточнить, используя результаты п. 4.3.1.

На первом этапе прогноза вдоль существующих ландшафтных границ рассматриваемой лесостепной зоны найдены отвечающие им современные среднемноголетние суммы температур и осадков, входящие в потенциал (6.3). Это позволило установить однозначное соответствие между ландшафтными границами и требующимися для них «граничными» значениями потенциала.

На втором этапе с определенным шагом по всей характеризующей территории выполнен прогноз температур и осадков на 100 лет вперед. По их прогнозным значениям с тем же шагом заново рассчитан потенциал (6.3). После этого по «граничным» значениям потенциала найдены новые прогнозные ландшафтные границы, отвечающие будущим (через 100 лет) температурам и осадкам.

Для сумм температур за теплую/вегетационную часть года (см. рис. 6.1, уравнение (6.3)) 100-летнее увеличение составит около 360 °C. Это может привести к смещению южной границы лесостепной зоны юга Западной Сибири практически до положения современной северной границы этой зоны, если характер антропогенного воздействия на территорию останется прежним. В свою очередь, увеличения осадков можно ожидать в центральной и особенно в восточной части рассматриваемой зоны, так как в ее западной части должен сказаться теневой эффект Уральских гор, ограничивающий рост осадков. Увели-

чение осадков должно привести к замедлению продвижения границ, так как большее количество влаги будет благоприятствовать развитию лесной растительности. В целом сдвиг южных границ лесостепной зоны Сибири может составлять около 300 км в северном направлении при относительном постоянстве северных границ из-за орографических факторов.

Таким образом, в результате проведенного анализа климатического опустынивания юга Западной Сибири создана прогнозная ММ изменения климата и ландшафтной структуры региона. ММ в дальнейшем может быть использована для определения хода опустынивания и стратегии устойчивого развития в Сибирском регионе в XXI в.

6.4. Динамика агроклиматического потенциала и региональных климатических изменений

6.4.1. Динамика агроклиматического потенциала и изменений климата в зернопроизводящих зонах России и США

Разработанная ММ АП и климатических трендов апробирована также на примере более крупных, чем Западная Сибирь, зернопроизводящих регионов России и США [Кирста и др., 2005]. Как в прериях Северной Америки, так и в южных регионах России наблюдаются значительные вариации температуры, влажности почвы и количества осадков, сопряженные с заметными изменениями продуктивности сельского хозяйства (урожаев зерновых). Поэтому эти регионы были выбраны для анализа региональных проявлений глобального потепления климата, включая оценку климатических трендов и динамики АП.

При моделировании АП одновременно с САМ использовались геоинформационные технологии (ГИС-технологии), которые позволяют создавать цифровые пространственные базы данных в компактной и удобной для математической обработки форме. Такие базы обеспечивают накопление значительных объемов информации о факторах среды, почвах и условиях землепользования на обширных пространствах с одновременным использованием этой информации для расчетов по ММ. Совмещение пространственных баз данных с ММ позволяет не только прогнозировать урожайность сельскохозяйственных культур, но и оценивать АП и эффективность землепользования для отдельных регионов и государств. В нашем случае разработка ММ АП с использованием современных ГИС-технологий обеспечила оценку одновременно с динамикой АП как характерных для территории многолетних изменений климата, так и эффективности землепользования.

В связи с тем, что для метода САМ необходимы значительные объемы входной и выходной информации, а также обработка больших массивов чисел, входные данные для ММ АП организованы следующим образом. Большая часть входной информации представлена в виде текстовых файлов. Использование текстовых файлов позволило сформировать однородные входные данные, не зависящие от характера источников информации. Требующиеся для САМ климатические характеристики исследуемых территорий получены по данным цифрового атласа «Digital Atlas of the World Water Balance – GIS Hydro97», созданного в Центре исследования водных ресурсов Университета штата Техас (США). Атлас представляет собой набор данных, характеризующих водный баланс Земли и распределенных по сетке точек с шагом 30 км. Эти данные содержат, помимо прочих, необходимые сведения о средне-многолетних месячных температурах и осадках по территории зернопроизводящих зон России и США. Вся информация представлена в формате ГИС ArcView, что значительно упростило процесс формирования исходных данных для исследования. Подготовка данных велась средствами ArcView версии 3.2, обеспечившей учет всех особенностей используемых географических карт территорий.

Исходные данные для анализа АП зернопроизводящих зон России и США. Для выполнения САМ использовались данные об урожаях зерновых для каждого из 11 федеральных округов России за 1967–1999 гг. (рис. 6.2) [Российский статистический..., 2000], а также 6 штатов США за 1958–1990 гг. (рис. 6.3) [Николаев, 1994]. Согласно установленным закономерностям иерархически организованной климатической ритмики (п. 4.3.1) использованы 33-летние ряды урожаев, необходимые для обеспечения теоретически наилучшей точности расчетов.

Для каждого федерального округа России и зернопроизводящего штата США средствами ГИС ArcView были найдены среднемноголетние месячные данные о температурах и осадках [Кирста и др., 2005]. При этом для России требовалось получить средние данные по округам с учетом только находящихся в сельскохозяйственном использовании площадей. Поэтому на цифровой географической карте России, включающей разбиение на административные округа и области, была выделена зернопроизводящая зона. Все остальные территории исключались из рассмотрения и в дальнейших расчетах не рассматривались. Из цифрового атласа заимствованы климатические данные, относящиеся непосредственно к выделенной зоне. Расчеты средних значений климатических характеристик для каждого округа выполнены с помощью средств суммирования ArcView. Полученные файлы конвертированы в формат файлов исходных данных ММ АП.



Рис. 6.2. Федеральные округа России (до реформы 2000 г.), используемые в ходе САМ для идентификации параметров ММ АП (включая тренды климатических факторов и тренд эффективности землепользования)

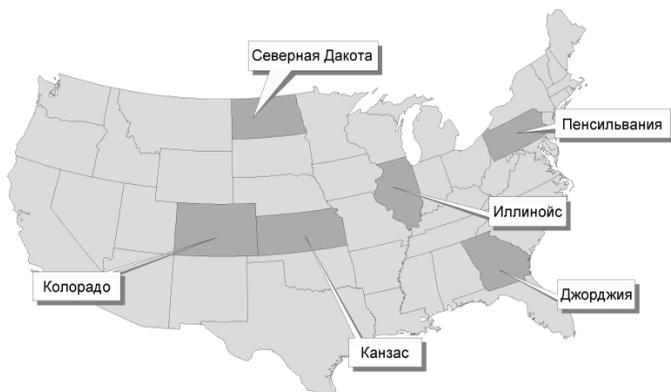


Рис. 6.3. Штаты США, используемые в ходе САМ для идентификации параметров ММ АП (включая тренды климатических факторов и тренд эффективности землепользования)

На рисунке 6.4 приведена схема формирования исходных данных для расчетов динамики АП исследуемых территорий.

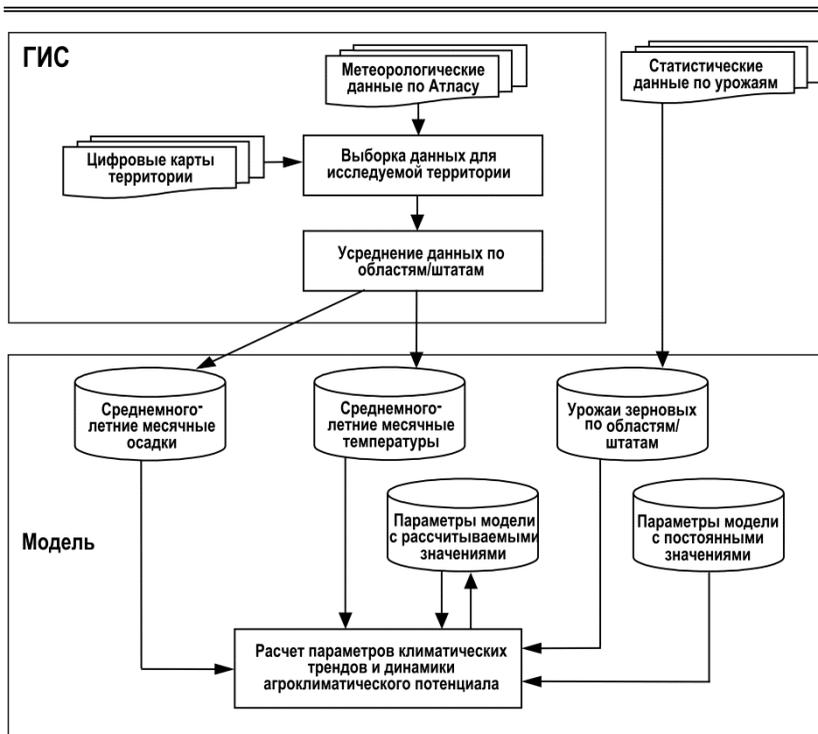


Рис. 6.4. Схема формирования входных данных для модели динамики агроклиматического потенциала (ММ АП), климатических трендов и тренда эффективности землепользования в ходе системно-аналитического моделирования (среднемесячные климатические характеристики территории рассчитываются по атласу «Digital Atlas of the World Water Balance – GIS Hydro97», созданному в Центре исследования водных ресурсов Университета Техаса (США) по метеорологическим данным 1920–1980 гг.)

Анализ АП России и США. С помощью ММ АП рассчитаны многолетние изменения АП и климата для зернопроизводящих зон России и США (рис. 6.5, табл. 6.2). АП рассчитывался как ежегодная ожидаемая урожайность агроценозов зерновых (пшеница как основная культура) для текущих условий среды. Последние характеризовались для каждого года среднемесячными значениями температур воздуха (отдельно для холодного и теплого периодов года) и месячными осадками, восстановленными по трендам из их среднемесячных величин, а также трендом эффективности землепользования. Расчет дина-

мики АП и многолетних трендов представлял собой выполняемую в рамках САМ процедуру идентификации параметров ММ АП для конкретной территории через решение обратной задачи с использованием наблюдаемых на этой территории урожаев зерновых. Тем самым по имеющимся рядам урожаев, среднемноголетним месячным температурам воздуха и среднемноголетним месячным осадкам определялись значения параметров ММ АП, обеспечивающие наименьшее значение невязки (5.16). Напомним, что метод САМ использует информацию о динамике АП, трендах температур воздуха, осадков и эффективности землепользования, которая заключена неявным образом в многолетних рядах наблюдений за урожаями зерновых культур на характеризуемой территории. В конечном итоге эта информация выражается количественно в найденных значениях параметров ММ.

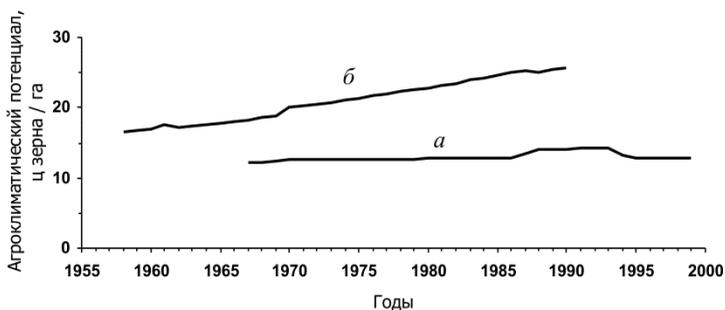


Рис. 6.5. Изменения агроклиматического потенциала (АП) зернопроизводящих зон России (а) и США (б)

Таблица 6.2

Тренды среднемесячных климатических характеристик и эффективности землепользования для зернопроизводящих зон России и США (в % за год)*

Территория	Температура воздуха $T < 0$ °С	Температура воздуха $T \geq 0$ °С	Осадки	Эффективность землепользования
Россия, 1967–1999 гг.	-0,043±0,004**	0,011±0,003	0,20±0,03	0,07±0,1
США, 1958–1990 гг.	-0,240±0,008	0,214±0,001	-0,144±0,001	1,22±0,02

* Отрицательные значения трендов для холодного периода года со среднемесячными температурами $T < 0$ °С означают повышение последних.

** Диапазон ошибок для параметров трендов определялся путем их пробных изменений при фиксированных значениях остальных параметров так, чтобы возрастание невязки (5.16) не превышало 1%.

В целом для России и США в рамках САМ идентифицировалось по 19 основных параметров ММ АП (п. 6.1), характеризующих площадные климатические тренды (3 параметра), фенологическое развитие агроценозов (3), влагообмен в почвах (7) и формирование урожайности зерновых (6). Через эти параметры учитывались как природные условия территорий (климат, почвы и др.), так и антропогенные факторы (сельскохозяйственные технологии, возделываемые культуры и др.). Ошибки оценок параметров зависят от точности САМ как такового, составляющей $\varepsilon_1 = 1\%$ (п. 5.2.2). В таблице 6.2 приведены диапазоны ошибок для параметров трендов, найденные пробными вариациями их значений так, чтобы вызванное ими увеличение невязки (5.16) между расчетной урожайностью и наблюдаемыми урожаями зерновых оставалось в пределах 1%. Следует отметить, что полученные для России характеристики климатических трендов могут меняться по ее территории вследствие региональных особенностей климата, ландшафтов и других факторов [Кирста и др., 2002].

Погрешность расчетов урожайности по (5.16) составила для России и США 23 и 14%, что меньше рассмотренного выше теоретического значения 24,2%. Это объясняется тем, что погрешность 24,2% отвечает случаю моделирования ежегодных урожаев отдельных агроценозов, тогда как использованные данные об урожайности зерновых в России и США отвечали средненным урожаям в целом по федеральным округам и штатам (см. рис. 6.2 и 6.3).

На рисунке 6.5 видно, что АП России за 33 года изменился от 12,1 до 12,9 ц/га, тогда как АП США – от 16,5 до 25,7 ц/га. Отметим, что падение АП в России в 1994–1995 гг. при благоприятных трендах климатических факторов и эффективности землепользования (см. табл. 6.2) объясняется особенностями влагообмена в почвах за зимне-весенний период.

Таким образом, показано двукратное различие АП природных ландшафтов зернопроизводящих зон России и США – 13 и 26 ц/га соответственно. Одним из основных факторов, определяющих более значительный АП у США, является эффективность землепользования, включая прогрессивные технологии возделывания сельскохозяйственных культур.

Результаты моделирования показали разную степень проявления глобального потепления климата для России и США в 1960–1990 гг. (ср. с [Глобалистика, 2003]). В зернопроизводящей зоне России количество осадков увеличивалось в среднем на 0,2% за год, тогда как в США оно уменьшалось в среднем на 0,14% за год. Температуры вегетационного периода в зернопроизводящей зоне России увеличивались в гораздо меньшей степени, чем в США – на 0,01 и 0,21% за год

соответственно. Аналогичная картина наблюдалась и для зимних температур воздуха – повышение на 0,04 и 0,24% за год для России и США соответственно. Подобные климатические изменения, вызванные глобальным потеплением климата, обусловили благоприятный эффект для сельского хозяйства России и неблагоприятный для США. В то же время возрастание эффективности землепользования для США почти в 20 раз превышает аналогичный показатель для России. Следует отметить, что зернопроизводящая зона России является зоной рискованного земледелия, где интенсификация сельскохозяйственного производства малопродуктивна. Это объясняет в целом более низкую чувствительность АП России к тренду эффективности землепользования, в том числе к применяемым сельскохозяйственным технологиям (диапазон ошибок тренда согласно данным таблицы 6.2 составляет $\pm 0,1$), по сравнению с чувствительностью АП США (диапазон ошибок тренда $\pm 0,02$). В то же время для отдельных российских регионов, в частности Алтайского края, влияние на АП эффективности землепользования может быть более значимым по сравнению с трендами климатических факторов [Кирста и др., 2002].

Современная высокая эффективность землепользования позволяет США преодолевать неблагоприятные последствия глобального потепления, хотя последнее может привести к сокращению сельскохозяйственных площадей в этой стране. В России, наоборот, возможно расширение площадей сельскохозяйственных угодий, испытывающих в целом недостаток тепловых ресурсов. Однако это расширение не может быть значительным из-за макроландшафтных особенностей территории [Исаченко, 2004].

6.4.2. Прогноз агроклиматического потенциала и изменений климата Сибири и России

На основе ММ АП разработана методика прогноза региональных изменений климата и АП. При этом величина АП соответствует урожайности зерновых, рассчитываемой по прогнозируемым значениям климатических характеристик.

В п. 4.3.1 охарактеризовано совместное информационно-ритмическое влияние наземной растительности и человеческого общества на динамику регионального климата в умеренной зоне. Показано, что динамика климатических факторов (приповерхностных температур воздуха и осадков) формируется сопутствующей системой «растительность – человек». Эта динамика определяется ритмикой функционирования данной системы и имеет определенные информационные стати-

стические характеристики. Также указано, что ритмика развития этнически-государственной системы России должна быть «задающей» для всех систем «растительность – человек» S^{99} , влияющих на климат ее территории. Это приводит, в частности, к появлению глобальных климатических квазивековых циклов C^{99} , наличие которых подтверждается экспериментальными данными [Скрябин, 1949; Stocker, Mysak, 1992; Mann et al., 1998; Бышев и др., 2004].

Вековые циклы C^{99} состоят из трех характерных 33-летних фаз C^{33} . В России эти фазы согласно (4.5) охватывают 1918–1950, 1951–1983, 1984–2020 гг. Каждой 33-летней фазе векового цикла отвечает своя межгодовая динамика климатических факторов, характеризующаяся двумя типами статистической информации: R и $|R \ln R|$. Для формирования такой динамики системы «растительность – человек», очевидно, должны стабилизировать какие-то средние значения этих факторов. Для их определения проверялись средние за 33-летние фазы векового цикла температуры воздуха и осадки, а также многолетние тренды этих факторов. Расчеты выполнялись путем решения обратной задачи (наилучшего совпадения найденных по ММ и фактических урожаев зерновых) с помощью оптимизационных методов по средне-многолетним данным о месячных температурах воздуха и осадках на характеризующих территориях.

При расчете средних (в пределах 33-летних фаз векового цикла) климатических характеристик следует учитывать, что их межгодовые изменения согласно (6.1) пропорциональны среднемноголетним месячным значениям. Это означает аналогичный пропорциональный сдвиг их среднемноголетних значений для разных периодов времени. Поэтому для последних все среднемноголетние значения температур воздуха T и осадков P по каждому из 12 месяцев находились по формулам

$$\bar{T} = c1 \times \bar{T}_{\text{наб}} \text{ для } T < 0^\circ\text{C}, \quad \bar{T} = c2 \times \bar{T}_{\text{наб}} \text{ для } T \geq 0^\circ\text{C}, \quad \bar{P} = c3 \times \bar{P}_{\text{наб}}, \quad (6.4)$$

где \bar{T} , \bar{P} – среднемноголетние значения T и P за рассчитываемый период времени, $^\circ\text{C}$; $\bar{T}_{\text{наб}}$, $\bar{P}_{\text{наб}}$ – среднемноголетние значения T и P за период наблюдений, $^\circ\text{C}$; $c1$, $c2$, $c3$ – пропорциональный сдвиг среднемноголетних значений соответствующих месячных климатических характеристик в расчетном периоде времени относительно периода наблюдений.

В свою очередь, многолетние климатические тренды $a1$, $a2$, $a3$ и тренд эффективности землепользования $a9$ определялись уравнениями (6.1) и (6.2). Параметры $c1$, $c2$, $c3$, $a1$, $a2$, $a3$, $a9$, найденные (идентифицированные) в процессе решения обратной задачи, в дальнейшем

могли бы использоваться для прогноза климатических изменений и АП. Далее все эти параметры аппроксимирующих линий тренда будут выражаться для удобства в процентах (умножаться на 100).

При разработке методики прогноза необходимо проверить, стабилизируют ли системы «растительность – человек» в пределах отдельных фаз непосредственно средние значения температур воздуха и осадков, а также многолетние тренды этих факторов. Для проверки использована завершенная вторая 33-летняя фаза 1951–1983 гг. векового цикла на территории России с известными урожаями зерновых. Сам прогноз, очевидно, осуществим для третьей фазы 1984–2020 гг. В ней по периоду 1984–2007 гг. с известными урожаями зерновых можно идентифицировать все параметры, необходимые для прогноза климатических изменений и динамики АП до 2020 г.

В соответствии с требованиями САМ при решении обратной задачи по определению параметров ММ число рассчитываемых параметров должно быть на порядок меньше количества данных по урожаям зерновых. Отметим, что такое требование типично и для регрессионных методов статистической обработки данных. При выполнении прогнозных оценок также целесообразно использовать введенное с 2000 г. новое административное деление территории России на 7 федеральных округов (рис. 6.6) с прежней схемой формирования входных данных ММ АП (см. рис. 6.4).

С учетом изложенных требований для расчетов выбраны две территории:

- зернопроизводящая зона всей России с 71 областями в 7 федеральных округах (см. рис. 6.6) при общем количестве имеющихся данных об урожаях зерновых за 1955–1983 гг. $71 \times 29 = 2059$ и за 1984–2007 гг. – $71 \times 24 = 1704$;
- зернопроизводящая зона Сибирского федерального округа России с 12 областями (см. рис. 6.6) при общем количестве значений урожаев за 1955–1983 гг. $12 \times 29 = 348$ и за 1984–2007 гг. – $12 \times 24 = 288$; в эту зону входят Республика Алтай, Республика Бурятия, Республика Тыва, Республика Хакасия, Алтайский, Забайкальский, Красноярский края, Иркутская, Кемеровская, Новосибирская, Омская, Томская области.

Как и прежде, для каждой из 71 области России средствами ГИС ArcView определялись среднегодовые (1920–1980 гг.) месячные характеристики температур и осадков. При этом для 7 областей – Республики Карелии, Коми, Саха (Якутии), Красноярского и Хабаровского краев, Архангельской и Тюменской областей – учитывались только находящиеся в сельскохозяйственном использовании площади.

