

АЛЕКСАНДР КОНОВАЛОВ

ОБЩИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ РАЗВИТИЯ
ЭКОГЕОСИСТЕМ
(ДЕФОРМАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ)

PALMARIUM ACADEMIC PUBLISHING

Saarbrücken 2012

ОГЛАВЛЕНИЕ

<i>Предисловие</i>	6
<i>Введение</i>	12
Глава 1. ЭКОГЕОСИСТЕМЫ.	16
Общее представление и свойства	16
Структура, деформация, разрушение.	18
Полный (жизненный) и элементарный циклы	24
Подобие экосистем	27
Взаимодействие между подсистемами и внешним окружением	31
Соотношения внешних и внутренних граничных условий	36
Открытые и закрытые системы	37
 Глава 2. ЦИКЛИЧНОСТЬ И СТАДИЙНОСТЬ.	44
Природа цикличности.	44
Автоколебания, упругость и сукцессия.	46
Вращательные циклы Земли и возрастная стадийность экосистем.	50
Скрытая форма развития	55
Циклы и темпы развития, их отражение и восприятие ...	58
Развитие идеи цикличности и стадийности	62
Животворная сила воды	69
Мерзлотная модель “жизненного” цикла.	75
Солнечно-лунно-земные связи	84
Шкалы и регулярность циклов	86

Глава 3. ЭНТРОПИЯ И ТЕПЛОЕМКОСТЬ	94
Общие положения.	94
Соотношение теплоемкости и энтропии во времени . . .	100
Энтропия нематериальных систем.	103
Аналоги энтропии	107

Глава 4. МЕХАНИЧЕСКАЯ (ДЕФОРМАЦИОННАЯ) МОДЕЛЬ РАЗВИТИЯ	112
Общие терминология и представления для описания систем живой и неживой природы.	112
Деформация мерзлого тела как механическая модель развития.	114
Два механизма разрушения, формулы прочности и долговечности.	121
Фазовое равновесие и длительная прочность	132
Регулирование температуры мерзлых грунтов для повышения их прочности	143

Глава 5. ДЕФОРМАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ РАДИАЛЬНОГО РОСТА ДЕРЕВЬЕВ	147
Годовые кольца	147
Закономерности радиального роста	148
Плотность	159
Удельная и объемная масса	161
Интерпретация характерных параметров деформационных кривых (модель 1)	164
Интерпретация характерных параметров деформационных кривых (модель 2)	167

Биологическая долговечность τ_m	168
Сезонный ход скорости прироста и радиуса дерева	170

Глава 6. ОБЩЕЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ О ВЗАИМОДЕЙСТВИИ КОМПОНЕНТОВ ЭКОГЕОСИСТЕМ

Взаимодействие частиц в системе.	176
Обобщенные Золотые сечения	178
Золотое сечение.	182
Проявления обобщенных Золотых сечений	196
“Фибоначчиевы” последовательности	201

Глава 7. ОБОБЩЕНИЕ ДАННЫХ.

Формула обобщения	208
Циклические системы	209
Годовой цикл температуры воздуха.	211
Монотонные кривые	213
Масса зелени и диаметр.	217
Многолетний и сезонный прирост диаметра дерева . . .	219
Удельная продуктивность и возраст	222
Густота насаждений, фитомасса и диаметр ствола . . .	224
Диаметр, высота и объем ствола	227
Переход к размерным величинам.	229
Деформация и прочность мерзлых грунтов	231
Температуры кристаллизации и давление.	234
Давление и температуры переохлаждения газогидратов	237

<i>Заключение</i>	238
<i>Литература</i>	244

ПРЕДИСЛОВИЕ

Так до сих пор не уделено серьезного внимания такому кардинальному вопросу: какие законы лежат в основе того парадоксального факта, что явления различных классов, относящихся технике, живой природе и обществу, развиваются и действуют на основе одних и тех же общих принципов функционирования?

П.К. Анохин

В последние десятилетия обострилась проблема устойчивости природной среды. Стало очевидным, что современный науднотехнический прогресс достигнут за счет экологического регресса. Науднотехническая революция и связанный с ней безудержный рост потребления энергии и материалов вызвали разбалансирование естественных круговоротов энергии и вещества и невосполнимое истощение природных ресурсов. На угрозу экологической катастрофы научная мысль отреагировала экологизацией наук, мышления. Возникли новые научные дисциплины – геоэкология, глобальная экология, социальная экология и др., исследующие разные стороны взаимодействия человека с окружающей природной и социальной средой. В предметную сферу этого комплекса экологических наук или общей экологии, понимаемой как наука о взаимодействии живой и неживой природы, входят взаимосвязанные гео, био и социосистемы разного ранга,

которые можно объединить названием *экогеосистема*. Практически – это все системы, существующие в пределах биосферы. Такая “всеядность” экологии, востребованность и большой общественный интерес к ней объясняются тем, что экология – не только научная дисциплина, но и новая идеология, имеющая всеобщий, надклассовый и наднациональный характер, цивилизационная парадигма, нарождающаяся в ответ на угрозу глобальной катастрофы и постепенно овладевающая массовым сознанием.

Привнесение в геонимические науки в качестве предмета изучения антропоного (человеческого) фактора, так же как и в общественные науки, – природного, повлекло массу методологических трудностей, поскольку неживая и живая природа, а особенно человек традиционно рассматриваются как абсолютно разные системы, требующие разных подходов, методов и аппарата исследований. Но если абстрагироваться от состава слагающих экогеосистемы частиц (субсистем) и механизма их взаимодействия, то их можно представить совокупностями гибких подвижных связей частиц, обладающими определенной активностью (энергией), которой они обмениваются со своим окружением. При этом деформируются, рвутся и воссоединяются только связи, сами частицы – условные элементы, не меняются. Тогда развитие экогеосистем можно рассматривать

обобщенно (независимо от их природы) как результат энергообмена с внешней средой. Такой подход используется в общем виде в термодинамике и синергетике. Он удобен тем, что позволяет анализировать и выявлять общие закономерности развития сложных систем разной природы, используя какуюто одну, относительно простую (ключевую, базовую) модель. “Развитие междисциплинарных подходов... очень близко по форме и существу к преподаванию или научной популяризации. В обоих случаях приходится осмысливать пройденный исследователями путь, выделять в нем ключевые идеи и результаты, ...выбрасывать многочисленные подробности”, – пишут по этому поводу С.П. Капица и др. [22, с. 14]. Подобные приемы используются во многих отраслях научно-производственной деятельности. Например, при ландшафтной и мерзлотной съемке широко применяется метод ключевых участков. Ключевые участки – это “частицы” местности, состав, строение и свойства которых типичны (подобны при определенной степени генерализации) для всей территории. Другими словами, – это упрощенные модели целого, общего. На модели ставят опыты, ведут наблюдения и получают конкретные результаты, которые затем теоретически обобщаются и распространяются на сложные экогеосистемы. В качестве такой ключевой

(экспериментальной) модели в книге использовано твердое (“мерзлое”) тело, конкретно – мерзлый грунт, деформирующийся под нагрузкой. Выбор этой модели обусловлен ее доступностью и близостью реальных температур к точке плавления, а потому и малой и легко регулируемой длительностью “жизненного” цикла.

В отличие от механических систем изменение размеров живых систем сопровождается увеличением (или уменьшением) массы. Но это не влияет на общие, видимые, закономерности изменения формы тела при различных воздействиях, в том числе при увеличении (или уменьшении) его массы, которое можно заменить эквивалентной растягивающей (или сжимающей) нагрузкой. По существу, речь идет о том, что по изменению формы системы можно судить и об изменениях ее внутреннего содержания.