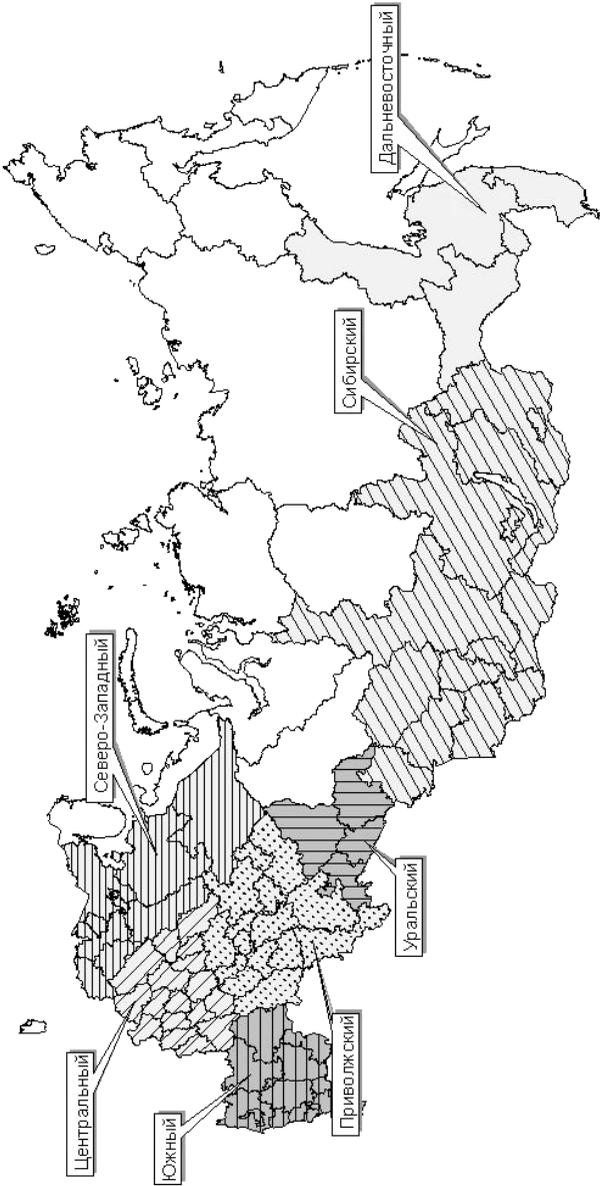


Рис. 6.6 Федеральные округа и области России (после реформы 2000 г.), используемые для идентификации параметров ММ АП (включая тренды климатических факторов и тренд эффективности землепользования)

Для решения обратной задачи по ММ АП одновременно использовались значения урожайности зерновых культур по каждой из рассматриваемых областей (в весе после доработки, в хозяйствах всех категорий, ц/га). Известно, что после 1997 г. в официальной статистической отчетности был сделан переход от расчета урожайности на 1 га засеянной площади к ее выражению на 1 га убранной площади. Поэтому для обеспечения однородности рядов урожая с 1998 по 2007 г. определены как валовой сбор зерна, деленный на посевную площадь. Все данные взяты из отчетности Госкомстата и Федеральной службы государственной статистики [Производство зерна..., 1993; Российский статистический..., 1998; Регионы России..., 2000; Регионы России..., 2008]. Соблюдение однородности рядов урожаев является обязательным требованием системного информационно-иерархического подхода, который обеспечил определение параметров ММ АП (включая все климатические тренды) по информации, заключенной неявным образом в многолетних рядах наблюдений за урожаями зерновых культур в конкретных климатических условиях. Совместно с теоретически наилучшей точностью ММ АП это обеспечило наиболее точную оценку климатических трендов и АП.

Выбранная для разработки методики прогноза вторая фаза 1951–1983 гг. векового цикла на территории России с известными урожаями зерновых разделена на две примерно равные части: 1955–1969 и 1970–1983 гг. Первая часть предназначалась для определения параметров ММ АП по урожаям зерновых через решение обратной задачи и затем для прогноза, а вторая служила как проверочная. Затем роли частей менялись, и вторая использовалась уже для ретроспективного прогноза на первую часть.

Рассмотрим первую из выбранных территорий – территорию России, охватывающую 71 область с индивидуальными природными характеристиками. Для нее в процессе решения обратной задачи по наблюдаемым урожаям зерновых идентифицировались 25 основных параметров ММ АП. Они характеризовали зернопроизводящую зону России в целом и поэтому принимались одинаковыми по всей территории. Сюда входили 3 показателя фенологического развития растений (два температурных порога для расчета биологического времени и средняя дата всходов зерновых), 10 почвенных показателей и 12 коэффициентов для расчета величины урожая и трендов. Таким образом, через указанные параметры учитывались как природные условия территории (климат, почвы и др.), так и антропогенные факторы (сельскохозяйственные технологии, возделываемые культуры и др.).

В таблице 6.3 приведены параметры трендов климатических факторов и эффективности землепользования, полученные независимо для трех периодов: 1955–1969, 1970–1983 и 1955–1983 гг. Первый период (1955–1969 гг.) служил для прямого прогноза на второй (1970–1983 гг.), второй – для ретроспективного прогноза на первый, а третий (1955–1983 гг.) являлся контрольным. Из таблицы 6.3 следует, что значения сдвигов c_1 , c_2 , c_3 у аппроксимирующих климатические факторы линий тренда различаются незначительно в противоположность трендам a_1 , a_2 , a_3 , отвечающим углам наклона этих прямых. Из совпадения сдвигов и различия трендов можно сделать важный вывод о том, что системы «растительность – человек» осуществляют стабилизацию среднесноголетних значений климатических характеристик на протяжении каждой из 33-летних фаз функционирования. В то же время подобная стабилизация климатических трендов (наклона линий тренда) отсутствует. Отсюда следует возможность как прямого, так и ретроспективного прогнозов сдвигов c_1 , c_2 , c_3 линий тренда, но никак не самих трендов a_1 , a_2 , a_3 , традиционно используемых для климатических прогнозов.

Для дополнительной проверки полученного вывода также использовались аналогичные расчеты с ММ АП, но уже отдельно для Сибирского федерального округа. В отличие от всей России для каждого из 7 округов (см. рис. 6.6) имелось гораздо меньше исходных данных об урожаях зерновых за 1955–1983 гг. – для Сибирского федерального округа всего 348. Это наложило ограничения и на максимальное количество рассчитываемых параметров ММ АП. Для округов их было выбрано 9: c_1 , c_2 , c_3 , a_1 , a_2 , a_3 , a_9 , показатель уровня сельскохозяйственных технологий и плодородия почв a_7 и коэффициент зависимости урожая от транспирации влаги растениями a_8 в уравнении (6.2). Остальные параметры ММ АП не варьировались и имели те же значения, что и найденные для зернопроизводящей зоны России в целом за тот же период.

Результаты решения обратной задачи для идентификации выбранных параметров по наблюдаемым в Сибирском федеральном округе урожаям представлены в таблице 6.4. Здесь также наблюдается хорошее совпадение значений для сдвигов и плохое – для трендов климатических характеристик. Единственным исключением является завышенное значение c_3 среднесноголетних осадков за 1955–1969 гг. Дополнительный анализ показал, что сдвиг c_3 обусловлен освоением целинных земель в 1954–1964 гг. [Брежнев, 1981]. В этот период были распаханы плодородные земли входящей в округ степной зоны, давшие рекордные урожаи. Растения были полностью обеспечены основ-

ными питательными веществами: азотом, фосфором и калием, которые обусловили большую эффективность использования поступающей с осадками влаги [Каюмов, 1989]. При решении обратной задачи все параметры почвенного влагообмена были зафиксированы, и большие урожаи привели к искусственному завышению в ММ АП количества выпадающих осадков, т.е. к завышению c_3 в период 1955–1969 гг. (см. табл. 6.4). Было проверено и второе возможное объяснение завышения c_3 за счет приписок урожайности руководителями зернопроизводящих хозяйств в период целинной кампании. Оно было отвергнуто после удовлетворительно корректного решения для округа обратной задачи по идентификации прежних 25 параметров ММ АП вместо требуемых 9. Эти расчеты дали сдвиг $c_3 \approx 101\%$, совпадающий с его двумя другими значениями в таблице 6.4.

Таблица 6.3

Сдвиги (6.4) и тренды (6.1) месячных климатических характеристик, тренд эффективности землепользования (6.2) для зернопроизводящей зоны России за 1955–1983 гг., %*

Характеристика	1955–1969 гг.	1970–1983 гг.	1955–1983 гг.
Сдвиг c_1 среднеголетних температур воздуха для холодного периода года ($T < 0$)	103,2	102,9	103,0
Сдвиг c_2 среднеголетних температур воздуха для теплого периода года ($T > 0$)	105,6	105,1	105,6
Сдвиг c_3 среднеголетних значений осадков	102,5	102,6	102,1
Тренд a_1 температур воздуха для холодного периода года ($T < 0$)**	-0,46	0,01	-0,19
Тренд a_2 температур воздуха для теплого периода года ($T > 0$)	0,45	-0,27	0,11
Тренд a_3 осадков	0,40	-0,17	0,15
Тренд a_9 эффективности землепользования	2,17	0,55	1,46

* Сдвиг (6.4) у аппроксимирующей характеристику линии тренда для соответствующего временного периода выражен в процентах от имеющихся среднесезонных месячных данных за 1920–1980 гг. Тренд (6.1), отвечающий наклону этой же прямой, представляет собой изменение характеристики в процентах за год.

** Отрицательные значения трендов для холодного периода года со среднемесячными температурами воздуха $T < 0^\circ\text{C}$ означают повышение последних.

Таблица 6.4

Сдвиги (6.4) и тренды (6.1) месячных климатических характеристик, тренд эффективности землепользования (6.2) для зернопроизводящей зоны Сибирского федерального округа за 1955–1983 гг., %*

Характеристика	1955–1969 гг.	1970–1983 гг.	1955–1983 гг.
Сдвиг $c1$ среднееголетних температур воздуха для холодного периода года ($T < 0$)	99,8	100,2	98,0
Сдвиг $c2$ среднееголетних температур воздуха для теплого периода года ($T > 0$)	105,6	105,9	105,0
Сдвиг $c3$ среднееголетних значений осадков	104,6	100,9	101,6
Тренд $a1$ температур воздуха для холодного периода года ($T < 0$)	-2,25	-1,25	-0,41
Тренд $a2$ температур воздуха для теплого периода года ($T > 0$)	-0,15	-0,45	-0,03
Тренд $a3$ осадков	-4,29	-0,74	-0,11
Тренд $a9$ эффективности землепользования	-0,03	-0,63	0,52

* См. примечания к таблице 6.3.

Рассчитанные по ММ АП климатические характеристики за 1955–1983 гг. (см. табл. 6.3, 6.4) согласуются с данными наблюдений, предоставляемыми CRU [Climatic Research Unit, 2002]. Сравнение таблиц 6.3 и 6.4 показывает больший положительный сдвиг температур относительно средних за 1920–1980 гг. в холодный период года для Сибири по сравнению с Россией в целом, что также согласуется с фактическими данными [Виноградова и др., 2000]. В то же время полученный для Сибири больший положительный сдвиг температур в теплый период по сравнению с холодным противоположен большему потеплению зимой по сравнению с летом, наблюдаемому для юга Западной и Восточной Сибири [Виноградова и др., 2000, 2002]. Можно предполагать две причины отличия модельных расчетов от данных наблюдений. Во-первых, выборка последних осуществляется по метеостанциям, расположенным не в сельской местности, а преимущественно вблизи городов и крупных населенных пунктов. В районе таких метеостанций температуры воздуха повышены из-за более значительных, чем в среднем по атмосфере, концентраций парниковых газов от топливно-энергетического комплекса, транспорта, частного

сектора. Эти температуры растут по мере развития городов и промышленности. Сжигание топлива интенсивнее в зимнее время, что должно приводить к большему потеплению непосредственно зимой. К аналогичному эффекту приводит и выпадение антропогенных загрязнений на снеговой покров со снижением его альбедо. Во-вторых, в ММ АП рассматриваются исключительно сельскохозяйственные поля, для которых характерны более низкие зимние температуры воздуха (из-за высокого альбедо снегового покрова и других факторов) по сравнению с лесом, а значит, и всей территорией в целом [Дроздов и др., 1989]. Именно эти зимние температуры, более низкие, чем наблюдаемые вблизи городов, рассчитываются по ММ АП.

Полученные результаты позволяют сделать вывод о возможности прогнозов *среднепогодных значений климатических характеристик* (сдвигов c_1 , c_2 , c_3 линий тренда), причем только в пределах соответствующих 33-летних фаз векового цикла у систем «растительность – человек». Это означает, что для прогноза средних температур и осадков до конца текущей фазы (до 2020 г.) на территории России достаточно найти их среднепогодные значения за истекший с начала фазы период. Точность такого прогноза для зернопроизводящих зон по данным таблиц 6.3, 6.4 составит:

- для России порядка 0,3% среднепогодных месячных климатических характеристик;
- для Сибирского федерального округа порядка 0,9% тех же характеристик.

Пониженная точность прогнозов для округа, очевидно, обусловлена меньшим числом идентифицируемых параметров ММ АП (9 вместо 25). Следует отметить, что достоверность прогнозов определяется не только погрешностью расчетов по ММ АП, но и объективно существующей погрешностью исходных метеорологических данных. Например, ошибка в оценке месячных осадков обусловлена их зависимостью от рельефа окружающей местности, типом и местоположением применяемых для измерений приборов, количеством отдельных видов (жидкие, твердые, смешанные) осадков, испаряемостью, скоростью ветра и другими факторами [Дроздов и др., 1989].

В свою очередь, многолетний прогноз собственно трендов климатических факторов (a_1 , a_2 , a_3) согласно данным таблиц 6.3, 6.4 нереалистичен. Это хорошо известно из практической метеорологии. И наконец, тренд эффективности землепользования (a_9) имеет ограниченную точность прогноза из-за несистематического характера изменения/улучшения сельскохозяйственных технологий, особенно на региональном уровне.

В таблицах 6.5, 6.6 представлен прогноз до 2020 г. среднегодовых значений климатических характеристик (сдвигов $c1$, $c2$, $c3$ линий тренда) для зернопроизводящих зон России и Сибирского федерального округа соответственно. Ожидаются более теплые зимы ($c1 < 1$), более теплые летние периоды ($c2 > 1$) и большее количество осадков на протяжении года ($c3 > 1$). Для Сибири ожидается больший положительный сдвиг температур в теплый период по сравнению с потеплением в холодный период года (см. табл. 6.6). Можно отметить, что подобное зимне-летнее отличие расчетных данных от наблюдений получено и у климатической модели общей циркуляции атмосферы HadCM3 при учете естественных и антропогенных воздействий для входящего в Сибирский федеральный округ региона Иркутска [Мохов и др., 2006].

Количественная оценка прогнозируемых климатических характеристик для соответствующих зон приведена в таблицах 6.7, 6.8.

Таблица 6.5

Прогноз до 2020 г. сдвигов линий тренда (6.4) у месячных климатических характеристик для зернопроизводящей зоны России, %*

Характеристика	1984–2007 гг.	2008–2020 гг.
Сдвиг $c1$ среднегодовых температур воздуха для холодного периода года ($T < 0$)	96,9	96,9±0,3
Сдвиг $c2$ среднегодовых температур воздуха для теплого периода года ($T > 0$)	103,1	103,1±0,3
Сдвиг $c3$ среднегодовых значений осадков	101,6	101,6±0,3
Тренд $a1$ температур воздуха для холодного периода года ($T < 0$) ²	-0,02	-
Тренд $a2$ температур воздуха для теплого периода года ($T > 0$)	-0,13	-
Тренд $a3$ осадков	-0,25	-
Тренд $a9$ эффективности землепользования	0,55	0,55

* См. примечания к таблице 6.3.

Прогноз многолетних изменений АП России и Сибирского федерального округа выполнен по полученным $c1$, $c2$, $c3$, $a9$ при нулевых

Математическое моделирование агроклиматического потенциала
территорий и региональных изменений климата

значениях непрогнозируемых параметров a_1 , a_2 , a_3 (см. табл. 6.5, 6.6). Согласно расчетам АП России за период 2010–2020 гг. должен вырасти с 14,8 до 15,0, или на 0,2 ц/га, а АП Сибири – с 11,6 до 12,1, или на 0,5 ц/га.

Таблица 6.6

Прогноз до 2020 г. сдвигов линий тренда (6.4) у месячных
климатических характеристик для зернопроизводящей зоны
Сибирского федерального округа, %*

Характеристика	1984–2007 гг.	2008–2020 гг.
Сдвиг c_1 среднееголетних температур воздуха для холодного периода года ($T < 0$)	96,1	96,1±0,9
Сдвиг c_2 среднееголетних температур воздуха для теплого периода года ($T > 0$)	107,1	107,1±0,9
Сдвиг c_3 среднееголетних значений осадков	102,1	102,1±0,9
Тренд a_1 температур воздуха для холодного периода года ($T < 0$) ²	-1,71	–
Тренд a_2 температур воздуха для теплого периода года ($T > 0$)	-0,51	–
Тренд a_3 осадков	-2,35	–
Тренд a_9 эффективности землепользования	0,22	–

* См. примечания к таблице 6.3.

Таблица 6.7

Климатический прогноз до 2020 г.
для зернопроизводящей зоны России

Климатическая характеристика	Месяцы											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Среднееголетние температуры воздуха, °С	-13,4	-11,4	-5,9	3,2	11,7	16,8	19,6	17,5	11,2	3,5	-4,7	-10,4
Среднееголетние осадки, мм	44,5	38,8	37,6	37,8	54,8	71,3	76,3	70,2	55,6	50,3	53,7	51,4

Таблица 6.8

Климатический прогноз до 2020 г. для зернопроизводящей зоны
Сибирского федерального округа

Климатическая характеристика	Месяцы											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Среднегого- летние темпе- ратуры воздуха, °С	-21,3	-18,7	-11,3	-1,0	8,2	15,6	18,6	15,7	8,7	-0,9	-11,6	-18,6
Среднегого- летние осадки, мм	23,7	15,3	19,3	25,0	43,9	61,9	80,7	74,6	48,9	39,4	38,1	29,8

Рассмотрим отдельные субъекты Федерации на примере 12 областей Сибирского федерального округа. Они, очевидно, должны иметь индивидуальные значения параметра линии тренда a_9 (см. табл. 6.3), характеризующие эффективность землепользования, а значит, и результативность управления сельским хозяйством в конкретном субъекте. С целью разделения субъектов по эффективности землепользования для каждого из них была повторно решена обратная задача по расчету параметров ММ АП. В отличие от предыдущих расчетов в ММ АП определялись уже не 9, а только 2 непосредственно связанных с землепользованием параметра: тренд a_9 и показатель уровня сельскохозяйственных технологий и плодородия почв a_7 (аналогичен сдвигу линии тренда) в (6.2). Остальные параметры были зафиксированы с прежними значениями, найденными для округа или России в целом. При этом по-прежнему выполнялось обязательное условие 10-кратного превышения числа используемых в задаче фактических урожаев (24 за 1984–2007 гг.) над числом рассчитываемых параметров (всего 2). Отметим, что наличие единых для зернопроизводящей зоны Сибири параметров c_1 , c_2 , c_3 , a_1 , a_2 , a_3 , характеризующих тренды климатических факторов, подтверждено достигнутой наилучшей точностью расчетов по ММ АП (п. 6.2).

Результаты прогноза многолетних изменений АП по найденному тренду a_9 и показателю уровня сельскохозяйственных технологий и плодородия почв a_7 для каждой из 12 областей представлены на рисунке 6.7. При построении графиков климатические тренды a_1 , a_2 , a_3 (см. табл. 6.3) положены равными нулю, поскольку они не прогнозируются из-за их нестабильности в пределах 33-летних фаз векового цикла. Тем самым полученная динамика АП отражает изменение ожидаемой в 2008–2020 гг. урожайности зерновых при прогнозируемом сдвиге климатических характеристик (см. табл. 6.3) и сохранении

прежнего (среднего за 1984–2007 гг.) тренда эффективности землепользования. Таким образом, ММ АП решает важнейшую для моделирования проблему связи землепользования с меняющимися условиями среды [Veldkamp, Verburg, 2004].

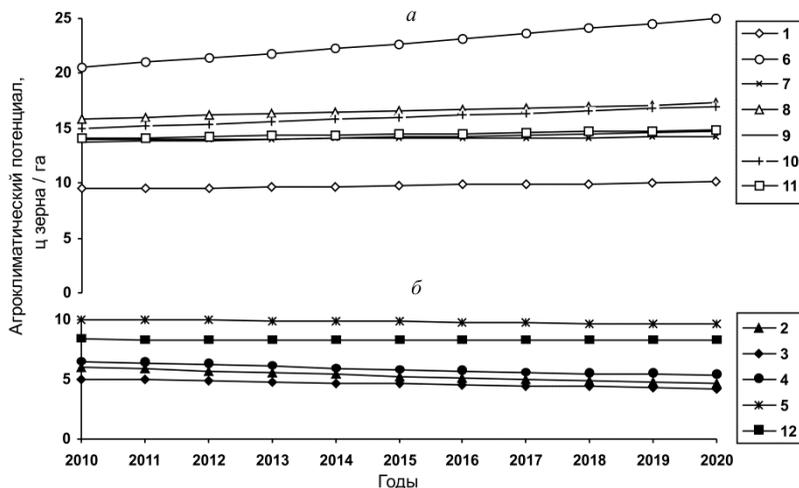


Рис. 6.7. Прогноз агроклиматического потенциала для зернопроизводящей зоны Сибирского федерального округа: *a* – растущая эффективность землепользования (1 – Республика Алтай, 6 – Красноярский край, 7 – Иркутская, 8 – Кемеровская, 9 – Новосибирская, 10 – Омская, 11 – Томская области); *б* – снижающаяся эффективность землепользования (2 – Республика Бурятия, 3 – Республика Тыва, 4 – Республика Хакасия, 5 – Алтайский край, 12 – Забайкальский край)

Из рисунка 6.7 следует, что ММ АП может выступать в качестве инструмента для количественной оценки работы по управлению и инвестированию производства зерновых у субъектов Федерации.

В таблице 6.9 приведены значения трендов *a9* эффективности землепользования по отдельным областям, использованные при прогнозе изменений АП. Данные таблицы показывают, что из 12 субъектов Сибирского федерального округа наиболее успешен в землепользовании Красноярский край и наименее – Республика Бурятия.

Таблица 6.9

Тренды эффективности землепользования у субъектов
Сибирского федерального округа за период 1984–2007 гг., % за год *

Субъекты Федерации	Тренд	Субъекты Федерации	Тренд
1. Республика Алтай	0,6	7. Иркутская область	0,2
2. Республика Бурятия	-2,6	8. Кемеровская область	0,8
3. Республика Тыва	-1,7	9. Новосибирская область	0,7
4. Республика Хакасия	-2,0	10. Омская область	1,3
5. Алтайский край	-0,4	11. Томская область	0,5
6. Красноярский край	2,0	12. Забайкальский край	-0,1

* Проценты от текущего уровня землепользования.

Выводы

Результаты моделирования АП и климатических трендов

1. На базе ММ агроэкосистем пшеницы разработана ММ динамики АП и климатических трендов территорий (участка, района, области/штата, округа, страны). Динамика АП рассчитывается как ежегодная ожидаемая урожайность пшеницы или зерновых в целом для существующих условий среды. Как и в случае ММ агроэкосистем, расчеты выполняются путем решения обратной задачи по данным наблюдений. Точность ММ АП отвечает теоретически наилучшей (24,2%), что означает адекватный учет основных факторов среды, влияющих на АП.
2. Разработанная ММ АП позволяет в рамках САМ одновременно рассчитывать с наилучшей точностью на каждый год характеризующего многолетнего периода и прогнозировать на ряд лет вперед:
 - многолетний тренд среднемесячных температур воздуха отдельно для холодного ($T_i < 0$ °С) и теплого ($T_i \geq 0$ °С) периодов года;
 - многолетний тренд месячных осадков;
 - ход фенологического развития растений;
 - помесечную динамику влажности почвы на протяжении года;
 - процесс формирования урожая (урожайности) и его величину;
 - многолетний тренд эффективности землепользования;
 - многолетнюю динамику АП.

При этом в качестве входных факторов ММ АП используются только данные о среднемноголетних месячных температурах воздуха, осадках и многолетний ряд урожаев зерновых культур и не требуется специализированных полевых наблюдений за воздей-

ствием различных факторов на динамику АП и эффективность землепользования.

3. Особенностью разработанной ММ АП является расчет климатических трендов, тренда эффективности землепользования и динамики АП в целом по территории, т.е. выполнение площадных оценок. В отличие от точечных оценок по отдельным метеостанциям, характерных для традиционных методов, это обеспечивает возможность более точных расчетов трендов на основе использования стандартных статистических данных об урожаях зерновых культур по конкретным территориям.
4. Научно обоснованные зональные системы земледелия требуют адекватной количественной оценки АП и эффективности использования земельных ресурсов в конкретных природно-экономических районах. Традиционные оценки, использующие простейшие комбинации-формулы каких-либо характеристик среды, неадекватно учитывают влияющий на АП комплекс факторов среды. ММ АП, лишенная подобных недостатков, в наибольшей степени удовлетворяет предъявляемым требованиям и позволяет, в частности, сопоставлять эффективность землепользования для различных территорий.

Результаты исследований по прогнозу АП и региональных изменений климата

1. Разработана методика оценки текущих и прогноза будущих климатических изменений (среднемесячных температур воздуха и месячных осадков) в зернопроизводящих регионах умеренной зоны. Методика позволяет осуществлять многолетние прогнозы в пределах 33-летних фаз вековых климатических циклов, определяемых воздействием на климат сопутствующих систем «растительность – человек».
2. Прогноз осуществляется на основе текущих климатических трендов, определяемых с помощью ММ АП по наблюдаемым урожаям зерновых путем решения обратной задачи. Одновременно рассчитывается многолетний тренд эффективности землепользования. Для выполнения прогноза достаточно иметь информацию о средне-многолетних месячных температурах воздуха и осадках, а также многолетний ряд статистических данных об урожаях зерновых культур конкретного региона.
3. На примере зернопроизводящих зон России в целом и Сибирского федерального округа выполнен прогноз изменений климата до 2020 г. Для Сибири показано значительное повышение температур

в холодный и теплый периоды года (на 4–7 % относительно среднемноголетних значений 1920–1980 гг.). Изменение осадков незначительно и составляет лишь 2 %. АП (ожидаемая урожайность зерновых) за следующее десятилетие увеличится для России в целом с 14,8 до 15,0 и для Сибири с 11,6 до 12,1 ц/га.

4. Для каждого входящего в Сибирский федеральный округ субъекта Федерации (республики, края, области) дан прогноз многолетних изменений его АП. Предложена методика оценки работы субъектов Федерации по повышению эффективности землепользования. Оценка выполняется на основе рассчитываемого по ММ АП многолетнего тренда этой эффективности, что позволяет использовать модель для мониторинга использования земель в меняющихся климатических условиях.
5. С помощью ММ АП оценены многолетние изменения АП и климата для зернопроизводящих зон России и США. За последние 30 лет АП России практически не изменился и составляет сейчас около 14 ц/га. За аналогичный период АП США увеличился в 2 раза и достиг 26 ц/га. Региональные проявления глобального потепления в США более значительны и драматичны, чем в России, в частности это уменьшение количества осадков в США и их увеличение в России. Потепление должно также изменить общую площадь под зерновыми – уменьшить ее в США и увеличить в России. Значительный рост эффективности землепользования в США играет пока главную роль в положительной динамике АП и «погашает» отрицательное воздействие глобального потепления.

Общие закономерности региональных изменений климата и функционирования экосистем / агроэкосистем

1. На примере сельскохозяйственной зоны Сибири, характеризующейся континентальным климатом, с помощью САМ установлено, что реальные тренды температур воздуха (для холодного и теплого периодов года) и осадков пропорциональны их среднемесячным величинам согласно (6.1). Их расчет по ММ АП дает ошибку лишь в несколько процентов. Существующие оценки климатических многолетних изменений опираются на менее адекватные и поэтому менее точные статистические зависимости, например на одинаковое для всех месяцев года возрастание или убывание температуры со временем.
2. Согласно расчетам многолетние тренды температур и осадков одинаковы для всей сельскохозяйственной зоны Сибири. Это следует из полученной точности 24,2% для расчета по таким одинаковым

трендам собственно АП (урожайности агроценозов зерновых). Данная точность является теоретически наилучшей для ММ, использующих среднеголетние значения климатических характеристик в качестве входных факторов. Ее достижение было бы невозможным в случае различающихся реальных трендов для 10 одновременно используемых в расчетах агрометеорологических станций. Существование общих для территории климатических трендов делает возможным оценку региональных климатических изменений только по данным одной станции, например имеющей уникальные по продолжительности ряды метеорологических наблюдений.

3. Важным результатом САМ является обнаружение в экосистемах/агроэкосистемах и количественная оценка информационной самостабилизации, известной также как принцип Ле Шателье. Самостабилизация необходима для ограничения случайных вариаций экосистемных БП (информационно регулируемого формирования биомассы, в том числе урожая) до 24,2%. Ниже этого уровня перестает существовать перенос стохастической информации, разрушающей информационную стабильность экосистем. Полученная точность ММ АП, равная 24,2%, обусловлена информационной самостабилизацией в агроэкосистемах, которая подавляет дестабилизирующее влияние на урожай случайных флуктуаций температур воздуха и осадков в отдельные годы по отношению к их трендовым значениям. Показано, что такие «подавленные» флуктуации добавили бы к погрешности 24,2% расчетов АП (урожайности) еще 25%. Очевидно, информационная самостабилизация должна иметь место во всех эволюционно развитых системах.
4. Из существования информационной стабилизации следует, что наилучшая точность у любых достаточно адекватных ММ агроэкосистем может достигаться через использование трендовых значений среднемесячных температур воздуха и месячных осадков вместо их фактических значений. Аналогичный вывод, очевидно, справедлив и для прогностических ММ урожайности зерновых.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В книге рассмотрена проблема взаимодействия человека с биосферой и возможного использования для ее решения сформулированного информационно-физического закона.

До создания собственной социосферы человек входил в организацию биосферы в качестве консумента. Сейчас он затрагивает функционирование таких ее важнейших компонентов, как экосистемы (биогеоценозы) и нарушает естественный ход их базовых процессов.

Нарастающее вмешательство человека в материально-энергетические процессы биосферы обусловлено научно-технической революцией и связанным с ней потреблением различных природных ресурсов. Это происходит без понимания информационного аспекта структурно-функциональной организации биосферы и наличия у нее строгой иерархии индивидуально организованных уровней. По этой причине наблюдаются необратимые изменения в экосистемах, эволюционно сложившихся на протяжении тысячелетий. Антропогенные воздействия для экосистем стали слишком быстрыми и значительными, чтобы биосфера успевала к ним приспособиться через обычную биологическую эволюцию видов организмов.

Нарушение эволюционно выработанной регуляции на иерархическом уровне экосистем/биогеоценозов означает цепную реакцию разрушения последующих уровней биосферы, отвечающих экосистемам высоких рангов. Это приводит к пролонгированию разрушения экосистем на длительные сроки вперед и лишению человека в конечном итоге его среды обитания. Деятельность человека является также информационным фактором, воздействующим на природные биологические системы «многократно сильнее переносимых потоков вещества и энергии» [Реймерс, 1990, с. 543]. Это приводит к нарушению уже сложившегося информационного взаимодействия биосферы и социосферы с последующими нарушениями климата (п. 4.3.1).

В соответствии с установленным информационно-физическим законом временные циклы всех иерархических уровней биосферной организации последовательно вложены друг в друга целое число раз по строгим схемам квантования, определяющимся условием максимального накопления информации на каждом уровне в ходе эволюции. Отвечающие схемам значения информации образуют из-

вестный ряд обобщенных «золотых» сечений, повсеместно проявляющихся в растительном мире. Выбор конкретной схемы зависит как от физических, химических и биологических особенностей уровня, так и от ритмики среды. В итоге циклы всех иерархических уровней образуют своеобразную временную структуру или «биосферные часы». В полной аналогии с обычным отсчетом времени через секунды, минуты, часы, сутки и т.д. эти часы циклически отсчитывают время биосферы как определенное количество прошедших циклов на всех уровнях ее организации. По биосферным часам можно определить местоположение любой природной биологической системы в циклах соответствующих уровней и вследствие циклического развития всех биологических систем выполнить прогноз широкого круга природных явлений с практически не ограниченным временным периодом. Все сказанное целиком относится и к охарактеризованной в настоящей работе социосфере, включая ее «социальные часы/время».

Развитый информационно-иерархический подход позволяет уточнить и объединить различные концепции цикличности и самоорганизации природных биологических систем. В частности, легко объединяются две концепции о причинах ритмического развития биологических систем – влиянии меняющейся солнечной активности с другими факторами среды и их внутренней организации. Очевидно, обе концепции одинаково справедливы для систем, самоорганизующихся в ритмической среде.

Существование выработанной на протяжении миллиардов лет целостной информационно-иерархической организации биосферы однозначно определяет стратегию природопользования – это сохранение данной организации и «вписывание» хозяйственной деятельности в циклические базовые процессы соответствующих экосистемных иерархических уровней. Осуществление такого «вписывания» и управление состоянием различных экосистем невозможно без создания единой системы мониторинга среды. Такая система должна включать как технические средства сбора и хранения данных о биологических системах и природной среде (что сейчас проблемой не является), так и соответствующие математические средства обработки и анализа данных. Основу математического обеспечения мониторинга должна составлять иерархия моделей, имитирующих функционирование биологических систем от молекулярно-генетических до экосистемных уровней разных рангов, характеризующих в том числе этапы эволюции растительного и животного мира. Математические модели позволяют осуществить не только прогноз развития природных биологических систем, но и оценить последствия различных вариантов природополь-

зования, проверка которых в натуральных условиях заняла бы много времени или была бы вообще недопустима.

К сожалению, современное моделирование различных биологических систем (от молекулярно-генетических до экосистемных уровней) не имеет единой работоспособной концепции не только для их анализа, но даже для систематизации их временных шкал. В целом то же можно сказать и об экологическом моделировании. Очевидно, использование информационно-иерархического подхода позволяет решить эти задачи. В частности, разделение организации биосферы на отдельные уровни потребовало изменения сложившихся на текущий момент методов математического моделирования. В рамках информационно-иерархического подхода разработано методологически новое системно-аналитическое моделирование, обеспечивающее адекватное отражение структурно-функциональной организации природных систем/экосистем и достижение теоретически наилучшей точности математических моделей.

В целом системный информационно-иерархический подход может использоваться для широкого спектра научных и прикладных исследований:

- решения проблемы обмена информацией в физических/наноп физических, генетических, биохимических, биологических, языковых и других эволюционно развитых системах;
- дополнения существующих классификаций живых организмов новой классификацией, отражающей участие конкретных таксонов (видов, родов, семейств и т.д.) в формировании информационных продуктов соответствующих иерархических уровней биосферы;
- регуляции системного (биосферного/биологического, социального, метаболического и т.п.) времени у биологических систем, включая человека;
- оценки степени нарушенности базовых процессов у экосистем и восстановления их структурно-функциональной организации;
- управления сукцессиями в экосистемах в целях рационального природопользования;
- управления критическими периодами развития социальных систем;
- определения закономерностей динамики климата и долгосрочного прогнозирования его региональных изменений;

- управления землепользованием с краткосрочным и долгосрочным прогнозом урожайности сельскохозяйственных культур.

Результаты выполненных исследований позволяют сделать ряд общих выводов, непосредственно касающихся мировой динамики:

- существование религиозных систем социосферы с многотысячелетними циклами развития обусловлено природными силами, совокупность которых характеризуется человеком как понятие «Бог»;
- отрицание Бога через научный и бытовой атеизм с ослаблением роли церкви в жизни общества привели к разрушению эволюционно развитой иерархической организации современной социосферы;
- разрушение социосферы и наблюдающиеся сейчас 198-летние циклы деградации соответствующих этносов обусловили их неблагоприятное информационно-ритмическое влияние на климат Евразии и нарушение его стабильности;
- существует потенциальная возможность восстановления входящей в социосферу христиано-иудейской религиозной системы путем принятия христианства крупным юго-восточным этносом, например Китаем, и обеспечения этим этносом следующего 1089-летнего цикла развития данной системы;
- выявлена потенциальная 71874-летняя надрелигиозная система социосферы, состоящая из трех параллельных мировых религий (буддизма, христианства и ислама) и зависящая от восстановления имевшейся иерархической организации социосферы;
- установленный информационный закон не допускает обмен ложной информацией между иерархически организованными системами, и обмен такой информацией у социосферных систем (в частности «информационные войны») объективно ведет к их разрушению.

Охарактеризованные в настоящей работе единство «материя – мера – информация» и закон накопления информации в эволюционно развитых природных системах являются лишь шагом в познании закономерностей Природы. Можно согласиться с В.И. Вернадским [1978, с. 13] в том, что пока существуют два научных представления о Природе. Первое характеризует «отвлеченное представление физика или механика», т.е. физическую картину мира. «Эта абстракция является удобной формой научной работы, входит в научное мировоззрение, но не охватывает его всего, не проникает даже все области естествозна-

ния...». Наряду с первым существует и второе, не менее научное представление о Природе – «натуралистическое, не разложенное на геометрические формы, более сложное и более для нас близкое и реальное...». Мы надеемся, что данная работа внесет свой вклад в сближение этих мировоззрений и ускорит будущее создание целостной научной картины мира.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- Абатуров Б.Д.* Биопродукционный процесс в наземных экосистемах. – М. : Наука, 1979. – 128 с.
- Агарков Г.С., Дробот Е.А., Дружинин И.П.* и др. Природа многолетних колебаний речного стока. – Новосибирск : Наука, 1976. – 335 с.
- Айала Ф., Кайгер Дж.* Современная генетика. – М. : Мир, 1987. – Т. 1. – 296 с.
- Алексеев В.В.* О роли консументов в формировании разнообразия видов в биогеоценозах // Журн. общ. биол. – 1973. – Т. 34, №3. – С. 451–458.
- Антипова А.* Миф о богатстве природных ресурсов России: Сравнительный анализ эколого-ресурсного потенциала России и США // Зеленый мир. – 1997. – Доп. вып. №8. – С. 12.
- Атмосфера // БСЭ. – 3-е изд. – М. : Большая советская энциклопедия, 1970. – Т. 2. – С. 380–384.
- Базилевич Н.И., Родин Л.Е., Розов Н.Н.* Сколько весит живое вещество планеты? // Природа. – 1971. – №1. – С. 46–53.
- Баранников А.А., Фирсов А.В.* Основные концепции современной физики : учеб. пособие для вузов. – М. : Высш. шк., 2006. – 350 с.
- Барышникова О.Н., Кирста Ю.Б., Харламова Н.Ф.* Влияние региональных проявлений глобальных климатических изменений и деятельности человека на развитие опустынивания для юга Западной Сибири // Кулундинская степь: прошлое, настоящее, будущее : мат-лы III Междунар. науч.-практ. конф. – Барнаул : Изд-во Алт. ун-та, 2003. – С. 137–147.
- Бауэр Э.* Теоретическая биология. – М. ; Л. : Изд-во Всесоюз. ин-та эксперим. медицины, 1935. – 206 с.
- Бельгард А.Л.* Степное лесоведение. – М. : Лесная промышленность, 1971. – 336 с.
- Бельгард А.Л.* Биогеоценологические принципы степного лесоведения // Структурно-функциональная организация биогеоценозов. – М. : Наука, 1980. – С. 129–144.
- Бердников В.А.* Основные факторы макроэволюции. – Новосибирск : Наука, 1990. – 253 с.
- Берталанфи Л. фон.* Общая теория систем: Обзор проблемы и регуляторов // Системные исследования (Ежегодник). – М. : Наука, 1969. – С. 30–54.
- Бигон М., Харпер Дж., Таунсенд К.* Экология: Особи, популяции и сообщества. – М. : Мир, 1989. – Т. 1. – 667 с.; Т. 2. – 477 с.
- Биологические ритмы : пер. с англ. / под ред. Ю. Ашоффа. – М. : Мир, 1984. – Т. 1. – 412 с.; Т. 2. – 262 с.
- Бихеле З.Н., Молдау Х.А., Росс Ю.К.* Математическое моделирование транспирации и фотосинтеза растений при недостатке почвенной влаги. – Л. : Гидрометеоздат, 1980. – 223 с.

- Боголепов М.А.* Периодические возмущения климата. – М. : Новая деревня, 1928. – 64 с.
- Бордовская Л.И.* Характеристика синоптических процессов Западной Сибири // Проблемы гляциологии Алтая. – Томск, 1974. – С. 95–114.
- Бохински Р.* Современные воззрения в биохимии. – М. : Мир, 1987. – 544 с.
- Брежнев Л.И.* Целина. – Л. : Лениздат, 1981. – 204 с.
- Бронштейн И.Н., Семендяев К.А.* Справочник по математике для инженеров и учащихся втузов. – М. : Наука, 1981. – 720 с.
- Будыко М.И.* Глобальная экология. – М. : Мысль, 1977. – 326 с.
- Быков Б.А.* Введение в фитоценологию. – Алма-Ата : Наука, 1970. – 234 с.
- Бышев В.И., Кононова Н.К., Нейман В.Г.* и др. Количественная оценка параметров климатической изменчивости системы океан – атмосфера // Океанология. – 2004. – Т. 44, № 2. – С. 341–353.
- Вернадский В.И.* Биосфера. – Л. : Науч. хим.-техн. изд-во. Науч.-техн. отд. ВСНХ, 1926. – 146 с.
- Вернадский В.И.* Химическое строение биосферы Земли и ее окружения. – М. : Наука, 1965. – 374 с.
- Вернадский В.И.* Живое вещество. – М. : Наука, 1978. – 358 с.
- Вернадский В.И.* Проблемы биогеохимии // Труды Биогеохим. лабор. – 1980. – Т. 16. – С. 228–246.
- Вернадский В.И.* Философские мысли натуралиста. – М. : Наука, 1988. – 520 с.
- Вернадский В.И.* Биосфера и ноосфера. – М. : Наука, 1989. – 261 с.
- Виноградова Г.М., Завалишин Н.Н., Кузин В.И.* Изменчивость сезонных характеристик климата Сибири в течение XX века // Оптика атмосферы и океана. – 2000. – Т. 13, № 6–7. – С. 604–607.
- Виноградова Г.М., Завалишин Н.Н., Кузин В.И.* Внутривековые изменения климата Восточной Сибири // Оптика атмосферы и океана. – 2002. – Т. 15, № 5–6. – С. 408–411.
- Винокуров Ю.И., Красноярова Б.А., Понько В.А.* Адаптация аграрного природопользования к современным климатическим изменениям // Глобальные и региональные изменения и их природные и социально-экономические последствия. – М. : Геос, 2000. – С. 134–139.
- Войткевич Г.В.* Возникновение и развитие жизни на Земле. – М. : Наука, 1988. – 144 с.
- Волькенштейн М.В.* Энтропия и информация. – М. : Наука, 1986. – 192 с.
- Гильманов Т.Г.* Математическое моделирование биогеохимических циклов в травяных экосистемах. – М. : Изд-во МГУ, 1978. – 168 с.
- Гиларов М.С.* Биогеоценология и агроценология // Структурно-функциональная организация биогеоценозов. – М. : Наука, 1980. – С. 8–22.
- Глобалистика : энциклопедия / гл. ред. И.И. Мазур, А.Н. Чумаков. – М. : ОАО Изд-во «Радуга», 2003. – 1328 с.
- Глобус А.М.* Почвенно-гидрофизическое обеспечение агроэкологических математических моделей. – Л. : Гидрометеиздат, 1987. – 428 с.
- Глушков В.М.* О кибернетике как науке // Кибернетика, мышление, жизнь. – М. : Мысль, 1964. С. 53–61.

Библиографический список

- Голубец М.А.* Актуальные вопросы экологии. – Киев : Наукова думка, 1982. – 158 с.
- Горяев В. Е.* Гидродинамические режимы сезонной миграции почвенной влаги в степной Кулунде // Гидрогеолого-мелиоративные исследования в Западной Сибири. – Красноярск : Сиб. НИИ гидротехники и мелиорации. – 1986. С. 12–26.
- Государственный доклад о состоянии здоровья населения Российской Федерации в 1993 г. // Здоровоохранение РФ. – 1995. – № 3. – С. 3–11.
- Государственный доклад о состоянии здоровья населения Российской Федерации в 1998 г. // Здоровоохранение РФ. – 2000. – № 3. – С. 3–6.
- Гудвин Т., Мерсер Э.* Введение в биохимию растений. – М. : Мир, 1986. – 392 с.
- Гуляев Ю.В., Рогальский В.И., Крапивин В.Ф.* и др. Математическое моделирование природных объектов в глобальной космической системе экологического контроля за состоянием окружающей среды : препринт. – М. : Институт радиотехники и электроники АН СССР, 1991. – 33 с.
- Гумилев Л.Н.* Этногенез и биосфера Земли. – Л. : Изд-во ЛГУ, 1989. – 496 с.
- Гумилев Л.Н.* География этноса в исторический период. – Л. : Наука, 1990. – 280 с.
- Дажо Р.* Основы экологии. – М. : Прогресс, 1975. – 415 с.
- Дэйсон Ф.Дж.* Будущее воли и будущее судьбы // Природа. – 1982. – № 8. – С. 60–70.
- Детари Л., Карцаги В.* Биоритмы: Современные представления о периодических изменениях биологических процессов. – М. : Мир, 1984. – 160 с.
- Детлаф А.А., Яворский Б.М.* Курс физики. – М. : Высш. шк., 2000. – 718 с.
- Дикий А.И.* Евреи в России и в СССР. – Новосибирск : Благовест, 1994. – 528 с.
- Дроздов О.А., Васильев В.А., Кобышева Н.В.* и др. Климатология : учеб. для вузов по специальности «Метеорология». – Л. : Гидрометеиздат, 1989. – 568 с.
- Дружинин И.П.* Долгосрочный прогноз и информация. – Новосибирск : Наука, 1987. – 257 с.
- Дугин А.* Абсолютная Родина. – М. : АРКТОГЕЯ-центр, 1999. – 752 с.
- Дылис Н.В.* Основы биогеоэкологии. – М. : Изд-во МГУ, 1978. – 151 с.
- Ермилов В.В., Матвеев В.В.* Теория управления : учеб. пособие. – СПб. : Некоммерческое партнерство «Центр молодежных программ «Стратегия Будущего», 2006. – 324 с.
- Ефимова Н.А.* Радиационные факторы продуктивности растительного покрова. – Л. : Гидрометеиздат, 1977. – 298 с.
- Жданов В.М.* Эволюция вирусов. – М. : Медицина, 1990. – 376 с.
- Жирмунский А.В., Кузьмин В.И.* Критические уровни в развитии природных систем. – Л. : Наука, 1990. – 223 с.
- Жуков В.А., Полевой А.Н., Витченко А.Н., Даниелов С.А.* Математические методы оценки агроклиматических ресурсов. – Л. : Гидрометеиздат, 1989. – 207 с.
- Завалишин Н.Н.* Модель зависимости температуры приземной атмосферы от альбедо Земли и тепловой инерции гидросферы // Оптика атмосферы и океана. – 2010. – Т. 23, № 6. – С. 480–484.