Используемый подход назван деформационным, поскольку основывается на исследовании деформации системы под действием внешних условий. При этом деформация понимается как изменение любых параметров системы, не только ее формы и размеров, но и состояния, определяющего фазу развития.

В связи с этим в книге рассматривается широкий круг вопросов, связанных с устойчивостью (гармонией) природных систем, сходством их структуры, закономерностями развития. Книга состоит из 7 глав. В

главах 1–3 дается научное обоснование работы. Обсуждаются общие свойства систем разной природы, причины и факторы этой общности, их обусловленность вращательными циклами Земли. Содержание этих глав в какой-то мере отвечает на вопрос, вынесенный в эпиграф.

Главы 4, 5 посвящены непосредственным, так сказать, ключевым объектам исследования: нагруженному мерзлому грунту и древесной растительности, представляющим разные категории природы – косную (неживую) и живую. Подробно освещаются свойства этих систем. В частности показано, что изменение формы и массы древесной растительности в процессе ее роста в количественном плане во многом подчиняется тем же закономерностям, что и деформирование мерзлых грунтов.

В главах 6, 7 развивается методика обобщения параметров разных систем. Показано, что устойчивое равновесие, гармония между компонентами системы и внешней средой стремится к пропорциям обобщенных Золотых сечений (ОЗС).

Разделы 5-й главы, касающиеся дендрохронологии и плотности древесной массы написаны совместно с д. б. н. С.П. Арефьевым.

Автор благодарит д.б.н. С.П. Арефьева, д.г.н. Д.В. Московченко, к.б.н. Н.А.Гашеву, к.б.н. М.Н. Казанцеву и

других коллег по работе, чьи консультации, постоянная готовность помочь, моральная поддержка во многом способствовали написанию этой книги.

ВВЕДЕНИЕ

“ Вполне возможно, что какие-то ошибки ускользнули от меня, и еще ожидают пронизательного взгляда какого-нибудь критически настроенного читателя. Я надеюсь, что радость открытия ошибок и испытанное при этом чувство интеллектуального превосходства над автором в какой-то мере вознаградят счастливца за потерю времени и беспокойство, которое могло доставить ему внимательное чтение этой книжки ”

Льюис Кэррол

Современная эпоха характеризуется резкой дифференциацией науки и культуры, разделенностью знания, особенно естественного и гуманитарного, культуры, миропонимания вообще, что, возможно, и явилось одной из причин и сущностей современного глобального кризиса. Многие известные ученые и мыслители высказывают тревогу по этому поводу. “Современная западная цивилизация достигла необычайных высот в искусстве расчленения целого на части... Мы изрядно преуспели в этом искусстве, преуспели настолько, что нередко забываем собрать разъятые части в то единое целое, которое они некогда составляли” (О. Тоффлер [53, с. 11]). Начиная с Декарта,

введшего представление о материальном и духовном началах, как разнородных, не связанных между собой субстанциях, естественные и общественные науки, технический прогресс и сознание, культура развивались независимо друг от друга. “Уже давно, вероятно, с XVI века, мы перестали охватывать целое культуры, как жизнь... Содержание науки чужой специальности давно уже стало недоступным не только просто культурному человеку, но специалисту-соседу” (П. Флоренский [47, с. 260; 70]). Культура уже не соединяет, а разъединяет людей ибо сама “частична и специализирована”....

В то же время, по мнению Ж. Сартона [19], именно наука является главной силой, способной обеспечить единство нашей цивилизации. “Нельзя допустить, – пишет он, – чтобы совершенно необходимая специализация затемнила более широкое видение эволюции и взаимосвязи всех наук... Чем больше наука входит в нашу жизнь, тем более ее надо очеловечить...” [19, с. 69]. Обосновывая общий подход к изучению закономерностей развития живой и неживой природы, общественных процессов, выдающийся русский философ К.Н. Леонтьев писал: “Нелепо, оставаясь реалистом в геологии, физике, ботанике, внезапно перерождаться на пороге социологии. Принципы, господствующие в природе, сохраняются и проявляют себя и в человеческой истории” [37, с. 270].

«Человек сам является “энергетической системой” и подчиняется тем же самым законам, которые управляют мыльными пузырями и движением планет», – вторит ему известный астрофизик Холл [47].

Чрезмерная дифференциация, раскол, “атомизация” и хаотизация мира, его “разноязычие” (в широком смысле), сугубо потребительское отношение к окружающей среде, сохраняющаяся тенденция роста в этом направлении и даже усиливающаяся по мере вхождения человечества в постиндустриальную эпоху, без встречного движения к единению, солидарности, порядку, экологической дисциплине, могут привести к гуманитарной катастрофе. Эта работа посвящена исследованию общих закономерностей развития природных комплексов. Ее цель – поиск новых подходов и моделей для изучения различных систем живой и неживой природы, соответствующих новому экологическому мышлению, подразумевающему не только рациональное понимание, но и чувство общности (родства) с окружающей природой.

Говорить о единстве закономерностей развития всех природных систем можно, начиная с достаточно высокого (глобального) уровня обобщения, с высоты которого частности уже не различимы. Такого рода (“мелкомасштабные”) исследования не подменяют, а дополняют “крупномасштабные” (то, что видно с малой

высоты или с близкого расстояния), в которых проявляется частное, специфическое, но расплывается общее, и, образно говоря, за деревьями можно не увидеть леса.

Глава 1. ЭКОГЕОСИСТЕМЫ

Итак, исшел на свет совершеннейший из тварей, венец сложенных вещественных, царь земли, но единоутробный сродственник, брат всему на земле живущему, не токмо зверю, птице, рыбе, насекомому, черепокожному, полипу, но и растению, грибу, мху, плесне, металлу, стеклу, камню, земле...

А.Н. Радищев

ОБЩЕЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ И СВОЙСТВА

В качестве обобщенной таксономической единицы природного комплекса используется *геосистема* – “земное пространство всех размерностей, где отдельные компоненты природы находятся в связи друг с другом и как определенная целостность взаимодействуют с космической сферой и человеческим обществом” [64]. В наше время, когда темпы развития производства и рост потребления достигли размеров, угрожающих экологической катастрофой, а человеческий фактор стал играть едва ли не решающую роль в жизни природы, понятие *геосистема* целесообразно развить до понятия *экогеосистемы*. Последняя отличается тем, что в эту “определенную целостность” природных компонентов в качестве равноценного партнера, отвечающего за устойчивость (вынужденного отвечать, чтобы обеспечить

нормальные условия существования), вовлекается, интегрируется, проживающий в месте ее дислокации человек (общество) со своей энергетикой и ментальностью. В методическом плане введение этого понятия позволяет рассматривать системы косной и живой природы, традиционно относящиеся к разным отраслям знаний – естественным, техническим и гуманитарным, с существенно различающимся методологическим аппаратом, под одним углом зрения, “как единокровных сродственников” [55]. С этой целью и вводится понятие *экогеосистема*. Оно охватывает все системы Земли в пределах биосферы.

Итак, экогеосистемы – это расположенные в пределах биосферы взаимосвязанные гео, био и антропосистемы разного ранга. Они представляют собой иерархии множеств мельчайших частиц (элементов), объединенных в подсистемы разной природы и возраста, которые, с одной стороны, открыты для энергообмена и взаимодействуют друг с другом, определяя детерминистический характер связей, с другой – обладают определенной закрытостью и действуют самостоятельно, независимо от внешних условий, подчиняясь в коллективном поведении стохастическим закономерностям. Последнее означает, что наблюдаемые параметры, установленные причинно-следственные связи и их математические выражения адекватны реальности

лишь с определенной вероятностью. Наблюдаемый мир – это совокупность реализованных возможностей (событий), а именно тех, которые были наиболее вероятны в данных условиях. В кризисных ситуациях могут реализоваться события с любой малой вероятностью.

Каждый последующий член иерархии, более подвижный и сложно организованный, появился и развивается за счет вещества и энергии предыдущих, наследуя определенную общность признаков и поведения. Основными чертами этой общности являются: спиралеобразная цикличность (колебательный режим) с повторяемостью в каждом цикле участков подъема (становления, созревания), зрелости (вблизи и на пике подъема) и спада (старения); составной характер циклов; их затухание со временем и по мере дробления. Из-за множественности и разнонаправленности колебаний траектория развития экогеосистем представляет собой ломаную линию, образованную наложением циклов разной природы и с разными параметрами. Простой (одинарный) цикл состоит из двух ветвей – восходящей и нисходящей – и переходов между ними. Сложные циклы составлены из простых так, что среднее положение колеблющейся в простом цикле величины само перемещается в цикле колебаний с большим периодом. Это вызывает смещение начала и конца циклов, развитие

по спирали, а не по кругу. При определенной генерализации, например с помощью скользящих средних, полную траекторию эволюции экогеосистемы от ее начала (рождения) и до конца (разрушения, смерти) также можно представить в виде одинарного – эволюционного или *жизненного цикла*. Он тоже включает в себя указанные возрастные стадии – становление (детство), зрелость и старость, а также скрытый (утробный, эмбриональный, инкубационный) период развития.

СТРУКТУРА, ДЕФОРМАЦИЯ, РАЗРУШЕНИЕ

Любую систему можно представить совокупностью гибких связей ее элементов – условно неделимых и недеформируемых *частиц* (“атомов”, компонентов), обладающей энергией, которой она обменивается со своим окружением. Обмен сопровождается производством работы по *деформации* (изменению формы и размеров) связей и, соответственно, подвижками частиц, что приводит к качественному изменению *структуры*. Отвлекаясь от природы условно неделимых частиц (элементов) и механизмов их взаимодействия (связей), развитие (эволюцию) экогеосистем можно трактовать как результат работы внешних сил и накопление *деформации системы*,

понимая ее как изменение любых ее параметров, приводящее к подвижкам частиц. Подобный (обобщающий) подход назовем деформационно-энергетическим или просто деформационным, который применяется в термодинамике и синергетике. Он не подменяет изучение сложных природных процессов и структур, составляющих в различных сочетаниях специфику различных экогеосистем, а дополняет его, представляя с ним одно целое. Деформационный подход удобен тем, что общие закономерности развития выявляются из опытов с относительно простыми моделями, поддающимися количественному анализу.

Структурой называется совокупность *устойчивых связей* элементов системы, обеспечивающая ее целостность, узнаваемость (специфичность) и сохранность основных идентификационных свойств под воздействием внешних сил. В качестве внешних сил или условий выступают: температура окружающей среды, давление, свет, влажность и т. п. К ним можно отнести и время, действующее на систему, так же как и другие внешние силы (нагрузки): сначала (и при малых нагрузках) позитивно, укрепляюще, а затем (и при больших нагрузках) негативно, разрушающе. На изменение внешних условий система реагирует изменением состояния, основными параметрами которого являются температура, давление, плотность и

др., и определенным искажением структуры – деформацией. Действие всех внешних сил, включая время, равноправно, эквивалентно; одинаковую деформацию системы может вызвать изменение любой из этих сил (подробнее см. гл. 4).

За время существования система проходит через ряд состояний, приспосабливаясь к внешним условиям и накапливая деформации. Иными словами, структура – это форма существования системы, адаптированная к условиям внешней среды.

Образующиеся и развивающиеся при постоянных колебаниях внешних, в основном климатических, условий природные системы разного генезиса, состава и ранга имеют слоистую структуру, отражающую эти колебания и их последовательность особенностями морфологии слоев, их наполнением и физико-химическими свойствами. Такая “регистрирующая” внешние условия и время слоистость [13] обнаруживается как в косных системах – в геологических и почвенно-грунтовых разрезах, в теле ледника, в археологических раскопках, в палинологических спектрах..., так и в живых – в костях млекопитающих, в кораллах, в чешуе рыб, на поперечных срезах деревьев. Каждый такой слой можно рассматривать как единичную деформацию системы, воплощающую определенный заверченный цикл колебаний внешних условий.

Под деформацией любой системы, включая нематериальные (информационные, логические и т. п.), понимают неразрушительное изменение формы ее функционирования (структуры).

Постепенной деформации (эволюции) обычно противопоставляется быстрое разрушение – катастрофа. Но, во-первых, катастрофе тоже предшествует длительная деформация, только она часто протекает в скрытой (неявной) форме. Например, обрушивается цветущий берег реки; кажется – внезапно, но его основание годами размывалось водным потоком. Так же незаметно, под снежным настом, постепенно происходит перекристаллизация снежных отложений на склонах. К моменту их схода (лавины) снежные частицы уже почти утратили сцепление (химическое взаимодействие) друг с другом и удерживаются на месте только за счет внутреннего трения (механического взаимодействия). Достаточно незначительного толчка, флуктуации внешних условий, чтобы привести в движение всю их массу. То же и с общественными системами: внешне нерушимый, обладающий суперсовременным оружием СССР пал, можно сказать, в одночасье. Но его мощь, энергия, ресурсы десятилетиями необратимо растрачивались на войны, борьбу с империализмом, помощь братским странам и т. п.

Во-вторых, разрушение – тоже деформация, это ее

предельный случай, заключительный и обязательный акт. Из теории прочности известно, что долговечность (время до разрушения) твердого тела не бесконечна даже при нулевой нагрузке [57]. Тело как система связанных друг с другом элементов постепенно (со временем) разрушается под действием собственной массы. Можно изолировать систему от внешнего воздействия, но невозможно спрятать ее от времени, жернова которого перемалывают все, медленно, но неотвратно.

Внешняя среда и время порождают новые формы и структуры, они же в конечном счете и разрушают их. Все имеет начало и конец. Это понимали уже в древности. Знаменитый древнегреческий философ Анаксимандр утверждал: “То, что нас порождает, по необходимости приводит к гибели. Любая структура, отличная от элемента, должна погибнуть” [47, с. 84]. Зажигаются и гаснут звезды; вздымаются и разрушаются горы; рождаются и гибнут индивиды и популяции, социумы, государства и цивилизации. Новое рождается на обломках старого, за счет их энергии и массы. Процессы рождения (становления) и старения (смерти) обратны по направлению, но на равноудаленных от пика развития этапах имеют отдаленное сходство, искаженное монотонно текущим в сторону увеличения временем.

Для удобства обобщения деформацию обычно представляют в относительном (безразмерном,

абстрактном) виде, для которого безразлична физическая природа системы:

$$j = \Delta V / (V_0 - V_{\max}), \quad (1.1)$$

где ΔV – размерная деформация, равная $(V_0 - V)$ при растяжении и $(V - V_{\max})$ при сжатии; $V_{\max}$ и V – максимальный и текущий объем или другой характерный размер системы (длина, радиус,...); V_0 – то же, для условно неделимой (“элементарной”) части системы. Относительная деформация полного разрушения, когда все связи рвутся (исчезают, “испаряются”) и система рассыпается на “элементарные” частицы, рассеивающиеся в окружающем пространстве, согласно (1.1), равна единице. Такое разрушение (хрупкое) можно сопоставить с сублимацией – испарением твердого тела, минуя жидкое состояние. Так разрушаются твердые тела, температура которых намного ниже температуры плавления (кристаллизации), например большинство металлов. Работа по их разрушению, выраженная в тепловых единицах (энергия разрушения), близка к теплоте сублимации [56]. Другой тип разрушения – пластический, характерен для материалов с температурой, близкой к температуре плавления (кристаллизации). К таковым реально (т. е. при обычных температурах окружающей среды)

относится только лед и содержащие его материалы, например мерзлые грунты. Пластическое разрушение заключается в плавлении (разжижении) мерзлого тела и его растекании (расползании). Энергия такого разрушения равна теплоте плавления, а разрушающая деформация – изменению объема при плавлении (у льда - 0,083) [27, 28]. Пластический способ разрушения более актуален для геоэкологии и экологии, поскольку жизнь и ее среда ассоциируются прежде всего с водой. Как утверждал другой знаменитый грек – Фалес из Милета (VI в. до н. э.) [71, с. 6]: “Вода – вот первооснова всего сущего. Из воды вещи рождаются в самом начале и в нее превращаются при окончательном уничтожении”.