- Заварзин Г.А.* Бактерии и состав атмосферы. – М. : Наука, 1984а. – 190 с.
- Заварзин Г.А.* Роль бактерий в геохимическом прошлом Земли // Докл. сов. геол. на XXVII Междун. геол. конгрессе. – М. : Наука, 1984б. – Т. 19. – С. 129–135.
- Заичкин И.А., Почкаев И.Н.* Русская история. – М. : Мысль, 1992. – 797 с.
- Здоровье женщин, матерей и новорожденных в Российской Федерации в 1991 г.: Статистические материалы. – М. : Мин-во здравоохран. РФ, 1992. – 81 с.
- Золотокрылин А.Н.* Климатическое опустынивание / отв. ред. А.Н. Кренке. – М. : Наука, 2003. – 246 с.
- Зотин А.И., Алексеева Т.А.* Константа Рубнера как критерий видовой продолжительности жизни // Физиол. журн. – 1984. – Т. 70, № 1. – С. 59–64.
- Зубаков В.А.* Глобальные климатические события плейстоцена. – Л. : Гидрометеиздат, 1986. – 288 с.
- Зубаков В.А.* Глобальные климатические события неогена. – Л. : Гидрометеиздат, 1990. – 224 с.
- Зубенко Л.И.* Испарение с континентов. – Л. : Гидрометеиздат, 1976. – 263 с.
- Ивахненко А.Г.* Индуктивный метод самоорганизации моделей сложных систем. – Киев : Наукова думка, 1982. – 296 с.
- Ивахненко А.Г., Мюллер И.А.* Самоорганизация прогнозирующих моделей. – Киев : Техника, 1985. – 223 с.
- Израэль Ю.А.* Экология и контроль состояния природной среды. – М. : Гидрометеиздат, 1984. – 560 с.
- Исаков Ю.А., Казанская Н.С., Панфилов Д.В.* Классификация, география и антропогенная трансформация экосистем. – М. : Наука, 1980. – 226 с.
- Исаченко А.Г.* Макроландшафтные закономерности в сельском хозяйстве России. II // Изв. РГО. – 2004. – Т. 136, вып. 5. – С. 12–23.
- Использование и охрана природных ресурсов : тр. Межправительств. конф. по рациональному использованию и охране ресурсов биосферы, Париж, 1968 г. – М. : Прогресс, 1972. – 295 с.
- Ичас М.* Белковый текст // Теория информации в биологии. – М. : Изд-во иностр. лит., 1960. – С. 72–101.
- Казначеев В.П.* Учение В.И. Вернадского о биосфере и ноосфере. – Новосибирск : Наука, 1989. – 248 с.
- Казначеев В.П., Михайлова Л.П.* Биоинформационная функция естественных электромагнитных полей. – Новосибирск : Наука, 1985. – 181 с.
- Каллис А.Г.* Влияние солнечной радиации на продуктивность, рост и коэффициент полезного действия растительного покрова на разных широтах : автореф. дис. ... канд. географ. наук. – Тарту, 1974. – 27 с.
- Кальвин М.* Химическая эволюция. – М. : Мир, 1971. – 240 с.
- Камишилов М.М.* Преобразование информации в ходе эволюции. – М. : Знание, 1974. – 64 с.
- Камишилов М.М.* Эволюция биосферы. – 2-е изд. – М. : Наука, 1979. – 256 с.
- Кантор Ч., Шиммель П.* Биофизическая химия. – М. : Мир, 1984. – Т. 1. – 336 с.
- Кара-Мурза С.* Концепция «золотого миллиарда» и новый мировой порядок, 1999. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.karamurza.ru/books/articles/oro1.html>.

- Кастри Дж.* Большие системы: Связность, сложность и катастрофы. – М. : Мир, 1982. – 216 с.
- Каюмов М.К.* Программирование продуктивности полевых культур : справочник. – М. : Росагропромиздат, 1989. – 368 с.
- Кирста Ю.Б.* Математическая модель динамики влагозапасов почвогрунтов и транспирации растительности пустынных экосистем // Проблемы освоения пустынь. – 1983. – № 3. – С. 31–40.
- Кирста Ю.Б.* Моделирование пустынных экосистем. – Ашхабад : Ылым, 1986а. – 144 с.
- Кирста Ю.Б.* Модель продуктивности растительности для мониторинга пустынных пастбищ // Бот. журн. – 1986б. – Т. 71. – С. 23–33.
- Кирста Ю.Б.* Структурно-функциональная организация биосферы (информационно-иерархический подход) : автореф. дис. ... докт. биол. наук. – Днепропетровск, 1991. – 34 с.
- Кирста Ю.Б.* Биосфера и человечество. – Барнаул : Изд-во Алт. ун-та, 1995. – 33 с.
- Кирста Ю.Б.* Прогноз климата и агроклиматического потенциала Сибирского федерального округа до 2020 г. // Проблемы региональной экологии. – 2011а. – № 3. – С. 22–30.
- Кирста Ю.Б.* Пространственное обобщение климатических характеристик для горных территорий // Мир науки, культуры, образования. – 2011б. – № 3 (28). – С. 330–337.
- Кирста Ю.Б., Барышникова О.Н., Ловцкая О.В., Харламова Н.Ф.* Прогнозная модель изменения границ для лесостепной зоны России // Взаимодействие общества и окружающей среды в условиях глобальных и региональных изменений : тез. докл. Междунар. конф., Москва – Барнаул, июль 2003 г. – М. : ИПК «Желдориздат», 2003. – С. 60–62.
- Кирста Ю.Б., Зинченко Г.С., Ловцкая О.В., Белоторонина Т.А.* Оценка и прогноз агроклиматического потенциала Алтайского края в условиях современных изменений климата // Известия Алт. гос. ун-та. – 2002. – № 3. – С. 61–68.
- Кирста Ю.Б., Кирста Б.Ю.* Информационно-физические закономерности климатической динамики. Анализ экспериментальных данных // Вестник Югорск. гос. ун-та. – 2008. – № 1(8). – С. 47–59.
- Кирста Ю.Б., Кирста Б.Ю.* Информационно-физический закон построения эволюционных систем. Системно-аналитическое моделирование экосистем : монография. – Барнаул : Изд-во Алт. ун-та, 2009. – 270 с.
- Кирста Ю.Б., Кузнецова О.П., Ловцкая О.В.* Динамика агроклиматического потенциала России и США в условиях современного изменения климата: системный анализ и моделирование // Проблемы региональной экологии. – 2005. – № 4. – С. 37–50.
- Кирста Ю.Б., Ловцкая О.В.* Прогноз климатических изменений в зернопроизводящих зонах Сибири и России // Мир науки, культуры, образования. – 2009. – № 7 (19). – С. 9–13.
- Кирста Ю.Б., Хворова Л.А., Белоторонина Т.А.* Идентификация параметров модели влагообмена в почвах // Ползуновский вестник. – 2004. – № 2. – С. 214–216.

- Кови К. Орбита Земли и ледниковые эпохи // В мире науки. – 1984. – № 4. – С. 26–35.
- Колмогоров А.Н. Теория информации и теория алгоритмов. – М. : Наука, 1987. – 304 с.
- Колчинский Э.И. Развитие эволюционного подхода к явлениям живой природы // Научное и социальное значение деятельности В.И. Вернадского : сб. науч. тр. – Л. : Наука, 1989. – С. 63–86.
- Колчинский Э.И. Эволюция биосферы. – Л. : Наука, 1990. – 237 с.
- Коничев А.С., Севастьянова Г.А. Молекулярная биология. – М. : Изд. центр «Академия», 2005. – 400 с.
- Концепция общественной безопасности «Мертвая вода». – Новосибирск : Изд. отд. ВПИМВ «Единение», 2002. – 366 с.
- Корнев Г.В. Растениеводство с основами селекции и семеноводства. – М. : Агропромиздат, 1990. – 575 с.
- Коржинский С.И. Гетерогенезис и эволюция // Зап. Рос. академии наук по физ.-мат. отд-нию. – 1899. – Т. 9, № 2. – С. 1–94.
- Корн Г., Корн Т. Справочник по математике для научных работников и инженеров. – М. : Наука, 1984. – 832 с.
- Корытный Л.М. Бассейновая концепция в природопользовании. – Иркутск : Изд-во Института географии СО РАН, 2001. – 163 с.
- Кочуров Б.И. Экодиагностика и сбалансированное развитие : учеб. пособие. – М. ; Смоленск : Маджента, 2003. – 384 с.
- Кративин В.Ф., Свирежев Ю.М., Тарко А.М. Математическое моделирование глобальных биосферных процессов. – М. : Наука, 1982. – 272 с.
- Кулаков В.И., Фролова О.Г. Здоровье матери и новорожденного // Акушерство и гинекология. – 1994. – № 1. – С. 3–6.
- Куркин К.А., Матвеев А.Р. Ценопопуляции как системы особей и как элементы фитоценозов (системно-иерархический подход) // Бюл. МОИП. Отд. биол. – 1981. – Т. 86, вып. 4. – С. 54–74.
- Курсанов А.Л. Транспорт ассимилятов в растении. – М. : Наука, 1976. – 646 с.
- Лавренко Е.М. Основные закономерности растительных сообществ и пути их изучения // Полевая геоботаника. – М. ; Л. : Изд-во АН СССР, 1959. – Т. 1. – С. 13–75.
- Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Теоретическая физика : учеб. пособие для вузов : в 10 т. – М. : Физматлит, 2002. – Т. 3 : Квантовая механика. – 808 с.
- Латто А.В. Следы былых биосфер. – 2-е изд. – М. : Знание, 1987. – 208 с.
- Лархер В. Экология растений. – М. : Мир, 1978. – 384 с.
- Левич А.П. Тезисы о времени естественных систем // Экологический прогноз : сб. статей. – М. : Изд-во МГУ, 1986. – С. 163–188.
- Левич А.П. Метаболическое время естественных систем // Системные исследования: Методологические проблемы (Ежегодник, 1988). – М. : Наука, 1989. – С. 304–325.
- Левич А.П., Ревкова Н.В., Булгаков Н.Г. Процесс «потребление – рост» в культурах микроводорослей и потребности клеток в компонентах минерального питания // Экологический прогноз : сб. статей. – М. : Изд-во МГУ, 1986. – С. 132–139.
- Ленинджер А. Основы биохимии. – М. : Мир, 1985. – Т. 2. – 731 с.

- Лунгерсгаузен Г.Ф.* Периодические изменения климата и великие оледенения Земли // Сов. геология. 1959. № 59. С. 88–115.
- Льюнг Л.* Идентификация систем. Теория для пользователя / пер. с англ.; под ред. Я.З. Цыпкина. – М.: Наука, 1991. – 432 с.
- Ляпунов А.А., Титлянова А.А.* Системный подход к изучению круговорота веществ и потока энергии в биогеоценозе // О некоторых вопросах кодирования и передачи информации в управляющих системах живой природы. – Новосибирск: Ин-т гидродинамики, 1971. – С. 99–188.
- Ляпунов А.А., Яблонский С.В.* О теоретических проблемах кибернетики // Кибернетика, мышление, жизнь. – М.: Мысль, 1964. – С. 62–75.
- Максимов Е.В.* Проблемы оледенения Земли и ритмы в природе. – Л.: Наука, 1972. – 294 с.
- Максимов А.А.* Многолетние колебания численности животных, их причины и прогноз. – Новосибирск: Наука, 1984. – 251 с.
- Максимов А.А.* Природные циклы: Причины повторяемости экологических процессов. – Л.: Наука, 1989. – 236 с.
- Макфедьен Э.* Экология животных. Цели и методы. – М.: Мир, 1965. – 375 с.
- Малкина И.С., Цельникер Ю.Л., Якишина А.М.* Фотосинтез и дыхание подроста: Методические подходы к изучению баланса органического вещества. – М.: Наука, 1970. – 184 с.
- Марчук Г.И.* Математическое моделирование в проблеме окружающей среды. – М.: Наука, 1982. – 319 с.
- Медников Б.М.* ДНК и теория информации // Строение ДНК и положение организмов в системе. – М.: Изд-во МГУ, 1972. – С. 320–325.
- Медников Б.М.* Вид как система адаптивных норм // Молекулярные механизмы генетических процессов. – М.: Наука, 1990. – С. 94–98.
- Месарович М., Мако М., Такахара И.* Теория иерархических многоуровневых систем. – М.: Мир, 1973. – 343 с.
- Мильков Ф.Н.* Физическая география: Учение о ландшафте и географическая зональность. – Воронеж: Изд-во Воронежск. гос. ун-та, 1986. – 325 с.
- Миркин Б.М., Розенберг Г.С.* Фитоценология. Принципы и методы. – М.: Наука, 1978. – 211 с.
- Миркин Б.М., Розенберг Г.С.* Толковый словарь современной фитоценологии. – М.: Наука, 1983. – 134 с.
- Мировой водный баланс и водные ресурсы Земли / гл. ред. В.И. Корзун. – Л.: Гидрометеиздат, 1974. – 640 с.
- Моделирование роста и продуктивности сельскохозяйственных культур / под ред. Пеннинга де Фриза, Х.Х. Ван Лаара. – Л.: Гидрометеиздат, 1986. – 320 с.
- Моисеев Н.Н.* Имитационные модели // Наука и человечество: Доступно и точно о главном в мировой науке (Международ. ежегодник). – М.: Знание, 1973. – С. 259–269.
- Моисеев Н.Н.* Математические задачи системного анализа. – М.: Наука, 1981. – 487 с.
- Моисеев Н.Н., Свирижев Ю.М.* Методы системного анализа в проблеме «человек и биосфера» // Имитационное моделирование и экология: матер.

подготов. сем. СКОПЕ «Имитационное моделирование», Москва, 1974 г. – М. : Наука, 1975. – С. 10–17.

Мосиенко Н.А. Агрогидрологические основы орошения (на примере Западной Сибири, Урала и Северного Казахстана). – Л. : Гидрометеиздат, 1984. – 215 с.

Мохов И.И., Карпенко А.А., Стотт П.А. Наибольшие скорости регионального потепления климата в последние десятилетия с оценкой роли естественных и антропогенных причин // Докл. РАН. – 2006. – Т. 406, № 4. – С. 538–543.

Муромцев Н.А. Расход влаги из зоны аэрации и грунтовых вод к фронту промерзания почв по данным лизиметрических исследований // Почвоведение. – 1986. – № 12. – С. 59–68.

Наумов Н.П. Очерки сравнительной экологии мышевидных грызунов. – М. ; Л. : Изд-во АН СССР, 1948. – 204 с.

Наумов Н.П. Экология животных. – М. : Высш. шк., 1963. – 618 с.

Наумов Н.П. Уровни организации живой материи и популяционная биология // Журн. общ. биол. – 1971. – Т. 32, № 6. – С. 651–666.

Нечаева Н.Т. Динамика пастбищной растительности Каракумов под влиянием метеорологических условий. – Ашхабад : Изд-во АН Туркм.ССР, 1958. – 214 с.

Нечаева Н.Т., Антонова К.Г., Каршенас С.Д. и др. Продуктивность растительности Центральных Каракумов в связи с различным режимом использования / отв. ред. А. Г. Бабаев. – М. : Наука, 1979. – 256 с.

Нечаева Н.Т., Васильевская В.К., Антонова К.Г. Жизненные формы растений пустыни Каракумы. – М. : Наука, 1973. – 244 с.

Николаев М.В. Современный климат и изменчивость урожаяев. – СПб. : Гидрометеиздат, 1994. – 200 с.

Николис Дж. Динамика иерархических систем: Эволюционное представление. – М. : Мир, 1989. – 486 с.

Николис Г., Пригожин И. Самоорганизация в неравновесных системах: От диссипативных структур к упорядоченности через флуктуации. – М. : Мир, 1979. – 512 с.

Николис Г., Пригожин И. Познание сложного: Введение. – М. : Мир, 1990. – 342 с.

Номоконов Л.И. Пойменные луга Енисея. – М. : Изд-во АН СССР, 1959. – 456 с.

Номоконов Л.И. Общая биогеоценология. – Ростов : Изд-во Ростовск. ун-та, 1989. – 456 с.

Одум Ю. Экология. – М. : Мир, 1986. – Т. 1. – 328 с.; Т. 2. – 376 с.

Олейников А.Н. Геологические часы. – Л. : Недра, 1987. – 151 с.

Опарин А.И. Возникновение жизни на Земле. – 3-е изд. – М. : Изд-во АН СССР, 1957. – 458 с.

Опарин А.И. Жизнь, ее природа, происхождение и развитие. – М. : Изд-во АН СССР, 1960. – 173 с.

Палагин Э. Г. Математическое моделирование агрометеорологических условий перезимовки озимых культур. – Л. : Гидрометеиздат, 1981. – 191 с.

Палецкий В.А. Схема смены растений при естественном (без вмешательства человека) успокоении и закреплении песков // Лесн. журн. – 1914. – Вып. 5. – С. 875–877.

Патти Г. Замечание // На пути к теоретической биологии. – М. : Мир, 1970. – Т. 1. – С. 177–179.

Пианка Э. Эволюционная экология. – М. : Мир, 1981. – 400 с.

Планеты // БСЭ. – 3-е изд. – М.: БСЭ, 1975. – Т. 19. – С. 621–624.

Плетнева А.А., Кравецкий А.Г. Церковно-славянский язык – М. : Провещение: Учеб. лит., 1996. – 192 с.

Полевой А.Н. Теория и расчет продуктивности сельскохозяйственных культур. – Л. : Гидрометеоздат, 1983. – 175 с.

Полевой А.Н. Прикладное моделирование и прогнозирование продуктивности посевов. – Л. : Гидрометеоздат, 1988. – 318 с.

Полевой В.В. Физиология растений. – М. : Высш. шк., 1989. – 464 с.

Полуэктов Р.А. Динамические модели агроэкосистемы. – Л. : Гидрометеоздат, 1991. – 312 с.

Проблемы теоретической геоморфологии. – М. : Наука, 1988. – 257 с.

Прозоров А.А. Геном бактериальной клетки // Организация генома. – М. : Наука, 1989. – С. 4–22.

Производство зерна в Российской Федерации. Ч. II. – М. : Госкомстат РФ, 1993. – 87 с.

Протасов В.Ф., Молчанов А.В. Экология, здоровье и природопользование в России. – М. : Финансы и статистика, 1995. – 528 с.

Раменский Л.Г. Введение в комплексное почвенно-геоботаническое исследование земель. – М. : Сельхозгиз, 1938. – 620 с.

Растительность Центральных Каракумов и ее продуктивность / под ред. Н.Т. Нечаевой. – Ашхабад : Ылым, 1970. – 171 с.

Регионы России: Социально-экономические показатели / Федеральная служба государственной статистики. – 2008. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.gks.ru/doc_2008/region/soc-pok.zip, свободный.

Регионы России: Статистический сборник. – М. : Госкомстат России, 2000. – Т. 2. – 879 с.

Реймерс Н.Ф. Природопользование : словарь-справочник. – М. : Мысль, 1990. – 640 с.

Реймерс Н.Ф. Экология: (теория, законы, правила, принципы и гипотезы). – М. : Журн. «Россия Молодая», 1994. – 367 с.

Риклефс Р. Основы общей экологии. – М. : Мир, 1979. – 424 с.

Рис Э., Стернберг М. От клеток к атомам: Иллюстрированное введение в молекулярную биологию. – М. : Мир, 1988. – 144 с.

Ритмы и цикличность в природе : сб. статей. – М. : Мысль, 1970. – 224 с.

Роде А. А. Основы учения о почвенной влаге. – Л. : Гидрометеоздат, 1965. – Т. 1 : Водные свойства почв и передвижение почвенной влаги. – 213 с.

Роде А. А. Основы учения о почвенной влаге. – Л. : Гидрометеоздат, 1969. – Т. 2 : Методы изучения водного режима почв. – 287 с.

Розенберг Г.С. Математическое моделирование фитоценологических систем // Бюл. МОИП. Отд. биол. – 1980. – Т. 85, вып. 2. – С. 79–88.

Розенберг Г.С. Квазиимитационная модель динамики луговых фитоценозов // Бюл. МОИП. Отд. биол. – 1981. – Т. 86, вып. 2. – С. 71–79.

Розенберг Г.С. Модели в фитоценологии. – М. : Наука, 1984. – 265 с.

Росс Ю.К. Система уравнений для количественного роста растений // Фитоактинометрические исследования растительного покрова. – Таллин : Валгус, 1968. – С. 64–89.

Российский статистический ежегодник : статист. сборник. – М. : Госкомстат России, 1998. – 813 с.

Российский статистический ежегодник : статист. сборник. – М. : Госкомстат России, 2000. – 642 с.

Рубин А.Б. Биофизика. – М. : Высш. шк., 1987. – Кн. 2 : Биофизика клеточных процессов. – 303 с.

Сабинин Д.А. Физиология развития растений. – М. : Изд-во АН СССР, 1963. – 196 с.

Сазонов Б.И. Брикнеровский цикл засух // Тр. ГГО. – 1979. – Вып. 403. – С. 83–84.

Светлосанов В.А. Экосистема, биогеоценоз и геосистема с точки зрения моделирования // Биогеофизические и математические методы исследования геосистем. – М. : Ин-т географии АН СССР, 1978. – С. 11–17.

Седов Е.А. Взаимосвязь энергии, информации и энтропии в процессах управления и самоорганизации // Информация и управление. – М. : Наука, 1985. – С. 169–192.

Сельков Е.Е., Дынник С.Н., Кирста Ю.Б. Качественное исследование математической модели открытого футильного цикла фруктозо-6-Ф \Leftrightarrow фруктозо-1,6-Ф₂ // Биофизика. – 1979. – Т. 24, вып. 3. – С. 431–437.

Селянинов Г.Т. Принципы агроклиматического районирования СССР // Вопросы агроклиматического районирования СССР. – М. : Изд-во МСХ СССР, 1958. – С. 7–14.

Сент-Дьерди А. Введение в субмолекулярную биологию. – М. : Наука, 1964. – 139 с.

Серебряков И.Г. Экологическая морфология растений: Жизненные формы покрытосеменных и хвойных. – М. : Высш. шк., 1962. – 378 с.

Сиротенко О.Д. Математическое моделирование водно-теплового режима и продуктивности агросистем. – Л. : Гидрометеоздат, 1981. – 167 с.

Система. Симметрия. Гармония / под ред. В.С. Тюхтина, Ю.А. Урманцева. – М. : Мысль, 1988. – 315 с.

Скрябин М.П. Вековые циклы природных условий и боровая растительность лесостепи // Тр. Воронежск. заповедн. – 1949. – Вып. 3. – С. 89–108.

Сляднев А.П. Климатические ресурсы сельского хозяйства Западной Сибири // Географические проблемы Сибири. – Новосибирск : Наука, 1972. – С. 107–142.

Советова В.Д. Влияние Уральского хребта на эволюцию фронтальной облачности // Тр. ЦИП. – 1959. – Вып. 79. – С. 12–24.

Соколов Б.С. Органический мир Земли на пути к фанерозойской дифференциации // Вестник АН СССР. – 1976. – № 1. – С. 126–143.

Соколов В.Е., Кузнецов Г.В. Суточные ритмы активности млекопитающих. – М. : Наука, 1978. – 263 с.