ПОЛНЫЙ (ЖИЗНЕННЫЙ) И ЭЛЕМЕНТАРНЫЙ ЦИКЛЫ

Обычно полный, т. е. имеющий выраженные начало и конец, цикл, несколько схематизируя, можно разбить на ряд подобных ему малых циклов, параметры (период и амплитуда) которых в целое число раз меньше параметров полного цикла, и в зависимости от требуемого масштаба обобщения принимать параметры этого малого цикла за *условно элементарные* (далее для краткости, просто элементарные), неделимые. Например, сутки в месячном цикле при суточном счете времени или

час в суточном цикле при часовом счете времени.

В период элементарного цикла как бы ничего не происходит, поэтому его можно считать условным мгновением, а его параметры – единицами счета их последующих изменений (деформаций). На практике, в общем, так и делается (по умолчанию): отсчет существования любой системы (тела) начинается с момента ее “рождения”, появления “на свет”, когда она уже имеет какой-то объем и массу. Время скрытого (“утробного”) развития не засчитывается. Причем за единицу возраста принимается официальная единица времени – год (12 месяцев). Но надо учитывать, что примерно 25 % всей продолжительности цикла – зима в годовом, ночь в суточном – система не функционирует, “спит”. По-видимому, у биологических систем, по крайней мере у человека, элементарный цикл, равный периоду утробного развития (9 месяцев), соответствует активной части годового цикла. Например, проживание 60 лет означает и проживание 60 активных частей годового цикла, по 9 месяцев в каждой, что составляет в сумме 540 месяцев, или $540/12 = 45$ активных лет (жизненный цикл без стадии старения).

Объективно величина элементарного периода равна или меньше разрешающей способности измерительных приборов, поэтому никаких изменений в системе за его время действительно не наблюдается (что не означает их

отсутствие). На молекулярном уровне за элементарный цикл принимается тепловое колебание атома, период которого (время оседлого существования) для разных веществ составляет в среднем около $10^{-13} \approx 12^{-12}$ с [56].

За многолетний ход биологических систем ответственны многолетние колебания внешних (климатических) условий – света, тепла и влаги, а за их изменения в течение года и месяца – месячные и суточные колебания этих показателей. Соответственно в первом случае за период элементарного цикла принимают *год* (12 месяцев), во втором – *месяц* (30 суток), в третьем – *сутки* (24 часа). Отношение амплитуд полного и элементарного циклов, или, что то же, полной и элементарной деформаций системы, есть ее возраст, а элементарная деформация имеет смысл средней скорости деформации системы в течение полного цикла. Например, если средний радиус дерева равен 15 см, а средняя толщина годового кольца, она же – элементарная деформация – 0,1 см, то очевидно, что возраст этого дерева – $15/0,1 = 150$ лет, а средняя скорость прироста его толщины, по величине совпадающая с элементарной деформацией, – $15/150 = 0,1$ см/год.

ПОДОБИЕ ЭКОГЕОСИСТЕМ

Условный элементарный цикл представляет собой уменьшенную копию полного. В экологии (по Геккелю) это формулируется так: онтогенез (в нашей трактовке – *элементарный цикл*) является сжатым повторением филогенеза (полного цикла). Действительно и обратное утверждение: филогенез – это растянутый онтогенез. Зародыши проходят в сокращенном виде эволюцию своих предков (у человеческого эмбриона, как известно, есть жабры). Развитие человечества повторяет развитие ребенка: ползание–прямохождение–речь–письмо.

Следовательно, можно говорить об определенном самоподобии экосистем, – каждая их часть в той или иной степени обладает свойствами целого. Так все биоклиматические зоны Земли (тундра, лес, степь, полупустыня и пустыня) располагают в общем-то одинаковым набором типов растительности: гигрофитным, лесным, степным, ксерофитным, но с разным долевым соотношением компонентов, зависящим от того или иного сочетания тепла и влаги – всегда, естественно, доминирует “титульный” тип (в лесной зоне – лес и т. д), и каждую из зон, в свою очередь, можно разделить по господствующему составу растительности на более мелкие районы. Такое приблизительное подобие часто прослеживается и на

более низких уровнях ранжирования с тенденцией к постепенному уменьшению видового разнообразия за счет вырождения нетипичных для данного климата видов.

В системах одной природы, но с разным элементарным циклом ход событий, их локализация и влияние на другие системы примерно подобны. Деятельность ручья и крупной реки состоит из одних и тех же актов, протекающих в одинаковой последовательности и создающих подобные формы; структуры управления государством и сельской общиной идентичны; для бабочки-однодневки ночные заморозки так же значимы, как и для нас ледниковая эпоха и т. д.

Наконец, электроны вращаются вокруг атомного ядра подобно планетам вокруг Солнца.

Подобие (самоподобие, масштабная инвариантность, фрактальность) присуще всем экогеосистемам, их параметрам и формам функционирования. Но это подобие неполное, приблизительное, часто только качественное. В каждом последующем цикле большее развитие получают поздние образования, а ранние угнетаются (забываются).

Достаточно явно подобие выявляется только на относительно простых объектах, поддающихся количественному описанию. На рис. 1.1, *а* приведен годовой и суточный (в июле) ход относительной

температуры воздуха (j_t), а на рис. 1.1, б – годовой и суточный (по часовым интервалам в сумме за год) ход относительной продолжительности солнечного сияния (j_c) в Тобольске [65]. Величины j_t и j_c рассчитывались по формуле, аналогичной (1.1), как отношение $(x - x_{\min})/(x_{\max} - x_{\min})$, где x , $x_{\max}$ и $x_{\min}$ – текущее, максимальное и минимальное значения температуры или продолжительности солнечного сияния (или любого другого параметра – формула пригодна для обобщения любых параметров). Исходные данные – максимальные и минимальные значения: 1) среднемесячной и 2) среднесуточной температуры воздуха (в июле)

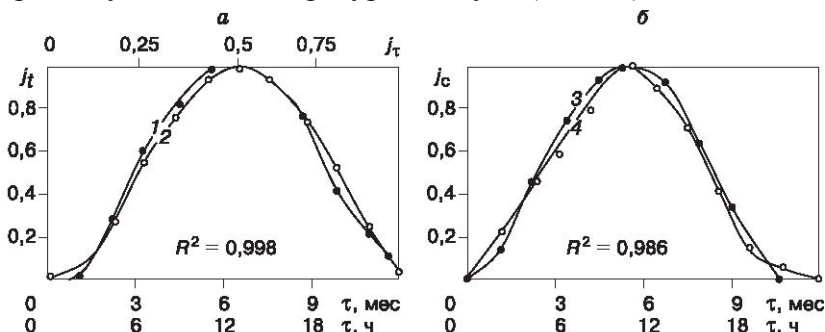


Рис. 1.1. Годовой и суточный ход (τ) относительных показателей: *а* – температуры (в июле) воздуха (j_t); *б* – продолжительности солнечного сияния (j_c) в Тобольске. Значки на линиях – фактические данные, линии – их аппроксимации; 1...4 – номера вариантов (см. в тексте). Здесь и далее R – достоверность аппроксимации.

а также: 3) годовой и 4) суточной продолжительности солнечного сияния по данным метеостанций (первое

число – максимум, второе – минимум) – равны: 1) 18 и – 18,5 °C; 2) 21,3 и 14,5 °C; 3) 298 и 26 ч; 4) 168 и 0 ч.

Анализ графиков на рис. 1.1 показал, что они с высокой достоверностью ($R^2 > 0,98$) описываются полиномами 4-й степени:

$$j_t = 16,8 j_{\tau}^4 - 34,8 j_{\tau}^3 + 18,91 j_{\tau}^2 - 0,82 j_{\tau} \quad (1.2)$$

$$j_c = 18,24 j_{\tau}^4 - 33,82 j_{\tau}^3 + 15,1 j_{\tau}^2 + 0,54 j_{\tau} \quad (1.3)$$

Судя по рис. 1.1, суточный и годовой ход элементов климата одной размерности, например температуры, выраженных в относительном виде, почти идентичны, а разноразмерных, например температуры и продолжительности солнечного сияния (ср. графики *a* и *б*) – примерно (качественно) подобны.

В повседневной жизни подобие системы на разных временных уровнях часто подразумевается “по умолчанию”. В отчетных документах о работе за квартал обычно фигурируют месячные показатели, за год – квартальные, за пятилетку – годовые, и т. д. Но совсем не факт, что месячные показатели, например, прошлого года формировались в тех же условиях, что и пять лет назад и совсем не изменились качественно. Все планы и различного рода прогнозы составляются на основе прошлого опыта. В науках о Земле для реконструкции прошлого широко используется так

называемый принцип актуализма, предполагающий аналогию (подобие) существующих связей между природными объектами в прошлом и в настоящее время.

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ МЕЖДУ СУБСИСТЕМАМИ И ВНЕШНИМ ОКРУЖЕНИЕМ

Как правило, удастся выделить область взаимодействия рассматриваемой системы (субсистемы нулевого уровня) со своим окружением и считать расширенную за счет этой области систему (субсистему 1-го уровня) в течение какого-то времени закрытой, обладающей некоторым неизменным количеством энергии, достаточным для ее функционирования. Начиная с 1-го уровня, все системы более высокого ранга, независимо от их природы, правомерно называть *экогеосистемами*, поскольку они имеют на Земле свое место обитания, характеризующее определенными примерно постоянными условиями – ”жилище”, в котором они проходят свой жизненный цикл.

Схема расширения системы за счет части внешней среды путем огораживания по линии ее влияния показана на рис. 1.2.

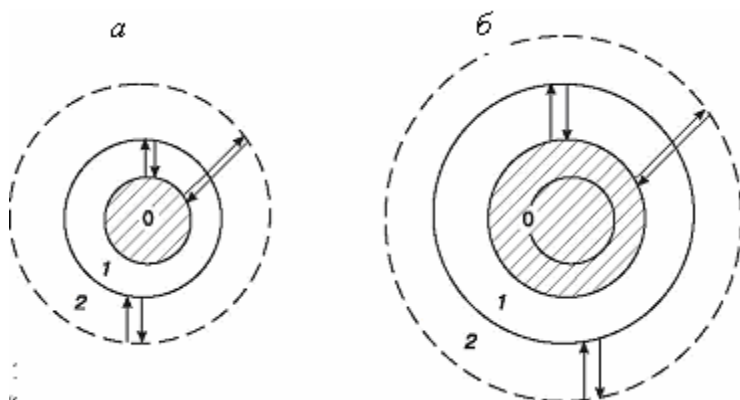


Рис. 1.2. Схема расширения системы за счет внешней среды:

а – система до расширения; *б* – после расширения.

Прерывистая окружность – граница с внешней средой;

сплошные окружности – границы субсистем; заштрихована

система нулевого уровня; жирные стрелки – непосредственные (прочные) связи, тонкие – опосредованные (рыхлые) связи. 1, 2 – см. пояснения в тексте.

В пределах субсистемы 1-го уровня обычно находится несколько субсистем нулевого уровня. Прогресс любой из них возможен только за счет собственного окружения. В свою очередь, субсистема 1-го уровня развивается в границах субсистемы 2-го уровня (см. рис. 1.2, б), с которой у субсистем нулевого уровня уже нет прямых связей, но есть опосредованные, дальние или рыхлые. Внешняя граница субсистемы нулевого уровня является внутренней границей субсистемы 1-го уровня, а внешняя граница последней – внутренней границей субсистемы 2-го уровня и т. д. – субсистемы низших уровней как бы

закрыты, наподобие сувенирных матрешек, в субсистемах высших уровней и раскрываются, каждая под определенным углом зрения, по мере увеличения масштаба видимого. Соответственно субсистемы нулевого уровня служат элементарными (условно неделимыми) частицами, (“атомами”), субсистем 1-го уровня, а последние – элементарными частицами субсистем 2-го и т. д. Например, элементарной частицей ландшафта является фация, а таксоном следующего ранга – урочище; при уменьшении масштаба ландшафтной съемки фации перестают различаться, и тогда элементарной частью становится урочище. И каждой материальной субсистеме, включая элементарную, соответствует свой *жизненный* цикл и его пространственная локализация.

Нематериальные системы, такие как культура, религия, этика и т. п., в этом плане отличаются от материальных только тем, что их локализация на местности осуществляется не прямо, а через посредство проживающих здесь социальных групп или этносов, т. е. через “головы жителей” – носителей этой информации.

Чем сильнее и дольше “давление” среды, тем больше зона ее влияния, больше деформация и меньше элементарная (недеформируемая) часть системы. Поэтому количество элементарных частиц в системе – переменная величина, изменяющаяся в пределах $V-V_3$,

где ее интеграл $j_{\text{и}} = \ln (V/V_3)$ равен относительной (безразмерной) энтропии $j_{\text{и}} = S/k$ (S – энтропия; k – коэффициент Больцмана; см. гл. 3).

Величина $j_{\text{и}}$ определяет число всех возможных ассоциаций прочносвязанных (ближних) частиц, – максимальное количество субсистем 1-го уровня (например, родов, фаций...) размером $V_{3,1} = V/j_{\text{и}} > V_3$. Но $V_{3,1}$ тоже зависит от давления (в широком смысле), изменяясь от V до $V_{3,1}$. В результате образуется 2-й уровень иерархии (двоюродство), – из субсистем с элементарной частицей $V_{3,1}$. Интегрируя $j_{\text{и}}$ в пределах от V до $V_{3,1}$, находим интегральное количество субсистем 2-го порядка (племен, урочищ). Или, что то же, интегральную относительную деформацию ($j_{\text{и}1}$), характеризующую уровень взаимодействия этих субсистем: $j_{\text{и}1} = \ln j_{\text{и}} = \ln (\ln V/V_3)$ и т. д. С повышением уровня увеличивается элементарная частица, но сокращаются количество и прочность связей. Как правило, уже на 3-м или 4-м уровне $j_{\text{и}i}$ близка к единице, а $\ln j_{\text{и}i}$ – к нулю.

Границы субсистем разных уровней создают систему ослабленных участков – концентраторов напряжения, естественных патогенных “вакансий” разрушения. Особенно опасны места совпадения границ разных

уровней, разрывы связей по ним наиболее вероятны. Отображением подобных полей напряжения является, например, филлотаксис растений; карты тектонической активности или административного деления. В последнем случае наибольшие напряжения сосредоточены на совпадающих границах государственных, республиканских и этнических образований: Абхазия–Грузия, Приднестровье–Молдова...) и т. п. По линиям таких границ распались СССР и Югославия. Слабо связана с Россией Калининградская область. Существует опасность ее поглощения объединенной Европой, тяготеющей к своему старому аттрактору – границам Священной Римской империи.