Библиографический список

- Сороко Э.М.* Структурная гармония систем. – Мн. : Наука и техника, 1984. – 264 с.
- Сочава В.Б.* Введение в учение о геосистемах. – Новосибирск : Наука, 1978. – 319 с.
- Спирин А.С.* Молекулярная биология: Структура рибосомы и биосинтез белка. – М. : Высш. шк., 1986. – 303 с.
- Спирин А.С.* Молекулярная биология: Структура и биосинтез нуклеиновых кислот. – М. : Высш. шк., 1990. – 352 с.
- Стадницкий Г.В., Родионов А.И.* Экология. – М. : Высш. шк., 1988. – 272 с.
- Степанов В.Н.* Круговорот энергии и веществ и изучение природы Земли // *Вопр. филос.* – 1966. – № 6. – С. 71–79.
- Сукачев В.Н.* К вопросу о борьбе за существование между биотипами одного и того же вида // Юбилейный сб., посвященный И.П. Бородину. – Л. : Рус. ботан. общ-во, 1927. – С. 195–219.
- Сукачев В.Н.* Развитие растительности как элемента географической среды в соотношении с развитием общества // О географической среде в лесном производстве. – Л. : Б/из, 1940. – С. 54–62.
- Сукачев В.Н.* Динамика лесных биогеоценозов // Основы лесной биогеоценологии. – М., 1964а. – С. 458–486.
- Сукачев В.Н.* Основные понятия лесной биогеоценологии // Основы лесной биогеоценологии. – М. : Наука, 1964б. – С. 3–49.
- Сукачев В.Н.* Структура биогеоценозов и их динамика // Структура и формы материи. – М. : Наука, 1967. – С. 560–577.
- Тахтаджян А.Л.* Происхождение и расселение цветковых растений. – Л. : Наука, 1970. – 146 с.
- Тейяр де Шарден П.* Феномен человека. – М. : Прогресс, 1965. – 296 с.
- Термодинамика биологических процессов / отв. ред. А.И. Зотин. – М. : Наука, 1976. – 278 с.
- Тимофеев-Ресовский Н.В., Воронцов Н.Н., Яблоков А.В.* Краткий очерк теории эволюции. – М. : Наука, 1977. – 297 с.
- Титлянова А.А.* Биологический круговорот углерода в травяных биогеоценозах. – Новосибирск : Наука, 1977. – 221 с.
- Титлянова А.А., Тихомирова Н.А., Шахотина Н.Г.* Продукционный процесс в агроценозах. – Новосибирск : Наука, 1982. – 185 с.
- Тооминг Х.Г.* Солнечная радиация и формирование урожая. – Л. : Гидрометеиздат, 1977. – 200 с.
- Турманина В.И.* Влияние на растительность внутривековых ритмов увлажненности // Ритмы и цикличность в природе. – М. : Мысль, 1970. – С. 168–181.
- Уайнер Дж.И.* Экология человека // Биология человека. – М. : Мир, 1979. – С. 472–596.
- Уголев А.М.* Трофология – новая междисциплинарная наука // Вестник АН СССР. – 1980. – № 1. – С. 50–61.
- Уголев А.М.* Естественные технологии биологических систем. – Л. : Наука, 1987. – 316 с.

Уголев А.М. Трофология и система наук о биосфере // Научное и социальное значение деятельности В.И. Вернадского : сб. науч. тр. – Л. : Наука, 1989. – С. 29–53.

Узаконенное детоубийство. – Владимир : Владимирская епархия, 1991. – 16 с.

Уинфри А.Т. Время по биологическим часам. – М. : Мир, 1990. – 208 с.

Уиттекер Р.Х. Сообщества и экосистемы. – М. : Прогресс, 1980. – 327 с.

Усманов З.Д., Горелов Ю.И., Сапова Л.И. Периоды, ритмы и циклы в природе. – Душанбе : Дониш, 1990. – 152 с.

Усольцев В.А. Русь изначальная, русский космизм и столетие падения России. – Екатеринбург : УГЛТУ, 2012. – 600 с.

Ушаков Б.П. О классификации приспособлений животных и растений и о роли цитозкологии в разработке проблемы адаптации // Проблемы цитозкологии животных. – М. ; Л. : Изд-во АН СССР, 1963. – С. 5–20.

Федоров В.М. Статистические оценки межгодовых колебаний климата // Вестник МГУ. Сер. 5. География. – 2001. – № 1. – С. 16–19.

Фельдман Г.М. Передвижение влаги в талых и промерзающих грунтах. – Новосибирск : Наука, 1988. – 258 с.

Физическая энциклопедия. Т. 1. / гл. ред. А.М. Прохоров. – М. : Сов. энциклопедия, 1988 – 704 с.

Филандышева Л.Б., Окишева Л.Н. Сезонные ритмы природы Западно-Сибирской равнины. – Томск : Пеленг, 2002. – 404 с.

Фоменко А.Т. Статистическая хронология. – М. : Знание, 1990. – 45 с.

Фоменко А.Т. Основания истории. – М. : Римис, 2005. – 552 с.

Форрестер Дж. Мировая динамика. – М. : Мир, 1978. – 167 с.

Форсайт Дж., Малькольм М., Моулер К. Машинные методы математических вычислений. – М. : Мир, 1980. – 280 с.

Хакен Г. Синергетика. – М. : Мир, 1980. – 404 с.

Хакен Г. Синергетика: Иерархия неустойчивостей в самоорганизующихся системах и устройствах. – М. : Мир, 1985. – 419 с.

Хильми Г.Ф. Теоретическая биогеофизика леса. – М. : Изд-во АН СССР, 1957. – 206 с.

Хильми Г.Ф. Основы физики биосферы. – Л. : Гидрометеиздат, 1966. – 297 с.

Холево А.С. Введение в квантовую теорию информации // Современная мат. физика: Проблемы и методы. Вып. 5. – М. : Изд-во МЦНМО, 2002. – 128 с.

Холленд Х. Химическая эволюция океанов и атмосферы. – М. : Мир, 1989. – 552 с.

Хргиан А.Х. О влиянии Уральского хребта на облачность и осадки // Метеорол. и гидрол. – 1961. – № 8. – С.11–17.

Ценопопуляции растений. – М. : Наука, 1988. – 184 с.

Четвериков С.С. О некоторых моментах эволюционного процесса с точки зрения современной генетики // Журн. exper. биол. Сер. А. – 1926. – № 2. С. 3–54.

Чижевский А.Л. Земное эхо солнечных бурь. – М. : Мир, 1976. – 350 с.

Шашко Д.И. Агроклиматические ресурсы СССР. – Л. : Гидрометеиздат, 1985. – 248 с.

- Шварц С.С.* Популяционная структура биогеоценозов // Природа. – 1971. – № 6. – С. 6–7.
- Шварц С.С.* Эволюция и биосфера // Проблемы биогеоценологии. – М. : Наука, 1973. – С. 213–228.
- Шварц С.С.* Эволюция биосферы и экологическое прогнозирование // Вестник АН СССР. – 1976. – № 2. – С. 61–72.
- Шевелев И.Ш., Марутаев М.А., Шмелев И.П.* Золотое сечение. – М. : Стройиздат, 1990. – 343 с.
- Шенников А.П.* Луговедение. – Л. : Изд-во ЛГУ, 1941. – 512 с.
- Шеннон К.Е.* Математическая теория связи // Работы по теории информации и кибернетике. – М. : Изд-во иностр. лит., 1963. – С. 243–332.
- Шеннон Р.* Имитационное моделирование систем – искусство и наука. – М. : Мир, 1978. – 420 с.
- Шипунов Ф.Я.* Организованность биосферы. – М. : Наука, 1980. – 292 с.
- Шмаков В.* Священная книга Тота. Великие арканы Таро. – М.: МСМХVI, 1916 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://psylib.org.ua/books/_psyzip/shmak01.zip, свободный.
- Шмальгаузен И.И.* Организм как целое в индивидуальном и историческом развитии. – М. ; Л. : Изд-во АН СССР, 1938. – 144 с.
- Шмальгаузен И.И.* Пути и закономерности эволюционного процесса. – М. ; Л. : Изд-во АН СССР, 1939–1940. – 231 с.
- Шмальгаузен И.И.* Интеграция биологических систем и их саморегуляция // Бюл. МОИП. Отд. биол. – 1961. – Т. 66, вып. 2. – С. 104–134.
- Шмальгаузен И.И.* Кибернетические вопросы биологии. – Новосибирск : Наука, 1968а. – 223 с.
- Шмальгаузен И.И.* Факторы эволюции. – 2-е изд. – М. -: Наука, 1968б. – 451 с.
- Шмелев И.П.* Архитектор фараона. – СПб. : Искусство России, 1993. – 95 с.
- Шнитников А.В.* Общие черты циклических колебаний уровня озер и увлажненности территории Евразии в связи с солнечной активностью // Бюл. Комиссии по исслед. Солнца. – 1949. – № 3–4 (17–18). – С. 65–78.
- Шнитников А.В.* Изменчивость солнечной активности за историческую эпоху на основе ее некоторых земных проявлений // Бюл. Комиссии по исслед. Солнца. – 1951. – № 7 (21). – С. 47–56.
- Шнитников А.В.* Внутривековая изменчивость компонентов общей увлажненности. – Л. : Наука, 1969. – 244 с.
- Эдиев Д.М.* Агрегированное прогнозирование численности населения с использованием техники демографического потенциала // Электронный журнал «Исследовано в России». – 2001. – № 38. – С. 382–407 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://zhurnal.ape.relarn.ru/articles/2001/140.pdf>, свободный.
- Эренфест П.* Относительность. Кванты. Статистика. – М. : Наука, 1972. – 360 с.
- Юсуфов А.Г.* Функциональная эволюция растений. – М. : Знание, 1986. – 64 с.
- Яблоков А.В.* Популяционная биология. – М. : Высш. шк., 1987. – 304 с.
- Яковец Ю.В.* Циклы. Кризисы. Прогнозы. – М. : Наука, 1999. – 448 с.

Ярошенко П.Д. Основы учения о растительном покрове. – М. : Географгиз, 1953. – 351 с.

Alberts B., Bray D., Lewis J. Molecular Biology of the Cell. 4d Ed. – N.-Y. : Garland Science, 2002. – 1536 p.

Allen T.F.H., Starr T.B. Hierarchy: Perspectives for Ecological Complexity. – Chicago : University of Chicago Press, 1982. – 216 p.

Aspect A., Grangier P., Roger G. Experimental tests of realistic local theories via Bell's theorem // Phys. Rev. Lett. – 1981. – Vol. 47, N 7. – P. 460–463.

Backman G. Wachstum und Organische Zeit. – Leipzig, 1943. – 195 s.

Baier W. Concepts of soil moisture availability and their effect on soil moisture estimates from meteorological budget // Agr. Meteorol. – 1969. – Vol. 6, N 3. – P. 165–178.

Balling R.C., Michaels P.J., Knappenberger P.C. Analysis of winter and summer warming rates in gridded temperature time series // Climate Researches. – 1998. – Vol. 9. – P. 175–181.

Baltag A., Smets S. Correlated knowledge: An epistemic-logic view on quantum entanglement // Int. J. Theor. Phys. – 2010. – Vol. 49. – P. 3005–3021.

Bell J.S. On the Einstein Podolsky Rosen paradox // Physics. – 1964. – Vol. 1, N 3. – P. 165–200.

Benabdellah B., Albrecht K.F., Pomaz V.L. et al. Markov chain models for forest successions in the Erzgebirge, Germany // Ecol. Model. – 2003. – Vol. 159. – P. 145–160.

Berta M., Christandl M., Colbeck R. et al. The uncertainty principle in the presence of quantum memory // Nat. Phys. – 2010. – Vol. 6. – P. 659–662.

Bertalanffy L. von. Problems of life. – L. : Watts, 1952. – 210 p.

Bertalanffy L. von. Principles and theory of growth // Fundamental aspects of normal and malignant growth. – Amsterdam etc. : Elsevier, 1960. – P. 137–259.

Biochemical Pathways (Poster), 3d Ed / Editor: Gerhard Michal. – Mannheim : Boehringer Mannheim GmbH Biochemica, 1993.

Bowman K.O., Hatcheson K., Odum E.P., Shenton L.R. Comments on the distribution of indices of diversity // Statist. Ecol. Vol. 3: Many Species Populations, Ecosystems, and Systems Anal. / Ed. G.P. Patil, E.C. Pielow, W.E. Waters. – Pennsylvania State University Press, 1971. – P. 315–366.

Boyer V., Marino A.M., Pooser R.C., Lett P.D. Entangled images from four-wave-mixing // Science. – 2008. – Vol. 321, N 5888. – P. 544–547.

Bragg D.C., Roberts D.W., Crow T.R. A hierarchical approach for simulating forest dynamics // Ecol. Model. – 2004. – Vol. 173. – P. 31–94.

Brener L., Eckhardt K., Frede H.-G. Plant parameters values for models in temperature climates // Ecol. Model. – 2003. – Vol. 169. – P. 237–293.

Brittin W., Gamow G. Negative entropy and photosynthesis // Proc. N.A.S. – 1961. – Vol. 47. – P. 724–727.

Bruckner E.A. Klimaschwankungen seit 1700, nebst Bemerkungen über die Klimaschwankungen der Diluvialzeit // Geographische Abhandlungen / Ed. A. Penck. – Vienna : Hölzel, 1890. – 325 s.

Büntgen U., Tegel W., Nicolussi K. et al. 2500 Years of European climate variability and human susceptibility // Science. – 2011. – Vol. 331, N 6017. – P. 578–582.

Cabecinha E., Cortes R., Cabral J.A. Performance of a stochastic-dynamic modelling methodology for running water ecological assessment // *Ecol. Model.* – 2004. – Vol. 175. – P. 303–317.

Carr B.J., Coley A.A. Persistence of black holes through a cosmological bounce // arXiv:1104.3796v1 [astro-ph.CO] 19 Apr 2011.

Choi W., Ryoo M. A matrix model for predicting seasonal fluctuations in field populations of *Paronychiurus Kimi* // *Ecol. Model.* – 2003. – Vol. 162. – P. 259–265.

Chown M. Our world may be a giant hologram // *New Scientist magazine.* – 2009. – Issue 2691. – P. 24–27.

Clements F.E. Plant succession: Analysis of the development of vegetation // *Publ. Carnegie Inst., Washington, D.C., 1916.* – Vol. 242. – 1512 p.

Climatic Research Unit / University of East Anglia, UK. – 2002 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.cru.uea.ac.uk>.

Cloud P. Beginnings of biosphere evolution and their biogeochemical consequences // *Paleobiology.* – 1976. – Vol. 2. – P. 351–387.

Cox C.B., Moore P.D. Biogeography: An Ecological and Evolutionary Approach. – 6th edn. – Oxford, UK : Blackwell Science Ltd., 1999. – 298 p.

Cropper W.P., Anderson P.J. Population dynamics of a tropical palm: use of a genetic algorithm for inverse parameter estimation // *Ecol. Model.* – 2004. – Vol. 177. – P. 119–127.

Davidson J.L., Philip J.R. Light and pasture grows // *Climatology and microclimatology.* – UNESCO, 1958. – P. 181–187.

Davies P.C.W. Superforce: The Search for a Grand Unified Theory of Nature. – N.Y. : Touchstone Book Published by Simon & Schuster, Inc., 1985. – 255 p.

Davies P.C.W. Information and the Nature of Reality: From Physics to Metaphysics / Ed. N.H. Gregersen. – N.Y. : Cambridge University Press, 2010. – 398 p.

Developments in Environmental Modelling. Book series / Ed. S.E. Jorgensen. – Amsterdam : Elsevier, 1981–2003.

DeWit C.T. Photosynthesis of leaf canopies // *Agric. Res. Rep.* – 1965. – Vol. 653. – P. 1–57.

Dobzhansky Th. Genetics and the origin of species. – N.Y. : Columbia University Press, 1937. – 364 p.

Dollo L. Les lois de l'évolution // *Bulletin de la Société Belge de Géologie, de Paléontologie et de Hydrologie.* – 1893. – Vol. 7. – P. 164–166.

Drouet J.-L., Pages L. GRAAL: A model of GRowth, Architecture and carbon ALlocation during the vegetative phase of whole maize plant // *Ecol. Model.* – 2003. – Vol. 165. – P. 147–173.

Dzeroski S., Todorovski L. Learning population dynamics models from data and domain knowledge // *Ecol. Model.* – 2003. – Vol. 170. – P. 129–140.

Ehrenfest P. Bemerkung über die angenäherte Gültigkeit der klassischen Mechanik innerhalb der Quantenmechanik // *Zeitschrift für Physik.* – 1927. – Vol. 45. – P. 455–457.

Einstein A., Podolsky B., Rozen N. Can quantum-mechanical description of physical reality be considered complete? // *Phys. Rev.* – 1935. – Bd. 47. – S. 777–780.

Eitzinger J., Trnka M., Hösch J. et al. Comparison of ceres, wofost and swap models in simulating soil water content during growing season under different soil conditions // *Ecol. Model.* – 2004. – Vol. 171. – P. 223–246.

Emlen J.M., Freeman D.C., Kirchoff M.D. et al. Fitting population models from field data // *Ecol. Model.* – 2003. – Vol. 162. – P. 119–143.

Fath B.D., Cabezas H. Exergy and Fisher information as ecological indices // *Ecol. Model.* – 2004. – Vol. 174. – P. 25–35.

Favier C., Chave J., Fabing A. et al. Modelling forest-savanna mosaic dynamics in man-influenced environments: Effect of fire, climate and soil heterogeneity // *Ecol. Model.* – 2004. – Vol. 171. – P. 85–102.

Fechner G.Th. Vorschule der Aesthetic, I–II. – Leipzig : Breitkopf und Härtel, 1876. – 319 s.

Fisher R.A. The Genetical Theory of Natural Selection. – Oxford : Clarendon Press, 1930. – 272 p.

Fundamentals of Ecological Modelling. 3rd. / Eds. S.E. Jorgensen, G. Bendricchio. – Amsterdam : Elsevier, 2001. – 530 p.

Gaastra P. Photosynthesis of crop plants as influenced by light, carbon dioxide, temperature, and stomatal diffusion resistance // *Mededel. Landbouwhogeschool, Wageningen.* – 1959. – Vol. 59, N 13. – P. 1–68.

Gevrey M., Dimopoulos I., Lek S. Review and comparison of methods to study the contribution of variables in artificial neural network models // *Ecol. Model.* – 2003. – Vol. 160. – P. 249–264.

Goodall D.W. Computer simulation of changes in vegetation subjected to grazing // *J. Indian. Bot. Soc.* – 1967. – Vol. 46. – P. 356–362.

Gorshkov V. G., Gorshkov V. V., Makarieva A. M. Biotic Regulation of the Environment: Key Issue of Global Change. Springer-Praxis Series in Environmental Sciences, Praxis: Chichester, Springer: Berlin, 2000. – 367 pp.

Guariso G., Werthner H. Environmental Decision Support Systems. – Chichester : John Wiley & Sons, 1989. – 240 p.

Ha-Levi Yehuda. Cuzary. – Madrid : Editora Nacional, 1979. – 264 p.

Hays J.D., Imbrie J., Shackleton N. Variations in the Earth's orbit: Pacemaker of the ice ages // *Science.* – 1976. – Vol. 194. – P. 1121–1132.

Hettrich A., Rezenzweig S. Multivariate statistics as a tool for model-based prediction of floodplain vegetation and fauna // *Ecol. Model.* – 2003. – Vol. 169. – P. 73–87.

Hooke R., Jeeves T.A. Direct search solution of numerical and statistical problems // *J. Assn. Comp. Mach.* – 1961. – Vol. 8. – P. 212–229.

Hutcheson K. A test for comparing diversities based on the Shannon formula // *J. Theor. Biol.* – 1970. – Vol. 29. – P. 151–154.

Idso S.B. Atmospheric and soil induced water stress in plants and their effect on transpiration and photosynthesis // *J. Theor. Biol.* – 1968. – Vol. 21, N 1. – P. 1–12.

Jeffers J.N.R. Practitioner's handbook on the modelling of dynamic change in ecosystems. SCOPE–34. – N.Y. : John Wiley & Sons, 1988. – 181 p.

Johnson W.C., Sharpe D.M. An analysis of forest dynamics in the northern Georgia Piedmont // *Forest Sci.* – 1976. – Vol. 22. – P. 307–322.

Jorgensen S.E., Nielsen S.N., Mejer H. Emergy, environ, exergy and ecological modelling // *Ecol. Model.* – 1995. – Vol. 77, N 2/3. – P. 99–109.

- Jorgensen S.E., Svirezhev Y.M.* Toward a Thermodynamic Theory for Ecological Systems. – Oxford : Pergamon Press – Elsevier Science, 2004. – 368 p.
- Kerr R.A.* Carbon dioxide and the control of the ice ages // *Science*. – 1984. – Vol. 223. – P. 1053–1054.
- Kim M.S., Cho Jaeyoon.* Teleporting a quantum state to distant matter // *Science*. – 2009. – Vol. 323, N 5913. – P. 469–470.
- Kirsta Yu.B.* Time-dynamic quantization of molecular-genetic, photosynthesis and ecosystem hierarchical levels of the biosphere // *Ecol. Model.* – 1992. – Vol. 62. – P. 259–274.
- Kirsta Yu.B.* Exchange of information in natural hierarchical systems // *Ecol. Model.* – 1994. – Vol. 73. – P. 269–280.
- Kirsta Yu.B.* Information-hierarchical organization of biosphere and problems of its sustainable development // *Ecol. Model.* – 2001. – Vol. 145. – P. 49–59.
- Kirsta Yu.B.* Information-hierarchical organization of mankind and problems of its sustainable development // *World Futures*. – 2003. – Vol. 59. – P. 401–420.
- Kirsta Yu.B.* System-analytical modeling – P. I : General principles and theoretically best accuracies of ecological models. Soil-moisture exchange in agroecosystems // *Ecol. Model.* – 2006a. – Vol. 191. – P. 315–330.
- Kirsta Yu.B.* System-analytical modeling – P. II : Wheat biotime run and yield formation. Agroclimatic potential, Le Chatelier principle, changes in agroclimatic potential and climate in Russia and the U.S. // *Ecol. Model.* – 2006b. – Vol. 191. – P. 331–345.
- Kirsta Yu.B.* Information-hierarchical organization of natural systems. I. The information-physical principle // *World Futures*. – 2010. – Vol. 66. – P. 459–469.
- Kirsta Yu.B., Kirsta V.Yu.* Information-hierarchical organization of natural systems. II. Futures of Man-Biosphere Interactions and Climate Control // *World Futures*. – 2010. – Vol. 66. – P. 537–556.
- Kirsta Yu.B., Tarabrin V.A.* Real biological time and its calculation in wheat // *Ecol. Model.* – 1994. – Vol. 71. – P. 259–267.
- Knorrenschild M., Lenz R., Forster E., Herderich C.* UFIS: a database of ecological models // *Ecol. Model.* – 1996. – Vol. 86. – P. 141–144.
- Kofler J., Brukner C.* Classical world arising out of quantum physics under the restriction of coarse-grained measurements // *Phys. Rev. Lett.* – 2007. – Vol. 99. 180403 (4 p).
- Kristensen N.P., Gabric A., Braddock R.D., Cropp R.* Is maximizing resilience compatible with established ecological goal functions? // *Ecol. Model.* – 2003. – Vol. 169. – P. 61–71.
- Kristensen S.P.* Multivariate analysis of landscape changes and farm characteristics in a study area in central Jutland, Denmark // *Ecol. Model.* – 2003. – Vol. 168. – P. 303–318.
- Krivtsov V.* Investigations of indirect relationships in ecology and environmental sciences: A review and the implications for comparative theoretical ecosystem analysis // *Ecol. Model.* – 2004. – Vol. 174. – P. 37–54.
- Lee J.H.W., Huang Y., Dickman M.D., Jayawardena A.W.* Neural network modelling of coastal algal blooms // *Ecol. Model.* – 2003. – Vol. 159. – P. 179–201.
- Leonov V.S.* Quantum Energetics. Volume 1. Theory of Superunification. – Cambridge : Cambridge International Science Publishing, 2010. – 745 p.