Обратным действием – потенцированием, определяется вероятное число элементарных частей (атомов, молекул, клеток, особей,..) в подсистемах разного уровня. Это число стремительно растет с повышением уровня. Если на нулевом уровне всего одна элементарная частица ($\exp 0 = 1$), на первом около трех ($\exp 1 = 2,71$), то уже на третьем их около 10^5 . Эта лавинообразная прогрессия может служить приближенной моделью возрастания (или убыли) со временем или с повышением (понижением) системного уровня, суммарного количества всех появившихся когда-либо “на свет” подсистем (особей). Так из анализа митохондрий (генов,

продуцирующих жизненную энергию клетки и передающихся только по материнской линии) американские ученые установили, что 95 % всех североамериканских индейцев происходят от 4 женщин из числа переселенцев из Азии, перешедших 13–15 тыс. лет назад нынешний Берингов пролив. Митохондриальная теория вообще утверждает, что все современные люди происходят от одной женщины, жившей в Африке 150–200 тыс. лет назад [43].

СООТНОШЕНИЯ ВНЕШНИХ И ВНУТРЕННИХ ГРАНИЧНЫХ УСЛОВИЙ

Под разницей (“расстоянием”) между верхними и нижними граничными условиями понимается емкость системы, а в единицах тепла (кДж, ккал) – теплоемкость или энергоемкость. По мере “углубления” в систему влияние внешних условий уменьшается, а внутренних – увеличивается. Значение внутренних (нижних) и внешних (верхних) условий меняется и в течение жизни экогеосистем. Внутренние играют большую роль при зарождении, а также на ранней и поздней стадиях развития (в “детстве” и “старости”), когда системы неравновесны и неустойчивы. На стадии зрелости экогеосистемы устойчиво уравновешены с внешней средой и изменяются по ее законам. Современные внутренние условия когда-то были внешними.

Настоящее нижней границы субсистемы – это свернутое (усредненное) прошлое верхней. Например, температура нижней границы “вечной мерзлоты”, примерно равная нулю, – это средняя температура поверхности в прошлом, в начале формирования криолитозоны. Температура поверхностного слоя на Солнце близка к температуре в центре Земли – около 6000 °С [24]. Постоянная температура тела высших животных (около 35...41 °С) – это средняя температура в местах их зарождения как жизненной формы. Прошрое не теряется, а сжимается и хранится (запоминается) внутри настоящего, составляя его скрытую основу. Каждая экогеосистема является носителем информации о прошлом, своем и своего окружения. В геологическом разрезе, порядке чередования, составе и толщине его слоев в зашифрованном виде запечатлена геологическая, географическая, биологическая и общественно-бытовая история данного места. География и история вчера – это геология и археология сегодня.

ОТКРЫТЫЕ И ЗАКРЫТЫЕ СИСТЕМЫ

Чем выше уровень иерархии, тем длиннее период “закрытости” экогеосистемы, когда действуют законы сохранения (энергии, массы,...). В полной мере они выполняются только в суммарном выражении для мегасистемы Солнце–Земля (с Луной) в целом. Внутри

нее идет постоянное перемещение тепла и массы, в процессе которого одни системы теряют, деградируют и гибнут, другие рождаются, приобретают и развиваются. Иными словами, развитие и процветание одних происходит не иначе, как только за счет деградации и гибели других. Это основной закон экологии, сформулированный Б. Коммонером [26] в лапидарной форме: “Ничто не дается даром”.

Вообще деление экогеосистем на открытые – живые, способные самостоятельно развиваться, расти и набирать массу, и закрытые – косные, могущие только деградировать, условно. Как правило, и живые, и косные системы заключены в оболочку повышенной прочности – “жилище” (дом, кора, панцирь, скорлупа, кокон, плацента..., которая защищает их от внешнего воздействия, в течение длительного времени обеспечивая их целостность и сохранность отличительных признаков. С другой стороны, растут, развиваются, набирают массу не только биологические объекты, но, например, и кристаллы. Песчинки и частички пыли, находящиеся в водной среде или в воздушном потоке, постепенно осаждаются, уплотняются, агрегируются, приобретают сцепление, растут и превращаются в твердые (сплошные) наслоения горных пород. В определенных местах скапливаются флюиды углеводородов и образуются залежи нефти и газа, зарождаются и нарастают

рудные тела.

Осадконакопление (с уплотнением и агрегацией осадков) и денудация (выветривание и снос горного материала) – основные геоморфологические процессы, формирующие рельеф земной поверхности и структуру почвогрунтов.

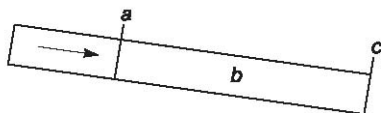
Все экогеосистемы на этапе становления – “в детстве” – открыты для приема энергии (пищи). Открытость системы и связанная с ней способность к саморазвитию лимитируются энергоемкостью. После заполнения система (подобно сосуду в водоеме) сама закрывается (не может принять больше); прекращается накопление жизненной энергии и она начинает растрачиваться. Фактор времени или избыток подводимой энергии извне (“переедание”) ведут к деградации и разрушению системы. Действует универсальный принцип оптимума, суть которого укладывается в тривиальную сентенцию: любое воздействие в малых дозах полезно, а в больших вредно. Приток энергии и массы, информации из внешней среды в систему при ее становлении (созревании) и ее прогресс также естественны и самопроизвольны, как их отток и рассеяние на спаде развития. В этом смысле все природные системы самоорганизующиеся.

Эволюцию экогеосистемы поясним следующей простой механической моделью (рис. 1.3). Имеется наклонная труба, часть которой (емкость b), имитирующая

собственно систему, заключена между входным и выходным клапанами (a и c), работающими синхронно, но в противоположном режиме. В трубу подается определенный объем жидкости, затем открывается клапан a (клапан c закрыт) и начинает заполняться емкость b – это полупериод подъема, становления системы. По заполнению емкости b клапан a закрывается и открывается клапан c , жидкость из b убывает – это полупериод спада, деградации. После исхода жидкости из b вновь открывается клапан a – начинается новый цикл. Система заканчивает свое существование при истечении из трубы всей жидкости, находящейся выше клапана a .

Рис. 1.3. Упрощенная механическая модель развития экосистемы:

a и c – входной и выходной клапаны,
 b – емкость системы.



Бытующее представление о разном направлении эволюции неживой и живой природы: первой – к простоте и единообразию, второй – к усложнению и многообразию, не совсем верно. Скорее всего, оно связано с особенностями развития этих отделов природы и человеческим восприятием: темпы развития живой природы намного выше, чем неживой, а обгоняющему наблюдателю (человеку) обычно кажется (как, например,

в поездах), что обгоняемый объект движется в обратном направлении.

Однако главное то, что неживая природа – “мать” живой, тоже усложнялась около 4 млрд лет, пока не породила и “выкормила” качественно новую, живую формацию – биосферу, которая и далее развивается, по крайней мере в верхних слоях земной коры, уже в ее составе в качестве абиотической компоненты. С появлением человека в “недрах” биосферы таким же образом зарождается следующая формация – антропосфера, внутри которой по мере развития науки и техники формируется следующая фаза – техносфера и т. д. В перспективе предсказывают образование ноосферы, сферы разума – географической оболочки, в которой будет достигнуто, повидимому, навечно, гармоничное, взаимоувязанное и устойчивое развитие природы и общества. Правда, тенденции к этому пока не наблюдаются. Наоборот, постоянно совершенствуются и по нарастающей увеличиваются возможности и темпы потребления (истребления) природных ресурсов.

Вообще в социальной экологии оценка роли человека в истории Земли – как разумной и конструктивной силы, обеспечивающей и гарантирующей прогрессивное развитие, несколько преувеличивается. Недоучитывается присущий всему живому эгоцентризм и “предыстория” человека, его длительное пребывание в первобытном

(“доразумном”) состоянии в условиях жестокой борьбы за выживание и сохраняющиеся с того времени в генной программе и проявляющиеся на “бессознательном” уровне животные инстинкты. Последние не всегда (особенно в критические периоды) подавляются или сдерживаются морально-этическими (по сути, экологическими) нормами.

Принято считать, что эволюция происходит только на уровне сообществ, популяций, а не отдельных особей. Но разве появление их “на свет”, прохождение возрастных стадий и разрушение – не есть эволюция? На самом деле эволюционируют, развиваются все системы – от самой мелкой букашки и моллюска до планетарных систем. Причем путь или вектор развития одинаковы для всех: от появления на “свет”, становления и расцвета, до деградации и конца “света”, наступающего в свое время; разница только в масштабе видимого. Такой путь эволюции обеспечивает непрерывность общего потока жизни, постоянство его энергии и обновляемость.

Глава 2. ЦИКЛИЧНОСТЬ И СТАДИЙНОСТЬ

*Мы живем в колеблющемся мире и сами
являемся совокупностью колебаний.*

В. Пелевин

ПРИРОДА ЦИКЛИЧНОСТИ

В основе общности экогеосистем всех рангов лежит цикличность внешних условий, процессов и состояний, круговороты вещества и энергии, обусловленные астрономическими факторами: вращением Земли вокруг своей оси, Земли вокруг Солнца, Луны вокруг Земли, колебаниями осей вращения, термического режима Солнца и др. В системе Земля–атмосфера цикличность обусловлена противоположной направленностью гравитационного (к центру Земли) и термического (от центра) градиентов. За счет этого обеспечивается нагрев и разуплотнение опускающейся тяжелой (холодной) массы и охлаждение и уплотнение поднимающейся легкой (теплой), и тем самым возобновляемость кругового движения по вертикали. Вертикальная циркуляция осложняется горизонтальной, которая формируется под совместным воздействием термического градиента между экватором и полюсами, вызывающего меридиональную конвекцию тепла и массы, и вращения Земли, вынуждающего их широтное перемещение.

Эти же факторы вызывают циркуляцию магмы в недрах Земли, деформацию земной коры, ее разломы и дрейф материковых плит. Иными словами, Земля функционирует как сложная тепловая машина, главным источником энергии которой является Солнце, а основным “рабочим агентом” (переносчиком массы и тепла) – жидкое и газообразное вещество. В пределах биосферы – это вода и воздух с разной степенью водонасыщения. Согласно В.И. Вернадскому [15], цикличность жизни на Земле связана “с круговоротом кислорода, азота, углекислого газа, водяного пара и других газов, непрерывно выделяющихся при жизненных процессах и создающих земную атмосферу (тропосферу)”.

В живых системах цикличность – повторяемость подобного, поддерживается их репродуктивной способностью, с одной стороны, и конечной длительностью существования – с другой. Место ушедших “родителей” в пищевой пирамиде занимают их потомки. “Начинаются народы, когда другие рассыпаются, – говорил М.В. Ломоносов [1, с. 176], – одно разрушение дает происхождение другим”. Это тем более справедливо и для геосистем – разрушительные тектонические и климатические процессы изменяют лик Земли, порождая новые формы. При постоянстве массы новое может образоваться только из продуктов

разрушения старого.

АВТОКОЛЕБАНИЯ, УПРУГОСТЬ И СУКЦЕССИЯ

Кроме вынужденных (вращением Земли) колебаний экогеосистемы претерпевают и собственные колебания – автоколебания, вызванные столкновениями частиц и их упругими свойствами. Упругость (обратимость) – способность системы восстанавливаться, проявляется в ответ на внешнее, не катастрофическое воздействие, зачастую с опозданием и опосредованно, и утрачивается со временем, а также при повышении давления и температуры. Помимо восстановительной упругость имеет агрессивную составляющую, благодаря которой система после устранения внешнего воздействия не только возвращается в прежнее состояние, но и переступает его, вторгаясь на “чужую территорию”, подобно маятнику или приливной волне. Победоносные освободительные войны необходимо заканчиваются завоеванием территории противника. Невозможно победить, только защищаясь. Агрессивность (в механике ее аналогом является инерция движения) – наступательная жизненная сила, часто выступающая как разрушительная, присуща всему живому. В частности, у людей она связана с хорошо распознаваемым, но плохо управляемым состоянием подъема, избытка энергии и духа и в зависимости от контекста идентифицируется как

пассионарность, фанатизм, одержимость, воодушевление, кураж и т. д. Упругость с ее неперменным атрибутом – агрессивностью ответственна за *саморазвитие (самоорганизацию)*, понимаемое как повторяемость, циклическая последовательность стадий развития. Она определяет выживаемость, воспроизводство и место в пищевой пирамиде.

Любое внешнее возмущение, толчок или колебания, при наличии сил упругости производит серию затухающих (с уменьшающимися амплитудой и периодом) колебаний частиц внутри системы, стремящихся вернуть частицу в равновесное состояние. Это действуют так называемые *прямые* связи, идущие от “верхних” граничных условий к “нижним”. В свою очередь, нижние граничные условия по *обратным* связям регулируют прямые, усиливающие (положительные обратные связи) или подавляющие (отрицательные обратные связи) их. Отрицательные обратные связи образуются в соответствии с принципом Ле Шателье, согласно которому внешнее воздействие вызывает процессы, ослабляющие это воздействие. Например: при оттаивании мерзлого грунта выделяется скрытая теплота, препятствующая оттаиванию; при движении возникает трение, препятствующее движению и т. п. Первый толчок *A* вызывает обратное действие *B*, из-за сопротивления материала по силе меньшее *A*, а действие *B* – обратное ему действие *C*, совпадающее по

направлению с A , но меньшее его по силе. Так под действием прямых и главным образом обратных связей возникают автоколебания, причем отрицательные обратные связи приводят к их затуханию и выравниванию верхних и нижних граничных условий, т. е. к стагнации системы. Положительные обратные связи усиливают прямые (резонанс). Они могут оказаться полезными на этапе становления системы, а на этапе ее дряхления вызывают ускоренное разрушение.

Автоколебания – это способ релаксации сложных систем, состоящих из множества subsystem с большим запасом агрессивности, суть которого заключается в упругом противостоянии системы и окружающей среды. “Толчок” внешней среды чередуется с несколько замедленным и ослабленным “толчком” (реакцией) системы. И так практически до полного затухания колебаний. Из теории колебаний следует, что выведенная из равновесия система колеблется неопределенно долго и время установления нового равновесия зависит от заданной точности измерения. Иначе говоря, время затухания автоколебаний можно измерить лишь с точностью существующих приборов.

У простых систем, растративших обратимую (упругую) энергию, достижение равновесия с внешним окружением означает их разрушение, которое необратимо и неотвратимо. Примером необратимого разрушения

может служить сползание переувлажненного материала по склону, крутизна которого не дает образоваться отрицательной обратной связи (не срабатывает принцип Ле Шателье).