Lloyd S. Quantum information matters // *Science*. – 2008. – Vol. 319, N 5867. – P. 1209–1211.

López C.E., Romero G., Lastra F. et al. Sudden birth versus sudden death of entanglement in multipartite systems // *Phys. Rev. Lett.* – 2008. – Vol. 101. – Issue 8. 080503 (4 p).

Lovelock J.E., Margulis L. Atmospheric homeostasis by and for the biosphere: The Gaia hypothesis // *Tellus*. – 1973. – Vol. 26. – P. 1–10.

Makarieva A.M., Gorshkov V.G. Biotic pump of atmospheric moisture as driver of the hydrological cycle on land // *Hydrol. Earth Syst. Sci.* – 2007. – Vol. 11. – P. 1013–1033.

Mann M.E., Bradley R.S., Hughes M.K. Global-scale temperature patterns and climate forcing over the past six centuries // *Nature*. – 1998. – Vol. 392. – P. 779–787.

Margulis L. *Early Life*. – Boston : Science Book International, 1982. – 160 p.

Marsili-Libelli S., Guerrizio S., Checchi N. Confidence regions of parameters for ecological systems // *Ecol. Model.* – 2003. – Vol. 165. – P. 127–146.

Matala J., Hynynen J., Miina J. et al. Comparison of a physiological model and a statistical model for prediction of growth and yield in boreal forests // *Ecol. Model.* – 2003. – Vol. 161. – P. 95–116.

Matejicek L., Benesova L., Tonika J. Ecological modelling of nitrate pollution in small river basins by spreadsheets and GIS // *Ecol. Model.* – 2003. – Vol. 170. – P. 245–263.

McNaughton S.J. Stability and diversity in grassland communities // *Nature*. – 1978. – Vol. 279. – P. 351–352.

Mitchell M.W., Lundeen J.S., Steinberg A.M. Super-resolving phase measurements with a multiphoton entangled state // *Nature*. – 2004. – Vol. 429. – P. 161–164.

Möbius K. *Die Austen und die Austernwirtschaft*. – Berlin : Wiegand, Hempel und Parey, 1877. – 126 s.

Monsi M., Saeki N. Über den lightfactor in den pflanzengesellschaften und seine bedeutung für die stoffproduktion // *Jap. J. Bot.* – 1953. – Vol. 14, N 1. – P. 22–52.

Musil J., Novakova O., Kunz K. *Biochemistry in schematic perspective*. – Prague : Avicenum, Czechoslovak Medical Press, 1984. – 215 p.

Nielsen S.N. Thermodynamics of ecosystems interpreted as a hierarchy of embedded systems // *Ecol. Model.* – 2000. – Vol. 135 (2–3). – P. 279–289.

Niklas K.J., Enquist B.J. Canonical rules for plant organ biomass partitioning and annual allocation // *Amer. J. Bot.* – 2002. – Vol. 89. – P. 812–819.

Novikoff A.B. The concept of integrative levels and biology // *Science*. – 1945. – Vol. 101, N 2618. – P. 209–215.

Odum H.T., Pigeon R.F. *A Tropical Rain Forest*. – Oak Ridge : U.S. Atomic energy comm., 1970. – 1600 p.

Olmschenk S., Matsukevich D.N., Maunz P. et al. Quantum teleportation between distant matter qubits // *Science*. – 2009. – Vol. 323, N 5913. – P. 486–489.

Ortega J.M., Rheinboldt W.C. *Iterative Solution of Nonlinear Equations in Several Variables*. – N.Y. ; L. : Academic Press, 1970. – 558 p.

Ozesmi V., Ozesmi S.L. Ecological models based on people's knowledge: A multi-step fuzzy cognitive mapping approach // *Ecol. Model.* – 2004. – Vol. 176. – P. 43–64.

Patten B.C. Systems approach to the concept of environment // *Ohio J. Sci.* – 1978. – Vol. 78. – P. 206–222.

- Peierls R.E.* Surprises in Theoretical Physics. – New Jersey : Princeton University Press, 1979. – 166 p.
- Penning de Vries F.W.T.* Substrate utilization and respiration in relation to growth and maintenance in higher plants // *Neth. J. Agric. Sci.* – 1974. – Vol. 22, N 1. – P. 40–44.
- Potter C.* Predicting climate change effects on vegetation, soil thermal dynamics, and carbon cycling in ecosystems of interior Alaska // *Ecol. Model.* – 2004. – Vol. 175. – P. 1–24.
- Ricard J.* Collective Properties, Networks and Information in Biology. Book series «New Comprehensive Biochemistry». Vol. 41 / Ed. G. Bernardi. – Amsterdam : Elsevier, 2006. – 296 p.
- Robinson A.P., Froese R.E.* Model validation using equivalence test // *Ecol. Model.* – 2004. – Vol. 176. – P. 349–358.
- Salart D., Baas A., Branciard C.* et al. Testing the speed of ‘spooky action at a distance’ // *Nature.* – 2008a. – Vol. 454. – P. 861–864.
- Salart D., Baas A., Houwelingen J.A.W. van* et al. Space like separation in a bell test assuming gravitationally induced collapses // *Phys. Rev. Lett.* – 2008b. – Vol. 100. 220404 (4).
- Santos S.N.M., Costa M.H.* A simple tropical ecosystem model of carbon, water and energy fluxes // *Ecol. Model.* – 2004. – Vol. 176. – P. 291–312.
- Schulte R.P.O., Lantinga E.A., Struik P.C.* Analysis of the production stability of mixed grasslands // *Ecol. Model.* – 2003. – Vol. 159. – P. 43–69.
- Shannon C.E., Weaver W.* The Mathematical Theory of Communication. – Urbana : University of Illinois Press, 1949. – 117 p.
- Shih Y.* The physics of ghost imaging // International conference on quantum information. Optical Society of America. – 2008. – Paper QTuB1 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.opticsinfobase.org/>, свободный.
- Short A.J., Wehner S.* Entropy in general physical theories // *New J. Phys.* – 2010. – Vol. 12. 033023.
- Stocker T.F., Mysak L.A.* Climatic fluctuations on the century time scale: A review of high resolution proxy data and possible mechanisms // *Climate Change.* – 1992. – Vol. 20. – P. 227–250.
- Store R., Jokimaki J.* A GIS-based multi-scale approach to habitat suitability modelling // *Ecol. Model.* – 2003. – Vol. 169. – P. 1–15.
- Suess E.* Die Entstehung der Alpen. – Wien, 1875. – 168 s.
- Svirezhev Yu.M.* Ecosystem as a text: Information analysis of the global vegetation pattern // *Ecol. Model.* – 2004. – Vol. 174. – P. 19–24.
- Systems Analysis and Simulation in Ecology.* – N.Y. ; L., 1972–1974. – Vol. 1–4
- Tansley A.G.* The use and abuse of vegetational concepts and terms // *Ecology.* – 1935. – Vol. 16. – P. 284–307.
- The Internet Sacred Text Archive. Emerald Tablet of Hermes [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.sacred-texts.com/alc/emerald.htm>.
- The Ecosystem Concept in Natural Resource Management / Ed. G.M. von Dyne.* – N.Y. : Acad. Press, 1969. – 383 p.
- Tiller M.N.* Systems theory application in multimedia risk assessment // CER Council ASCE. – Taipei, 1986. P. 413–420.

Timofeeff-Ressovsky N.W. Genetik und Evolution (Bericht eines Zoologen) // Zeitschrift für Induktive Abstammungs- und Vererbungslehre. – 1939. – Bd. 76. – S. 158–218.

Timoshevskii A., Yeremin V., Kalkuta S. New method for ecological monitoring based on the method of self-organizing mathematical models // Ecol. Model. – 2003. – Vol. 162. – P. 1–13.

Todorovski L., Džeroski S., Langley P., Potter C. Using equation discovery to revise an Earth ecosystem model of the carbon net production // Ecol. Model. – 2003. – Vol. 170. – P. 141–154.

Veldkamp A., Verburg P.H. Editorial: Modelling land use change and environmental impact // J. of Environmental Management. – 2004. – Vol. 72. – P. 1–3.

Waller L.A., Smith D., Childs J.E., Real L.A. Monte Carlo assessment of goodness-of-fit for ecological simulation models // Ecol. Model. – 2003. – Vol. 164. – P. 49–63.

Walther P., Pan J.W., Aspelmeyer M. et al. De Broglie wavelength of a non-local four-photon state // Nature. – 2004. – Vol. 429. – P. 158–161.

Watt A.S. Pattern and process in the plant community // J. Ecol. – 1947. – Vol. 35. – P. 1–22.

Williams G.E., Sonnett C.P. Solar signature in sedimentary cycles from the late precambrian Elatina formation Australia // Nature. – 1985. – Vol. 38, N 6046. – P. 523–527.

Winfree A.T. The Timing of Biological Clocks. – N.Y. : Scientific American Books, Inc., 1987. – 199 p.

Wit C.T. de, Goudriaan J. Simulation of ecological processes // Simulation Monographs. – Pudoc, Wageningen, 1978. – 167 p.

Wright S. Evolution in Mendelian populations // Genetics. – 1931. – Vol. 16. – P. 97–159.

Xue Q., Weiss A., Baenziger P.S. Predicting leaf appearance in field-grown winter wheat: Evaluating linear and non-linear models // Ecol. Model. – 2004. – Vol. 175. – P. 261–270.

Yu Ting, Eberly J.H. Sudden death of entanglement // Science. – 2009. – Vol. 323. – P. 598–601.

Zhao Zhi, Chen Yu-Ao, Zhang An-Ning et al. Experimental demonstration of five-photon entanglement and open-destination teleportation // Nature. – 2004. – Vol. 430. – P. 54–58.

Приложение

Данное приложение относится к физике, которая при описании окружающей нас реальности через уравнения не использует категорию информации. В то же время через категорию информации легко выводятся уравнения Шредингера, Дирака и соотношение неопределенностей Гейзенберга, которые физиками просто постулируются.

1. Вывод уравнений Шредингера и Дирака

В квантовой механике категория меры проявляется непосредственно через квантовые свойства микрочастиц (далее – частиц). Согласно информационному закону каждая частица представляет собой самостоятельную систему определенного ИУ и в соответствии с концепцией «материя – мера – информация» эта частица-система должна характеризоваться через категории материи, меры и информации. Взаимодействие частицы с другими материальными объектами означает проявление у нее определенных физических свойств, т.е. передачу информации вовне.

Интегральная мера любого материального объекта представляет собой совокупность частных мер движения, массы, размеров и др. [Концепция..., 2002; Ермилов, Матвеев, 2006]. Взаимодействие объектов, в свою очередь, возможно лишь при наличии определенных, одинаковых для них частных мер. Одинаковая частная мера должна обеспечивать, например, известное гравитационное воздействие темного вещества на обычное (барионное), а отсутствие других одинаковых мер делает первое вещество невидимым для других взаимодействий. Еще одна частная мера обычного вещества отвечает его движению/изменению.

Рассмотрим, например, кванты электромагнитного излучения – фотоны. Они отличаются друг от друга энергией E и периодом T своего цикла движения. Комбинация этих частных мер $E \times T$ является общей для фотонов мерой движения/изменения и известна как универсальная постоянная Планка $h = E \times T$.

В случае движущихся частиц-систем мы имеем аналогичную меру движения/изменения $p \times \lambda = h$, где p – импульс, λ – характерный цикл движения в пространстве (экспериментально обнаружен де Бройлем и назван длиной волны де Бройля). Согласно концепции «материя – мера – информация», именно равенство мер у обоих типов рассмотренных объектов обеспечивает взаимодействие между ними (например, испускание/поглощение фотона электронами в энергетически возбуждаемом атоме):

$$E \times T = p \times \lambda = h . \quad (\text{П.1})$$

В квантовой механике соотношение (П.1) обычно рассматривается как два независимых равенства $p \times \lambda = h$ и $E = h \times \nu$ (где частота $\nu = 1/T$). Справедливость обоих равенств, а значит, и (П.1) для фотонов и частиц подтверждается экспериментальными данными, полученными в квантовой механике, атомной и ядерной физике.

Отметим, что в наших рассуждениях мы не касаемся вопроса «кто» или «что» организовало имеющийся физический мир и не постулируем соотношение (П.1). Мы исходим лишь из экспериментального факта взаимодействия материальных объектов (по крайней мере, для обычного/барионного вещества нашего мира) в рамках концепции «материя – мера – информация».

Организация рассматриваемых материальных объектов должна строиться на основе их цикла движения/изменения как меры. Эта организация характеризуется информацией, формируемой определенной схемой квантования (см. табл. 1.1). Данные объекты при своем движении самодостаточны, т.е. не получают информационных продуктов от предшествующего ИУ (см. п. 1.2). Поэтому для них реализуется только вырожденная схема квантования, когда элементарный цикл движения совпадает с полным циклом схемы квантования. Тем самым цикл движения частиц в пространстве-времени можно рассматривать как цикл первого ИУ информационно-иерархической организации для обычного/барионного вещества, состоящего из протонов, нейтронов и других частиц.

Уравнение Шредингера. Формирование информационных продуктов в каждом цикле движения в пространстве-времени должно обеспечиваться через

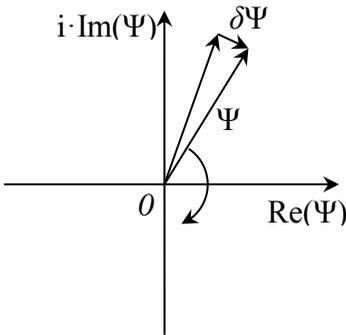


Рис. П.1. Элементарный поворот Ψ -функции движущейся частицы в комплексной плоскости за планковское

время/меру δt :
 $\text{Re}(\Psi)$ – реальная часть Ψ ;
 $\text{Im}(\Psi)$ – мнимая часть Ψ ;
 $\delta\Psi$ – дискретное изменение Ψ ;
 $i = \sqrt{-1}$

частицы-системы. Левое вращение, как мы увидим далее, отвечает античастице.

В соответствии с концепцией «материя – мера – информация» Ψ -функция должна строиться на основе существующих дискретных мер пространства-времени (x, y, z, t) . Возьмем, например, время. Его отсчет в конкретном цикле движения частицы-системы ведется по мере δt , представляющей собой планковское ($t_{\text{пл}} \sim 10^{-44}$ с) наименьшее дискретное приращение/меру координаты време-

явления у частицы-системы определенных физических свойств. Последние мы будем традиционно описывать с помощью некоторой комплексной функции Ψ . Для формирования информационных продуктов Ψ -функция должна изменяться и в пространстве, и во времени (см. п. 1.2). В то же время вид Ψ -функции должен обеспечивать повторяющееся единообразное формирование указанных продуктов для всех циклов движения в пространстве-времени (x, y, z, t) . Тем самым Ψ -функция должна иметь циклический характер вне зависимости от внешних по отношению к частице-системе условий. Поэтому без ограничения общности мы можем искать ее как функцию с одним правым оборотом на комплексной плоскости за один цикл движения

ни t . Поскольку в пределах δt будущее не отличается от прошлого, то модуль математической Ψ -функции для данного δt мы можем полагать постоянным (см. рис. П.1). При этом величина δt будет укладываться определенное число раз в частной мере частицы-системы T – временном периоде ее цикла движения. С точно таким же числом дискретных изменений $\delta\Psi$ в данном цикле, очевидно, должен осуществляться и полный (2π радиан) поворот в комплексной плоскости самой Ψ -функции. Поэтому должно выполняться соотношение:

$$\frac{T}{\delta t} = \frac{2\pi}{i(\delta\Psi)/\Psi} \quad \text{или} \quad \frac{i}{2\pi} \frac{\delta\Psi}{\delta t} = \frac{\Psi}{T}, \quad (\text{П.2})$$

где $i(\delta\Psi)/\Psi$ – элементарный угол поворота Ψ -функции в комплексной плоскости в радианах; $\delta\Psi$ – дискретное изменение Ψ -функции при дискретном изменении времени на δt ; $i = \sqrt{-1}$ – множитель, поворачивающий в комплексной плоскости вектор $\delta\Psi$ влево на угол $\pi/2$ (см. рис. П.1), чем обеспечивается однонаправленность векторов $i(\delta\Psi)$ и Ψ , а значит возможность их деления друг на друга как скаляров. Переходя в (П.2) к традиционным частным производным и учитывая соотношение $h = E \times T$ по (П.1), получаем

$$\frac{ih}{2\pi} \frac{\partial\Psi}{\partial t} = E\Psi. \quad (\text{П.3})$$

Все приведенные рассуждения справедливы как для Ψ -функции, так и для ее частной производной по времени $\frac{\partial\Psi}{\partial t}$. Действительно, согласно информационному закону как структурные элементы информационных продуктов (Ψ), так и их изменения ($\frac{\partial\Psi}{\partial t}$) могут служить в качестве самостоятельной информа-

ционной характеристики систем. Например, знак производной у кривых, характеризующих многолетнюю динамику атмосферных осадков и температур воздуха, непосредственно определяет информацию, переносимую этими климатическими факторами [Кирста Ю.Б., Кирста Б.Ю., 2008]. Кроме того, вектор $\delta\Psi$, так же как и Ψ , делает полный оборот на комплексной плоскости в том же направлении за каждый цикл движения частицы-системы. Тогда можно записать:

$$\frac{i}{2\pi} \frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{\partial\Psi}{\partial t} \right) = \frac{1}{T} \frac{\partial\Psi}{\partial t} \quad \text{или} \quad \frac{-h^2}{(2\pi)^2} \frac{\partial^2\Psi}{\partial t^2} = E^2\Psi. \quad (\text{П.4})$$

Поскольку все координаты в пространстве-времени (x, y, z, t) можно считать равноправными (см. п. 1.1) и существует соотношение $h = p \times \lambda$ согласно (П.1), мы можем по аналогии со временем (t) записать для переменных (x, y, z):

$$\frac{ih}{2\pi} \nabla\Psi = \pm \vec{p}\Psi \quad \text{и} \quad \frac{-h^2}{(2\pi)^2} \nabla^2\Psi = p^2\Psi, \quad (\text{П.5})$$

где $\nabla = \frac{\partial}{\partial x} \vec{i} + \frac{\partial}{\partial y} \vec{j} + \frac{\partial}{\partial z} \vec{k}$ – оператор Гамильтона (набла); $\nabla^2 = \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2}$ – оператор Лапласа; наличие знака «+» или «-» в первом выражении (П.5) зависит от выбора направления координатных осей.

Очевидно, что основывающиеся на концепции «материя – мера – информация» уравнения (П.1), (П.4), (П.5) непосредственно формируют волновой характер Ψ -функции, проявляющийся как волна де Бройля.

Уравнения (П.3)–(П.5) позволяют представить законы классической механики в квантовой/информационной форме через Ψ -функцию. Возьмем закон сохранения энергии

$$E = \frac{p^2}{2m} + U(x, y, z, t),$$

где E , m – полная энергия и масса частицы-системы соответственно, $U(x, y, z, t)$ – потенциальная энергия, отсчет которой ведется от допустимого в пространстве-времени состояния частицы с наименьшей энергией. Из данного уравнения получаем

$$\begin{aligned} \frac{i\hbar}{2\pi} \frac{1}{\Psi} \frac{\partial \Psi}{\partial t} &= \frac{1}{2m} \left(\frac{-\hbar^2}{(2\pi)^2} \frac{1}{\Psi} \right) \nabla^2 \Psi + U(x, y, z, t) \quad \text{или} \\ i\hbar \frac{\partial \Psi}{\partial t} &= \frac{-\hbar^2}{2m} \nabla^2 \Psi + U(x, y, z, t) \Psi, \end{aligned} \quad (\text{П.6a})$$

где $\hbar = h/2\pi$.

Уравнение (П.6a) характеризует движение нерелятивистской квантовой частицы в потенциальном поле, меняющемся в пространстве-времени. Данное уравнение известно как уравнение Шредингера, подтверждено экспериментально и является важнейшим в нерелятивистской квантовой механике. В последней из-за применения менее общей концепции «материя – пространство – время» для описания строения физического мира вместо концепции «материя – мера – информация» уравнение Шредингера просто постулируется [Детлаф, Яворский, 2000]. В свою очередь, П. Эренфестом и другими исследователями [Ehrenfest, 1927; Эренфест, 1972; Kofler, Brukner, 2007] показано, что уравнение Шредингера в предельном случае переходит, по сути, в классический закон движения Ньютона. Тем самым и уравнение Шредингера, и механику Ньютона можно рассматривать в качестве одного из следствий трехчленного (материя – мера – информация) строения мира и дискретности пространства-времени.

В случае релятивистских квантовых частиц легко получить релятивистский аналог уравнения Шредингера. Используя (П.4), (П.5) и релятивистское равенство $E^2 = m^2 c^4 + (pc)^2$, приходим к выражению

$$\nabla^2 \Psi - \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 \Psi}{\partial t^2} - \frac{m^2 c^2}{\hbar^2} \Psi = 0, \quad (\text{П.6б})$$

где m – масса покоя частицы. Полученное уравнение (П.6б) известно как уравнение Клейна – Гордона.

Уравнение Дирака. Рассмотрим общий случай движения релятивистских квантовых частиц (в том числе античастиц) в пространстве-времени (x, y, z, t) , причем имеющих дополнительную характеристику, например спин. Последний выражается в единицах $\hbar = h/2\pi$ как частной одномерной меры частицы-системы. При этом спин может наблюдаться лишь для одного каким-то

образом выделенного направления в пространстве и одновременно не определяется для остальных.

В случае квантовых частиц со спином вместо одной Ψ -функции мы должны рассматривать сразу несколько ее комплексных компонентов, отвечающих разным проекциям спина частицы на какое-либо выделенное направление. Частица со спином S имеет $(2S + 1)$ состояний с различными проекциями S : $-S, -S + 1, \dots, S-1, S$. Поэтому мы можем представить искомые компоненты Ψ -функции в виде вектора (для краткости аргументы x, y, z, t будут опускаться):

$$\Psi(x, y, z, t) \equiv \begin{bmatrix} \Psi_1(x, y, z, t) \\ \Psi_2(x, y, z, t) \\ \dots \\ \Psi_N(x, y, z, t) \end{bmatrix} \equiv \begin{bmatrix} \Psi_1 \\ \Psi_2 \\ \dots \\ \Psi_N \end{bmatrix}, \quad (\text{П.7})$$

где Ψ_n – n -я компонента Ψ -функции, отвечающая определенной проекции спина; $n = 1, 2, \dots, N$; N – общее число компонент, равное $2(2S + 1)$. Здесь число спиновых состояний $(2S + 1)$ умножается на 2, чтобы учесть и правое, и левое вращение Ψ -функции на комплексной плоскости. Очевидно, что через (П.7) для частиц вводится многомерное информационное пространство (ср.: [Davies, 1985]).

При всех взаимодействиях частиц-систем должны выполняться законы сохранения энергии E и импульса p . Поэтому E и p могут использоваться для формирования частных мер Ψ -функции. Тогда характеристикам T и λ цикла движения частиц (волны де Бройля) будут отвечать согласно (П.1) величины h/E и h/p соответственно. Пусть известна проекция спина S частицы на какое-либо направление, а значит, определена соответствующая ей компонента $\Psi_n \neq 0$. Остальные компоненты, отвечающие другим значениям проекции спина, в этом случае не определены. Тогда, используя прежнюю логику о вращении Ψ_n на комплексной плоскости, для частной меры $\delta\Psi_n$ можно написать:

$$\frac{i}{2\pi} \frac{\delta\Psi_n}{\Psi_n} = k_0 \frac{\delta t}{h/E} + k_1 \frac{\delta x}{h/p_x} + k_2 \frac{\delta y}{h/p_y} + k_3 \frac{\delta z}{h/p_z} \quad \text{или}$$

$$\frac{i}{2\pi} \delta\Psi_n = k_0 \frac{\delta t}{h/E} \Psi_n + k_1 \frac{\delta x}{h/p_x} \Psi_n + k_2 \frac{\delta y}{h/p_y} \Psi_n + k_3 \frac{\delta z}{h/p_z} \Psi_n, \quad (\text{П.8a})$$

где $\delta t, \delta x, \delta y, \delta z$ – дискретные меры пространства-времени; $\frac{\delta t}{h/E}, \frac{\delta x}{h/p_x}, \frac{\delta y}{h/p_y},$

$\frac{\delta z}{h/p_z}$ – строящиеся на основе $\delta t, \delta x, \delta y, \delta z$ частные меры частицы с энергией E

и импульсом p ; $\frac{i}{2\pi} \frac{\delta\Psi_n}{\Psi_n}$ – строящаяся на основе частных мер частицы некото-

рая частная мера компоненты Ψ_n , отвечающая минимальной доле полного поворота в 2π радиан на комплексной плоскости (см. рис. П.1); k_0, k_1, k_2, k_3 равны 0, ± 1 в зависимости от свойств и особенностей взаимодействия частицы с внешней средой и выбора системы координат.

В общем случае может существовать любая из компонент Ψ -функции (П.7). Поэтому Ψ -функцию можно рассматривать как характеристику некоторого микрообъекта с энергией E и импульсом p , который состоит альтернативно из частицы или античастицы и имеет ту или иную проекцию спина. Иначе говоря, все возможные квантовые состояния такого микрообъекта, характеризующиеся компонентами Ψ_n , объединены в одну суперпозицию. Подобные суперпозиции, наблюдающиеся у физических объектов, известны под названием «запутанных» квантовых состояний [Lloyd, 2008]. Запутанность квантовых состояний Ψ_n должна иметь место для каждой частной меры в правой части (П.8а) в силу независимого существования этих мер. Кроме того, согласно теории относительности все физические явления должны быть инвариантны относительно поворотов в четырехмерном пространстве-времени Минковского (включая мнимые углы). Этим поворотам отвечают преобразования Лоренца пространственно-временных координат (x, y, z, t) при переходе от одной инерциальной системы отсчета к другой. Исходя из изложенного, уравнение (П.8а) можно переписать как

$$\frac{i}{2\pi} \delta\Psi = (\mathbf{a}_0 \frac{\delta t}{h/E} + \mathbf{a}_1 \frac{\delta x}{h/p_x} + \mathbf{a}_2 \frac{\delta y}{h/p_y} + \mathbf{a}_3 \frac{\delta z}{h/p_z}) \Psi, \quad (\text{П.8б})$$

где $\delta\Psi$ – наименьшее дискретное изменение Ψ -функции; $\mathbf{a}_0, \mathbf{a}_1, \mathbf{a}_2, \mathbf{a}_3$ – матрицы определенного типа размером $2(2S + 1) \times 2(2S + 1)$, элементы которых равны $0, \pm 1, \pm i$ (или другим значениям в зависимости от выбора системы координат). При этом в правых частях выражений (П.8а) и (П.8б) должно сохраниться одинаковое число частных мер, а значит, в каждой строке и столбце матриц $\mathbf{a}_0, \mathbf{a}_1, \mathbf{a}_2, \mathbf{a}_3$ имеется лишь один отличный от нуля элемент.

Выражение (П.8б) представляет собой общее уравнение для Ψ -функций релятивистских частиц, выполняющееся для всего пространства-времени (x, y, z, t) . Получим из него уравнение Дирака для свободного электрона.

Каждая компонента Ψ -функции представляет собой независимый канал передачи информации и должна быть способна самостоятельно передавать информацию вовне другим системам. При передаче информации в пределах каждого цикла движения частицы Ψ_n должна подчиняться соотношениям, полученным при выводе уравнения Шредингера. Тогда

$$i\hbar \frac{\partial \Psi_n}{\partial x} = \pm p_x \Psi_n, \quad i\hbar \frac{\partial \Psi_n}{\partial y} = \pm p_y \Psi_n, \quad i\hbar \frac{\partial \Psi_n}{\partial z} = \pm p_z \Psi_n, \quad (\text{П.9})$$

где индексами x, y, z обозначается принадлежность соответствующим координатам, от выбора которых зависит знак « \pm » правых частей выражений. Перенос h в левую часть выражения (П.8б), деля на δt и учитывая (П.9), получаем:

$$\begin{aligned} i\hbar \frac{\delta\Psi}{\delta t} &= (\mathbf{a}_0 E + \mathbf{a}_1 \frac{\delta x}{\delta t} p_x + \mathbf{a}_2 \frac{\delta y}{\delta t} p_y + \mathbf{a}_3 \frac{\delta z}{\delta t} p_z) \Psi = \\ &= (\mathbf{a}_0 E \pm \mathbf{a}_1 \frac{\delta x}{\delta t} i\hbar \frac{\partial}{\partial x} \pm \mathbf{a}_2 \frac{\delta y}{\delta t} i\hbar \frac{\partial}{\partial y} \pm \mathbf{a}_3 \frac{\delta z}{\delta t} i\hbar \frac{\partial}{\partial z}) \Psi = \end{aligned}$$

$$= (\mathbf{a}_0 E - \mathbf{a}_1 \frac{\delta x}{\delta t} i\hbar \frac{\partial}{\partial x} - \mathbf{a}_2 \frac{\delta y}{\delta t} i\hbar \frac{\partial}{\partial y} - \mathbf{a}_3 \frac{\delta z}{\delta t} i\hbar \frac{\partial}{\partial z}) \Psi, \quad (\text{П.10a})$$

где матрицы $\mathbf{a}_0 = \mathbf{a}_0$, $-\mathbf{a}_1 = \pm \mathbf{a}_1$, $-\mathbf{a}_2 = \pm \mathbf{a}_2$, $-\mathbf{a}_3 = \pm \mathbf{a}_3$. Элементы этих новых матриц по-прежнему принимают значения 0, ± 1 , $\pm i$.

В уравнении (П.10a) величина E как частная мера при релятивистских скоростях частиц должна равняться постоянной характеристике частиц mc^2 (m – масса покоя). Поэтому она не может заменяться «переменным» оператором $\pm i\hbar \frac{\partial}{\partial t}$ (сравни с (П.3)) подобно импульсам p_x , p_y , p_z . В свою очередь,

отношения $\frac{\delta x}{\delta t}$, $\frac{\delta y}{\delta t}$, $\frac{\delta z}{\delta t}$ мы можем заменить мерой скорости света c , предполагая

одновременно дискретность/квантованность и изотропность пространства и учитывая связь категории времени (t) с расстоянием (l) по формуле $l = ct$ (см. главу 1). Тогда

$$i\hbar \frac{\delta \Psi}{\delta t} = (\mathbf{a}_0 mc^2 - \mathbf{a}_1 c i\hbar \frac{\partial}{\partial x} - \mathbf{a}_2 c i\hbar \frac{\partial}{\partial y} - \mathbf{a}_3 c i\hbar \frac{\partial}{\partial z}) \Psi. \quad (\text{П.10б})$$

Здесь $\delta \Psi$ является частной мерой, т.е. наименьшим дискретным изменением для $\Psi = \Psi(x, y, z, t)$. Отсюда следует, что $\delta \Psi$ должна одновременно отвечать любой одной из четырех независимых мер δt , δx , δy , δz при изменении по отдельности t , x , y , z . Как мы увидим, такая неопределенность приводит к известному соотношению неопределенностей Гейзенберга. В результате мы можем, в качестве частного случая, заменить $\frac{\delta \Psi}{\delta t}$ в (П.10б) на частную производную по времени подобно уравнению Шредингера. При такой замене теряется часть информации частицы-системы – именно эта информация переносится через соотношение неопределенностей Гейзенберга (см. ниже). Окончательно получаем:

$$i\hbar \frac{\partial \Psi}{\partial t} = (\mathbf{a}_0 mc^2 - \mathbf{a}_1 c i\hbar \frac{\partial}{\partial x} - \mathbf{a}_2 c i\hbar \frac{\partial}{\partial y} - \mathbf{a}_3 c i\hbar \frac{\partial}{\partial z}) \Psi \quad \text{или}$$

$$i\hbar \frac{\partial \Psi}{\partial t} = (mc^2 \mathbf{a}_0 + c \sum_{j=1}^3 \mathbf{a}_j p_j) \Psi, \quad (\text{П.10в})$$

где $p_j = -i\hbar \partial_j$ – стандартное обозначение трех операторов компонент импульса (по x , y , z).

В случае свободного электрона, имеющего две проекции спина $+1/2$ и $-1/2$, уравнение (П.10в) известно как уравнение Дирака с четырехкомпонентной волновой Ψ -функцией. Как установлено экспериментально, две компоненты описывают электрон, а две – античастицу электрона позитрон. Вторые две компоненты отвечают указанному выше левому вращению Ψ -функции на комплексной плоскости (см. рис. П.1). Левое вращение приводит к появлению у энергии частицы отрицательного знака (сравни с (П.2) и (П.3)), и наличие отрицательной энергии часто интерпретируется как возможность образования и аннигиляции пары частица-античастица. Другая интерпретация, также

вытекающая из левого вращения Ψ -функции, предложена Р. Фейнманом и относит отрицательный знак ко времени. Это позволяет рассматривать позитроны как обыкновенные электроны, перемещающиеся во времени в противоположную сторону. Отметим, что от (П.10в) несложно перейти к уравнению движения электрона во внешнем поле [Ландау, Лившиц, 2002].

Уравнение (П.10в) получено нами без традиционного привлечения выражения для полной энергии E релятивистской частицы:

$$E^2 = (mc^2)^2 + \sum_{j=1}^3 (p_j c)^2, \quad (\text{П.11а})$$

где p_j – компоненты импульса для координат x, y, z соответственно при $j = 1, 2, 3$. В квантовой механике в однозначное соответствие этой энергии по аналогии с (П.3) ставится член $i\hbar \frac{\partial \Psi}{\partial t}$ в уравнении Дирака. Заменяя в (П.11а) E

на $i\hbar \frac{\partial \Psi}{\partial t}$ и используя уравнение (П.10в), получаем

$$(mc^2 \mathbf{a}_0 + c \sum_{j=1}^3 \mathbf{a}_j p_j)^2 = (m^2 c^4 + \sum_{j=1}^3 (p_j c)^2) \mathbf{E}. \quad (\text{П.11б})$$

Из данного равенства сразу следуют известные свойства антикоммутиции матриц и равенства их квадрата единичной матрице \mathbf{E} : $\mathbf{a}_i \mathbf{a}_j + \mathbf{a}_j \mathbf{a}_i = \mathbf{O}$ для всех $i, j = 0, 1, 2, 3$ ($i \neq j$); $\mathbf{a}_i^2 = \mathbf{E}$ для всех $i = 0, 1, 2, 3$.

При выводе уравнения Шредингера и уравнения для Ψ -функции релятивистской частицы переход к частным производным как по пространству, так и времени не является строгим. Производные в этих уравнениях применяются ко всему пространству-времени непрерывным образом и не отражают собственно квантования движения частиц. Поэтому возникает проблема совмещения возможностей используемого математического аппарата и информационно-иерархической организации вещества, которую требуется решать другими средствами.

Рассмотрим, например, квантовый электронный газ в металлах. Проявление информационных свойств частиц-систем в этом газе уже не описывается Ψ -функциями, вместо которых в квантовой механике вводится понятие ячеек фазового пространства (x, y, z, p_x, p_y, p_z). Эти ячейки определяются известным соотношением неопределенности Гейзенберга для импульсов и координат, и экспериментальные данные подтверждают их существование. В фазовом пространстве верхний из занятых электронами энергетических уровней, известный как уровень Ферми, строго определен количественно. Это означает статистически определенный объем ячеек и наличие конкретного значения у соотношения неопределенностей, которое будет нами найдено в п. 1.4.2 (см. уравнение (П.14б)). Согласно (П.14б) соотношение неопределенности обеспечивает передачу информации от каждой частицы-системы вовне другим частицам и системам. Поэтому существование ячеек означает обмен информацией и, следовательно, образование частицами-системами уже газа-системы более высокого ранга. Согласно информационному закону (п. 1.2) цикл дви-

жения отдельных частиц для газа-системы является элементарным, т.е. в нем процессы движения отдельных частиц неразличимы. Именно это приводит к появлению в квантовой механике еще одного положения – уже о неразличимости между собой частиц квантового газа.

В рамках информационно-иерархического подхода квантовый газ с N электронами является системой, включающей N параллельных базовых процессов (БП), состоящих из циклов движения частиц в пространстве-времени (см. рис. 1.1). Информация H для системы из N параллельных БП подчиняется уравнению $H = (1 - H)^N$ [Кирста, 1991]. Поэтому при больших N (сопоставимых с постоянной Авогадро 6×10^{23} моль $^{-1}$) информация H равна 0 с высокой степенью точности, а информация $R = 1 - H$ равна 1. Равенство $H = 0$ означает, что H -продукты в цикле газа-системы не создаются, и поэтому физическое взаимодействие между частицами вне циклов движения частиц не проявляется. Эта ситуация характеризуется в квантовой механике как идеальный Ферми-газ, где соударения частиц непосредственно не рассматриваются в отличие от случая классических молекулярных газов.

В свою очередь, равенство $R = 1$ означает коррелированность/одно-временность циклов движения всех частиц (структурные элементы каждого R -продукта должны находиться в пределах одной фазы, равной по длительности таким циклам). Это позволило при общепринятом объяснении физических свойств квантового газа исключить из указанного выше фазового пространства координату времени, наличие которой, вообще говоря, требовалось бы, исходя из соотношения неопределенностей $\Delta E \Delta T = \frac{2}{e} \hbar$ (см. уравнение (П.14а)). Таким образом, именно информационные свойства газа-системы позволили использовать для его описания понятие фазового пространства вместо Ψ -функций.

Ниже мы увидим, что Ψ -функция не может описать все четыре H -, R -, $|H \ln H|$ -, и $|R \ln R|$ -продукта в цикле движения частицы-системы. В целом, это обусловлено ограниченными возможностями математического аппарата комплексных функций и дифференциальных уравнений, не позволяющего при системном анализе:

- а) одновременно и адекватно характеризовать стохастические/информационные свойства частиц и непрерывность их физических характеристик;
- б) обеспечить непрерывное описание процессов с дискретной трансформацией структуры уравнений при уменьшении (увеличении) шага переменных и смещении тем самым на более низкие (высокие) ИУ в информационно-иерархической организации материальных/природных систем.

Ограниченность аппарата Ψ -функций приводит, например, к известным затруднениям при описания ими многоэлектронных атомов, не говоря уже об электронных оболочках сложных биологических молекул. В последнем случае именно электронные оболочки обеспечивают строго обусловленное в пространстве и времени взаимодействие различных молекул у живых организмов.

Для описания информационно обусловленного поведения квантовых систем, очевидно, потребуются разработка адекватного математического аппа-

рата без указанных недостатков. Эта задача стоит и для систем биохимических реакций в живых организмах. Пока же удалось разработать адекватный математический язык для моделирования сложных экологических систем (см. главы 5, 6).

2. Формирование информации квантовыми физическими системами. Вывод соотношения неопределенностей Гейзенберга

Микрочастицы. Волновые Ψ -функции должны характеризовать отдельный элементарный цикл движения частиц-систем в пространстве-времени. Согласно информационному закону в каждом цикле должно быть единообразное формирование одних и тех же информационных продуктов при различных внешних (по отношению к частице-системе) условиях. Мы покажем, что у частиц образование информационных продуктов для передачи информации вовне другим материальным системам обеспечивается через волновые свойства частиц и соотношение неопределенностей Гейзенберга [Kirsta, 1994].

При вырожденной схеме квантования с $N = 1$ (см. табл. 1.1) значения H и R становятся неопределенными. Поэтому переносимая продуктами информация H_p и R_p подчиняется только условию

$$H_p + R_p = 1,$$

где индекс p означает принадлежность к информационному продукту.

В соответствии с волновыми свойствами квантовой частицы ее движение с энергией E в пределах каждого цикла может быть представлено в виде синусоидальной материально-энергетической волны (волны де Бройля) с периодом цикла $T = h/E$ и частотой $\nu = 1/T$. Оценим информацию H_p волны де Бройля. Здесь мы не можем использовать уравнение (1.4), так как волна не имеет требуемых в (1.4) структурных элементов. Поэтому для оценки информации H_p у волны, имеющей один непрерывный элемент-характеристику, следует воспользоваться эквивалентной интегральной формой уравнения (1.4):

$$H_p = -\int c f(x) \ln[c f(x)] dx, \quad (\text{П.12а})$$

где $f(x)$ – функция от элемента-характеристики x , меняющейся на протяжении характерного периода волны; c – нормирующий множитель, определяемый стандартным образом:

$$\int c f(x) dx = 1. \quad (\text{П.12б})$$

Синусоидальная волна $f(x) = \sin(x)$ имеет две полуволны, являющиеся зеркальным отражением друг друга и несущие эквивалентную информацию H_p . Поэтому для расчета H_p достаточно рассмотреть любую из полуволн. Из условия (П.12б)

$$\int_0^{\pi} c \sin(x) dx = 2c = 1$$

получаем $c = 1/2$. Тогда из (П.12а) следует

$$H_p = -\int_0^{\pi} \frac{\sin(x)}{2} \ln \frac{\sin(x)}{2} dx = 1. \quad (\text{П.12в})$$

Таким образом, волна де Бройля имеет информацию $H_p = H = 1$ и, следовательно, информацию $R_p = (1 - H_p) = 0$. Полученное значение H_p подтверждает, что движение частицы-системы в пространстве-времени квантуется по вырожденной схеме (см. табл. 1.1). Значение $R_p = 0$ означает отсутствие «отсчета» времени, а значит, одновременное присутствие всех циклов движения частицы, т.е. бесконечную волну де Бройля. Очевидно, что именно с H_p и R_p связан неизменный волновой характер Ψ -функций в меняющихся внешних по отношению к частице-системе условиях среды.

Движущиеся частицы одновременно с H и R должны также переносить $|H \ln H|$ и $|R \ln R|$. При вырожденной схеме квантования значения двух последних информационных по отдельности являются неопределенными. Поэтому в соответствии с информационным законом остается лишь общее требование для $(|H \ln H| + |R \ln R|)$, как и для $H + R$ (см. табл. 1.1):

$$|H \ln H| + |R \ln R| = \ln 2. \quad (\text{П.13a})$$

Здесь учтено, что для вырожденной схемы квантования максимально возможное значение выражения $(|H \ln H| + |R \ln R|)$ равно $\ln 2$ (см. табл. 1.1), если значения H , R лежат в интервале $0 \div 1$ и $H + R = 1$. Согласно информационному закону о максимальном накоплении системами информации именно это значение должен иметь $(|H \ln H| + |R \ln R|)$ -продукт частиц-систем. Информация (П.13a) может переноситься лишь в виде (1.5), что позволяет записать

$$|H_p \ln H_p| + |R_p \ln R_p| = \ln \sqrt{2\pi e \sigma_E^2} + \ln \sqrt{2\pi e \sigma_T^2} = \ln 2, \quad (\text{П.13б})$$

где $\sigma_E = \Delta E/E$, $\sigma_T = \Delta T/T$ – стандартные (среднеквадратичные) отклонения измерений энергии частицы E и времени цикла ее движения T , нормированные на значения E и T , соответственно.

В свою очередь, согласно (П.1) E и T связаны между собой условием $E \times T = E/v = h$. Отсюда

$$\begin{aligned} \ln \sqrt{2\pi e \sigma_E^2} + \ln \sqrt{2\pi e \sigma_T^2} &= \ln(2\pi e \Delta E \Delta T / h) = \ln 2 \quad \text{или} \\ 2\pi e \Delta E \Delta T / h &= e^{\ln 2} = 2. \end{aligned}$$

Окончательно имеем

$$\Delta E \Delta T = \frac{2h}{2\pi e} = \frac{2}{e} \hbar. \quad (\text{П.14a})$$

Мы получили известное соотношение неопределенностей Гейзенберга, которое на деле представляет собой точное равенство. В нем стандартные отклонения ΔE и ΔT обеспечивают передачу собственной информации частицы-системы $(|H \ln H| + |R \ln R|)$ вовне другим системам, включая измерительные приборы. Его экспериментальные подтверждения как приближенного соотношения, в частности, обусловлены существованием погрешности проводимых измерений.

Известно, что информация может переноситься через различные физические характеристики материи – массу, энергию, время, собственно организацию систем, длину, буквы алфавита, аминокислоты и т.д. [Kirsta, 1992, 1994,

2003]. При измерениях различных физических характеристик мы можем получить только ту информацию, которая имеется у исследуемой материальной системы. Поэтому, например, при измерениях импульса p и координаты x частицы-системы мы должны получить для них аналогичное соотношение неопределенностей, вытекающее из (П.14а) и математически:

$$\Delta p \Delta x = \frac{2}{e} \hbar. \quad (\text{П.14б})$$

Таким образом, мы охарактеризовали полную информацию квантовых частиц-систем H , R , $|H \ln H|$, $|R \ln R|$, передача которой другим системам выражена как корпускулярно-волновой дуализм и соотношение неопределенностей. Данные свойства частиц, очевидно, являются прямой реализацией информационного закона для квантовых физических систем с вырожденной схемой квантования.

Отметим, что информационный закон полностью снимает логический конфликт между наличием у частицы однозначной Ψ -функции (волны де Бройля) и одновременно подчинением характеристик частицы соотношению неопределенностей, противоречащему однозначности. В данном случае у Ψ -функции «потеряна» информация ($|H \ln H| + |R \ln R|$), переносимая через соотношение неопределенностей (П.14). Эта потеря, очевидно, произошла из-за игнорирования конечности физических мер у частицы при переходе в (П.3)–(П.10) к частным производным (отвечающим нефизическим бесконечно малым изменениям характеристик частицы-системы). Отметим также, что из-за неадекватности Ψ -функций реальным квантовым объектам возникают проблемы математического описания более сложных, чем частица, объектов, которые в физике решаются через различные феноменологические подходы и теории.

Энергетически возбужденные системы. Рассмотрим другой пример реализации информационного закона – квантовую динамическую систему с одним энергетически возбужденным состоянием. В этом состоянии она, как и микрочастицы, не получает информационных продуктов от какого-либо низшего ИУ и имеет вырожденную схему квантования. Ее информационным продуктом являются кванты энергии (электромагнитные волны – фотоны), излучаемые при переходе системы в основное невозбужденное состояние. Возможность переноса информации о состоянии квантовых систем (атомов) посредством фотонов экспериментально подтверждается, например, в случае запутанных атомов [Kim, Cho, 2009; Olmschenk et al., 2009].

Для фотонов как электромагнитных волн применимы все рассуждения, приведенные выше для волн де Бройля, и поэтому каждый фотон переносит информацию $H_p = H = 1$ и $R_p = (1 - H_p) = 0$. Ту же информацию мы должны получить и при измерении распределения энергии между электрической и магнитной составляющими электромагнитной волны. Энергия делится поровну между этими составляющими [Физическая энциклопедия, 1988]. Тогда величина H_p может быть оценена согласно (1.4) как

$$H_p = -\left(\frac{1}{2} \ln \frac{1}{2} + \frac{1}{2} \ln \frac{1}{2}\right) / \ln 2 = 1.$$

Мы, естественно, получили то же самое значение $H_p = 1$.

Фотон является общим информационным продуктом энергетически возбужденной квантовой системы, и, теоретически, помимо информации $(H_p + R_p)$ он должен также переносить информацию $(|H \ln H| + |R \ln R|)$. Тогда в соответствии с (П.14б) при световой скорости c и импульсе $p_\phi = \hbar\omega/c$ для него должно выполняться соотношение неопределенностей:

$$\Delta p_\phi \Delta x = \frac{\hbar \Delta \omega}{c} \Delta x = \frac{2}{e} \hbar \quad \text{или} \quad \Delta \omega \Delta x = \frac{2}{e} c. \quad (\text{П.15а})$$

Мы получили известное характерное для атомов излучение света в виде цугов электромагнитных волн с разбросом циклических частот $\Delta\omega$ и протяженностью в пространстве Δx , составляющей 1–10 м [Детлаф, Яворский, 2000]. Таким образом, фотоны обеспечивают перенос как информации $(H_p + R_p)$, так и $(|H \ln H| + |R \ln R|)$. Существование у фотонов информации $(|H \ln H| + |R \ln R|)$ обуславливает также появление неустранимых шумов у световых потоков, которые формируют квантово-механически запутанные пары изображений [Boyer et al., 2008]. Это проявляется в форме соотношения неопределенностей для интенсивности E и фазы φ световых волн, создающих данные изображения:

$$\Delta E \Delta T = \frac{2\hbar}{2\pi e} \quad \text{или} \quad \Delta E(2\pi\Delta T) = \Delta E \Delta \varphi = \frac{2}{e} \hbar. \quad (\text{П.15б})$$

Информацию $(H_p + R_p) = 1$, как и $(|H_p \ln H_p| + |R_p \ln R_p|) = \ln 2$, мы должны получать при любых измерениях квантовой системы с вырожденной схемой квантования (см. табл. 1.1). Например, информация $(|H_p \ln H_p| + |R_p \ln R_p|)$ может формироваться через энергию E и время существования τ возбужденного состояния (цикла) системы. Проанализируем ситуацию на примере спонтанного излучения энергетически возбужденных атомов.

Согласно экспериментальным данным вероятность p испускания фотона электроном при переходе с одной атомной орбиты на другую, более низкую, постоянна во времени. Воспользуемся для этой вероятности стандартным условием нормировки, учитывая существование меры времени T – периода волны де Бройля у электрона:

$$\int_0^\tau p dt = p \int_0^\tau dt = p\tau = 1, \quad \text{откуда} \quad p = \frac{1}{\tau},$$

где τ – время существования энергетически возбужденной системы (в спектроскопии τ характеризуется через среднее значение для ансамбля одинаковых систем); t – время; обе характеристики измеряются в единицах (мерах) периода T волны де Бройля электрона на орбите.

В соответствии с интегральной формой оценки информации (П.12а) значение $|R_p \ln R_p|$ должно составить

$$\left| R_p \ln R_p \right| = - \int_0^\tau \frac{1}{\tau} \ln \frac{1}{\tau} dt = - \frac{1}{\tau} \ln \frac{1}{\tau} \int_0^\tau dt = - \ln \frac{1}{\tau} = \ln \tau = \ln \frac{\tau_n}{T},$$

где τ_n – общепринятое обозначение времени τ существования электрона на орбите с главным квантовым числом n , измеряемое в секундах; T – период волны де Бройля, также измеряемый в секундах.

Искомая информация $(|H_p \ln H_p| + |R_p \ln R_p|)$ для вырожденной схемы квантования по аналогии с (П.13б) будет равна

$$|H_p \ln H_p| + |R_p \ln R_p| = \ln \sqrt{2\pi e \sigma_E^2} + \ln \frac{\tau_n}{T} = \ln(\sqrt{2\pi e} \sigma_E \frac{\tau_n}{T}) = \ln 2.$$

Учитывая, что $\sigma_E = \Delta E/E$, а также $E \times T = h$ согласно (П.1), получаем

$$\sqrt{2\pi e} \sigma_E \frac{\tau_n}{T} = \sqrt{2\pi e} \frac{\Delta E \tau_n}{ET} = \sqrt{2\pi e} \frac{\Delta E \tau_n}{h} = e^{\ln 2} = 2 \quad \text{или}$$

$$\Delta E \times \tau_n = \frac{2h}{\sqrt{2\pi e}}, \quad (\text{П.16})$$

где ΔE – стандартное отклонение у возможных значений энергии E электрона в энергетически возбужденном состоянии атома, называемое естественной шириной энергетического уровня. Значения ΔE определяют естественную ширину спектральных линий, выражающуюся через варьирование энергий излучаемых фотонов.

Мы вновь пришли к выраженному как равенство (П.16) соотношению неопределенностей, но уже в отличной от (П.14а) форме. Оно справедливо для энергетически возбужденных квантовых систем, передающих вовне ту же информацию о вырожденной схеме квантования, что и частицы-системы. В равенстве (П.16), определяющем естественную ширину спектральных линий, мы избежали общепринятого нарушения научной логики. Последняя нарушается, когда неопределенная величина ΔT в общепринятом соотношении неопределенностей $\Delta E \times \Delta T \sim h$ заменяется строго определенной величиной τ_n , обратной соответствующему коэффициенту Эйнштейна для спонтанного излучения [Детлаф, Яворский, 2000].

Запутанные квантовые объекты. В квантовой механике с помощью волновых Ψ -функций описываются характеристики/информация как отдельных частиц-систем, так и их совокупностей. К последним относятся и квантово-механически запутанные объекты. Одним из признаков качественного отличия информации от материи может служить скорость ее передачи между квантовыми объектами. Эксперименты показали, что скорость обмена информацией между двумя квантово-механически запутанными фотонами может значительно превышать скорость света [Salart et al., 2008a, b]. Данные результаты должны еще подтвердиться рядом независимых экспериментов. Но в любом случае они не нарушают основ теории относительности Эйнштейна, имеющей дело только с категорией материи.

Квантово-механически запутанные объекты представляют собой такие же информационные продукты квантовых систем. Помимо исходной «собственной» информации на эти продукты тем или иным образом наложена дополнительная информация. Последняя формируется в полном соответствии с информационно-иерархическим подходом с помощью искусственно созданных иерархически высоких квантово-механических систем. Единственным отличием этих систем от рассматриваемых в данной работе является их неэволюционное происхождение и обладание информацией, отличной от эволюци-

онно устойчивых обобщенных золотых сечений (см. табл. 1.1). Это является, в частности, одной из причин нестабильности запутанных квантовых объектов [Yu, Eberly, 2009]. В существующих экспериментах при запутывании квантовых объектов на них обычно накладывается только один тип информации из возможных четырех. В терминах квантовой механики эта совокупная информация отвечает некоторой единой Ψ -функции, зависящей от исходных Ψ -функций объектов и условий конкретного эксперимента. Данная Ψ -функция по-прежнему имеет волновой характер, т.е. сохраняет имеющуюся до запутывания «собственную» информацию объектов согласно (П.12в). Отметим, что нет никаких принципиальных ограничений ни на тип, ни на количество накладываемой информации. Последняя может передаваться и дальше на другие квантовые объекты [Zhao et al., 2004; Lopez et al., 2008; Olmschenk et al., 2009] в полном соответствии с концепцией «материя – мера – информация». Рассмотрим ситуацию на примере запутанных фотонов.

Запутанными могут стать два и более фотона [Mitchell et al., 2004; Walther et al., 2004; Zhao et al., 2004]. Запутать их можно с помощью каскада возбужденных энергетических атомных уровней [Aspect et al., 1981], равновероятного волоконного разветвителя [Salart et al., 2008b], зеркала, с одинаковой вероятностью их отражающего и пропускающего [Olmschenk et al., 2009], или иными способами. При всех способах сохраняется информация, имеющаяся у фотонов до запутывания. Например, согласно экспериментальным данным N запутанных фотонов с одинаковыми длинами волн взаимодействуют с внешними макроскопическими системами как единый квант с длиной волны в N раз меньшей [Walther et al., 2004]. Очевидно, он переносит ту же информацию, что и каждый фотон до запутывания.

Возьмем ставший классическим опыт А. Аспекта [Aspect et al., 1981] по проверке известных неравенств Белла [Bell, 1964]. Выполнение неравенств означало бы, что у каждого из квантово-механически запутанных и дистанционно разделенных объектов еще до измерения существуют реальные динамические свойства (параметры), и между ними нет передачи информации. Это представление принято называть «локальным реализмом». Опыт А. Аспекта, как и десятки других экспериментов, показал нарушение неравенств и передачу информации между запутанными объектами при измерениях одного из них. В своем эксперименте А. Аспект одновременно измерял направления поляризации двух запутанных фотонов, испущенных каскадом возбужденных энергетических уровней изотопа ^{40}Ca и движущихся в разные стороны. В результате эксперимента он получил синусоидальную форму корреляции их линейных поляризаций. Очевидно, что синусоидальная зависимость соответствует рассмотренной нами в (П.12) информации $H_p = 1$, переносимой фотонами по отдельности.

Формулировка Беллом своих неравенств, лишь постепенно признанных физическим сообществом, была связана с необходимостью проверки известного парадокса Эйнштейна – Подольского – Розена [Einstein et al., 1935]. Этот парадокс возникал в мысленном эксперименте, нарушающем альтернативно либо законы квантовой механики (информационный закон), либо постулаты теории относительности. Современная трактовка парадокса – это возможность

мгновенной передачи информации от одной из запутанных частиц к другой при выполнении каких-либо измерений первой (иначе – это мгновенная редукция их общей волновой Ψ -функции). Авторы парадокса, предполагая невозможность мгновенных скоростей, показали неполноту описания микромира вероятностным аппаратом Ψ -функций. А. Эйнштейн говорил об этом словами, что никогда не поверит в «бога, играющего в кости». Мы видим, что в целом он прав, поскольку квантовая механика имеет дело со строго определенной информацией, но никак не с «костями». Кроме того, выше указывалось, что волновые Ψ -функции неполны из-за «потери» ими информации ($|H \ln H| + |R \ln R|$) при переходе в уравнениях (П.3)–(П.10) к частным производным. Именно из-за этого аппарат Ψ -функций в квантовой механике должен использоваться совместно с соотношениями неопределенностей Гейзенберга (П.14)–(П.16), тем самым отражая все четыре типа квантовой информации частиц (см. табл. 1.1). Таким образом, теория квантовой информации может стать искомой полной теорией, на существование которой надеялись А. Эйнштейн, Б. Подольский и Н. Розен [Einstein et al., 1935].

Рассмотрим теперь скорость передачи произвольной информации, накладываемой на запутанные пространственно разделенные квантовые объекты. Выше отмечено, что экспериментально определяемая скорость передачи квантовой информации между такими объектами значительно (не менее чем в 10^4 раз) превышает скорость света [Salart et al., 2008a]. В качестве объектов возьмем запутанные световые пучки, формирующие пару запутанных пространственно разделенных изображений [Boyer et al., 2008; Shih, 2008]. Пучки и изображения характеризуются квантовой информацией ($|H \ln H| + |R \ln R|$), выраженной в форме соотношения неопределенностей комплементарных характеристик – в нашем случае это уравнение (П.15б) для интенсивности и фазы световых волн. Современные квантово-механические технологии позволяют при измерениях значительно уменьшить неопределенность/шум одной из характеристик за счет увеличения неопределенности второй. Такая процедура называется сжатием неопределенности («squeezing»). Пусть мы измеряем с разной точностью фазу волн у отдельных участков (получено до 100 участков) одного изображения. Тогда мы мгновенно изменяем неопределенность интенсивности волн на соответствующих участках второго изображения, пространственно удаленного от первого. Данным образом мы можем передать произвольную информацию, например сообщение азбукой Морзе, через целенаправленную модификацию на каждом участке второго изображения, скажем, имеющегося там знака «+»: на каждом участке знак остается или «расплывается» до серого фона вследствие наших действий с первым изображением. Тем самым, учитывая сверхсветовую скорость передачи квантовой информации, мы получаем принципиальную возможность такой же скорости и для информационных коммуникаций между предварительно разделенными в пространстве приемником и передатчиком информации. Отметим, что сейчас активно идет разработка соответствующих технологий квантово-механических информационных коммуникаций для: а) создания защищенных от несанкционированного доступа каналов связи; б) передачи данных дистанционного зондирования в отсутствие какого-либо физического контакта между приемником

и передатчиком информации; в) конструирования квантовых компьютеров и многое другое. В случае дальнейших экспериментальных подтверждений сверхсветовых скоростей передачи квантовой информации значение таких технологий для развития общества, очевидно, трудно переоценить.

Неопределенность экспериментальных измерений. Следует особо остановиться на существующих в квантовой механике представлениях о том, что в соотношении неопределенностей (П.14) для микрочастиц при уменьшении одного из стандартных отклонений измеряемых физических характеристик второе должно неограниченно возрастать.

Согласно (1.5) и требованию положительности информации мы можем записать:

$$0 \leq \ln \sqrt{2\pi e \sigma^2} \quad \text{или} \quad 0,242 \leq \sigma, \quad (\text{П.17})$$

где σ – нормированное стандартное отклонение физической характеристики. Отсюда очевидно, что получаемая измерительным прибором-системой информация (1.5) принимает положительные значения только при σ больше 0,242. При нахождении σ в интервале $0 \div 0,242$ информация (1.5) как таковая равна нулю независимо от количества измерений. Этот случай подобен известному положению, когда повторные измерения постоянной величины дают нулевую информацию [Шеннон, 1963]. Пусть мы проводим точное измерение одной из характеристик в соотношении неопределенностей так, что ее нормированное стандартное отклонение становится меньше 0,242. Тогда в соответствии с уравнениями (П.13) и (П.17) для отклонения σ второй характеристики будет выполняться:

$$\ln \sqrt{2\pi e \sigma^2} = \ln 2, \quad \pi e \sigma^2 = 2, \quad \sigma = 0,484.$$

Отсюда следует вывод о том, что любое улучшение точности измерений одной из характеристик в соотношении неопределенностей (П.14) приводит лишь к ограниченному возрастанию нормированного стандартного отклонения у второй характеристики до 0,484. В связи с этим необходимо пересмотреть, например, нарушающее логику традиционное представление о том, что в момент точного измерения импульса ($\Delta p \rightarrow 0$) частица может перемещаться далеко за пределы области проводимых измерений ($\Delta x \rightarrow \infty$). Очевидно, что введение информационных принципов в инструментальные измерения в квантовой механике сможет обеспечить более корректную постановку опытов и интерпретацию экспериментальных данных.

Информационный закон снимает ряд проблем и противоречий как в измерениях характеристик квантовых физических систем, так и в конструировании вычислительной техники. Например, можно изменять соотношение неопределенностей путем квантового запутывания и введения этим новой информации в данное соотношение [Berta et al., 2010]. Существует также теоретическая возможность неограниченного уменьшения и размеров, и времени одного цикла операции у элементов памяти/процессора компьютеров, что мы видим и на практике.

Таким образом, при взаимодействии квантовых физических систем (микрочастиц, атомов и др.) между собой или с измерительными приборами

происходит обмен имеющейся у них квантовой информацией, который осуществляется на основе одной из универсальных мер – постоянной Планка. При этом частицами передается вовне информация H , R , $|H \ln H|$, $|R \ln R|$, определяемая непосредственно схемой квантования их организации/движения (см. табл. 1.1). Тем самым реализуется информационно-физический закон, выражающийся в квантовом мире в форме корпускулярно-волнового дуализма частиц и принципа неопределенностей Гейзенберга. Отметим, что закон выглядит более физичным и простым, чем, например, «логика для квантовой информации», развитая в работе [Baltag, Smets, 2010]. Его выполнение является приоритетным подобно закону сохранения энергии, как например, в случае проникновения частицы сквозь потенциальный барьер согласно уравнению Шредингера (туннельный эффект). В связи со всем изложенным, квантовую механику можно одновременно называть квантово-информационной.

Отметим, что квантовая информация, выражаемая через Ψ -функции и соотношение неопределенностей, полностью аналогична информации, которая обуславливает функционирование биологических систем. Это означает, что появляется принципиальная возможность встраивания квантовых устройств в природные молекулярно-генетические системы [Kirsta, 1992] для управления их динамикой. Например, такие устройства могут использоваться для регуляции активности ДНК или отдельных генов с помощью электромагнитных волн (фотонов) как носителей определенной информации. Подобный перенос информации электромагнитными волнами в живых клетках впервые был обнаружен академиком В.П. Казначеевым и Л.П. Михайловой [1985]. Возможно также использование биологических компонентов в квантовых компьютерных технологиях.

Современная вычислительная техника значительно упрощена по сравнению с организацией природных систем. В целом квантово-физические процессы характеризуются четырьмя типами информации: H , R , $|H \ln H|$, $|R \ln R|$. Для вычислительных устройств H отвечает определенным энергетическим характеристикам компьютерных подсистем, участвующих в вычислительном процессе и выражается через значение $0/1$ в ячейках памяти компьютера. R отвечает минимальному временному шагу изменения этих энергетических характеристик. Значения R задаются неявно генератором тактовой частоты компьютера ($R = 0$ при незавершенном такте, и $R = 1$ по окончании такта). Что касается природных систем, то в их информационном обмене участвуют еще два типа информации: $|H \ln H|$ и $|R \ln R|$ (см. табл. 1.1). Первый отвечает стохастическим флуктуациям энергетических/вещественных характеристик специализированных информационных носителей, а второй – стохастическим флуктуациям времени формирования этих носителей (п. 1.2).

Информационные процессы, выраженные как через схемы квантования циклической динамики систем (см. табл. 1.1 и 1.2), так и через межсистемный обмен информационными энергетическими и временными продуктами, имеют место на всех уровнях информационно-иерархической организации эволюционно развитых материальных систем. Очевидно, что в качестве первого уровня информационно-иерархической организации обычной/барионной материи можно рассматривать уровень микрочастиц, имеющих вырожденную схему

квантования (см. табл. 1.1). Именно в пределах этого уровня рассматриваются квантовой физикой законы трансформации материи и энергии. Разработанная теоретическая база может использоваться для выяснения более высоких иерархических уровней, следующих после уровня микрочастиц. Такие уровни должны существовать, например, в многоэлектронных оболочках ДНК.

Напомним также, что информационными энергетическими и временными продуктами энергетически возбужденных квантовых систем являются электромагнитные волны – фотоны. Именно фотоны как носители энергии формируют всю иерархически структурированную биосферу Земли. Поэтому на важность Солнца для биосферы дважды указывается в завещании Гермеса Трисмегиста.

Выводы

1. Показано, что волновые свойства микрочастиц и принцип неопределенности Гейзенберга являются частными случаями проявления информационного закона в физическом квантовом мире. Микрочастицы с их квантовыми/информационными свойствами формируют вырожденный ИУ организации «видимой» материи, который может быть отнесен к первому ИУ информационно-иерархической организации природных систем. Областью строения материи в пределах этого уровня занимается квантовая физика со своими законами построения материальных объектов.
2. Используя концепцию «материя – мера – информация», существование волны де Бройля и предельно малых длины и времени Планка, выведены уравнения Шредингера и Клейна – Гордона как квантовой/информационной формы классического закона сохранения энергии в терминах Ψ -функций.
3. Исходя из концепции «материя – мера – информация» и информационного закона, предложено общее уравнение для Ψ -функций релятивистских частиц, из которого в качестве частного случая получено уравнение Дирака.
4. Соотношение неопределенностей обеспечивает передачу содержащейся у квантовых объектов информации другим материальным системам. Показано, что оно является точным равенством, зависящим от природы объекта. Экспериментальные измерения в квантовой механике представляют собой получение информации об организации квантовых объектов, которая выражается через их корпускулярно-волновой дуализм и соотношение неопределенностей Гейзенберга.
5. Поскольку волновая Ψ -функция и соотношение неопределенностей Гейзенберга характеризуют передачу разных типов информации ($H + R$ и $|H \ln H| + |R \ln R|$), то отвечающие им уравнения должны рассматриваться независимо, как это и сложилось в практике физических исследований.
6. Теоретически обоснована возможность неограниченного уменьшения как размеров элементов памяти и процессоров, так и времени цикла операций компьютерных устройств.
7. Квантовая информация, выражаемая через Ψ -функции и соотношение неопределенностей, подобна информации, лежащей в основе функционирования биологических систем. Одинаковый тип информации квантовых и биологических систем открывает перспективы интеграции квантовых

компьютерных устройств и молекулярно-генетических систем живых организмов в одно целое.

8. Охарактеризована новая научная область исследований – квантово-информационная физика, в рамках которой снимается ряд логических противоречий квантовой механики. Она может войти в основу нового научно-технологического направления, известного как NBIC-конвергенция и объединяющего нано-, био-, инфо- и когнитивные технологии в единую область исследований.

Научное издание

**Юрий Богданович Кирста,
Богдан Юрьевич Кирста**

**ИНФОРМАЦИОННО-ФИЗИЧЕСКИЙ ЗАКОН
ПОСТРОЕНИЯ ЭВОЛЮЦИОННЫХ СИСТЕМ.
СИСТЕМНО-АНАЛИТИЧЕСКОЕ
МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭКОСИСТЕМ**

Монография

Издание второе, исправленное и дополненное

Редактирование и подготовка
оригинал-макета: *Е.М. Федяева*

ЛР 020261 от 14.01.1997 г.

Подписано в печать 10.07.2014. Формат 60x84/16.

Бумага офсетная. Усл. печ. л. 16,5.

Тираж 300 экз. Заказ 1802.

Отпечатано в типографии «Концепт»,
656049, г. Барнаул, пр-т Социалистический, 85,
т./ф.: (3852) 36-82-51, concept-print.ru

Издательство Алтайского государственного университета