Упругое противостояние (отрицательные связи) можно пояснить известным примером с системой “хищник (охотник)—жертва (пища)”. При изобилии пищи популяция хищников растет. Это ведет к уменьшению пищи, а вследствие этого – и самих хищников. Что вновь приводит к изобилию пищи. В этом противостоянии хищник – активная, нападающая сторона, более молодая и агрессивная, а жертва – пассивная, защищающаяся. Но положение “жертвы” в пищевой пирамиде более устойчиво, основательно; жертва в течение длительного времени может обойтись без хищника, а хищник без нее – нет. Полная “победа” хищника – уничтожение жертвы, с необходимостью вызовет и его голодную смерть. Такое поведение противостоящих субсистем является общим для всех экогеосистем, так как в иерархии природных комплексов и составляющих их субсистем каждый член объективно – это хищник по отношению к предыдущему и жертва по отношению к последующему. Растительный мир является “хищником” по отношению к косной природе, животный мир – к растительному. Господствующее положение в биоте – вершину пищевой пирамиды – занимает человек. Он и станет первой

жертвой при катастрофическом изменении внешних условий.

При внешнем толчке достаточной силы возникает резонанс, когда частоты колебаний субсистем разного уровня совпадают, а их амплитуды, пропорциональные силе инерции движения, складываются, достигая значений, превышающих предел прочности их связи, и система разрушается.

Процесс восстановления растительных сообществ, разрушенных вследствие какого-нибудь катаклизма – пожара, наводнения, засухи... – называется *сукцессией*. Этот процесс носит регулярный характер и повторяется в самых разных ситуациях. Состав и порядок появления определенных видов одинаковы для схожих нарушений и в схожих ареалах. Пример типичной сукцессии приведен в [40]. В большинстве северо-восточных штатов Америки в XVIII–XIX вв. земли, занятые лесами, были расчищены, и на этих территориях построены фермы. Но в XX в. они были заброшены, и участки вновь стали превращаться в леса. Растения, с течением времени заселившие поля, появлялись в строго повторяющейся последовательности. В первый год вырастали однолетние сорняки и одиночные сеянцы деревьев. Затем происходило заселение определенными видами (пионерными или *ранними сукцессионными*), которые начинали преобладать. Типичный пионерный вид – сосна

Веймутова: она растет быстро, и ее семена распространяются на большую территорию. В течение нескольких десятилетий эти виды образовали густой лес. Следующий этап – появление деревьев, хорошо растущих в тени пионерных видов, в частности кленов. Через полвека они становились зрелыми и затем постепенно погибали. Их семена уже не могли прорасти под покровом леса, и состав популяции деревьев сдвигался в сторону медленно растущих новичков – *поздних сукцессионных видов*, в основном кленов.

“В конце концов весь лес стал состоять из этих видов деревьев, что и наблюдают каждый год осенью жители Новой Англии, когда листья деревьев меняют окраску и лес приобретает огненный цвет, характерный для кленов” [40]. Смена быстрорастущих пионерных видов медленно растущими наблюдается во многих экосистемах. Например, на недавно образованных прибрежных песчаных дюнах первым появляется песчаный тростник. Эта трава помогает укрепить дюны так, чтобы в них смогли укорениться видопреемники (вначале кустарники, а затем и деревья) [40].

ВРАЩАТЕЛЬНЫЕ ЦИКЛЫ ЗЕМЛИ И ВОЗРАСТНАЯ СТАДИЙНОСТЬ ЭКОГЕОСИСТЕМ

На рис. 2.1, *а* схематически изображена развертка

орбиты вращения Земли вокруг Солнца – годовой цикл. Принципиально такой же, в общем, вид имеют развертки орбит вращения Земли вокруг своей оси и Луны вокруг Земли – соответственно суточный и месячный циклы. По положению Земли относительно Солнца отчетливо выделяются четыре стадии развития, явные (светлые, теплые): весна, лето, осень в годовом цикле, утро, день, вечер – в суточном и “скрытые” (темные, холодные): зима в годовом и ночь в суточном циклах. В повторяющихся циклах центры 1-й и 2-й стадий (весны и лета или утра и дня), а также 3-й и 4-й (осени и зимы или вечера и ночи) соединяются линиями (тактами) затухающего типа, а центры 2-й и 3-й, а также 4-й и 1-й стадий – тактами возрастающего типа. Такты затухающего типа (I, III) имеют форму выпуклых кривых с горизонтальной асимптотой, такты возрастающего типа (II, IV) – форму вогнутых кривых с вертикальной асимптотой. Эти четыре такта объединяются в два полупериода: *подъема* – от середины 4-й стадии (зимы, ночи) до середины 2-й (лета, дня) и *спада* – от середины 2-й стадии до середины 4-й. Можно делить орбиту и иначе: на *теплый* (верхняя половина орбиты) и *холодный* полупериоды. Аналогичные стадии – четверти месяца (недели) и полупериоды – подъем от новолуния до полнолуния и спад от полнолуния до новолуния, выделяются и на лунной орбите. Временной ход высоты

развертки орбитального движения h показан на рис. 2.1, а. Его можно трактовать и как относительную работу по вертикальному перемещению планеты весом P_3 которая равна относительной деформации: $P_3 h / P_3 h_r = h / h_r = j$, где h_r – годовая величина h .

Эволюционный (“жизненный”) цикл экогеосистем, представляющий собой генерализованную совокупность ее разнородных и разнопериодных колебаний, подобен основным вращательным циклам Земли – годовому, суточному и месячному, и инициируется ими. Он включает в себя аналогичные возрастные стадии (фазы): три явные (“светлые”) и одну неявную, скрытую (“темную”). Первая стадия ассоциируется с весной или утром (юностью), вторая – с летом или днем (зрелостью), третья – с осенью или вечером (старостью) и четвертая – с зимой или ночью (сном). Начало и конец жизненного цикла на земной орбите (рис. 2.1) соответствуют началу “весны” и концу “осени”. Середины этих стадий на развертке орбиты – точки бифуркации, в окрестностях которых скорость развития (“весной”) и деградации (“осенью”) системы стремится к своему максимуму. При достижении этой скорости она либо погибает, либо меняет свой вектор и выходит на новый виток развития. Если сопоставление стадий развития экогеосистем с выделенными участками орбиты правомерно, то скрытая стадия составляет примерно четверть их жизненного

цикла. Геологическую историю также и в тех же терминах делят на явную – фанерозой (греч. *phaneros* – явный) и скрытую – криптозой (*kryptos* – тайный; отложения криптозоя *скрыты* под современной земной корой). Криптозой занимает около 3,9 млрд лет – 87 % всей истории Земли. Если это четверть ее полного жизненного цикла, то Земля еще очень молода.

Движущаяся (развивающаяся) по траектории, близкой к изображенной на рис. 2.1, *a*, Земля образует вместе с Солнцем и Луной практически замкнутую (обратимую) мегасистему. Существующие внутри нее экогеосистемы меньшего ранга, из-за трения, теплообмена и других процессов, рассеивающих энергию, к началу каждого нового цикла приходят с пониженным потенциалом энергии. Для них характерна траектория затухающего типа, показанная на рис. 2.1, *b*. Такая особенность развития – сокращение периодов (увеличение частоты) колебаний отмечается у многих геолого-географических и социальных процессов: уменьшается со временем длительность геологических эр, теплых и холодных эпох, регрессий и трансгрессий моря, периодов демографических циклов,... [20, 22]. *Типичный пример:* на кривой роста численности населения Земли с начала палеолита (1,6 млн лет назад и до наших дней) выделяется 11 циклов, длительность которых постепенно сокращалась – от 1 млн лет в первом цикле до 45 лет в

последнем [22].

Волнистая форма траектории развития свидетельствует о наличии в каждом его цикле двух противоположных процессов – созидания (на подъеме) и разрушения (на спаде).

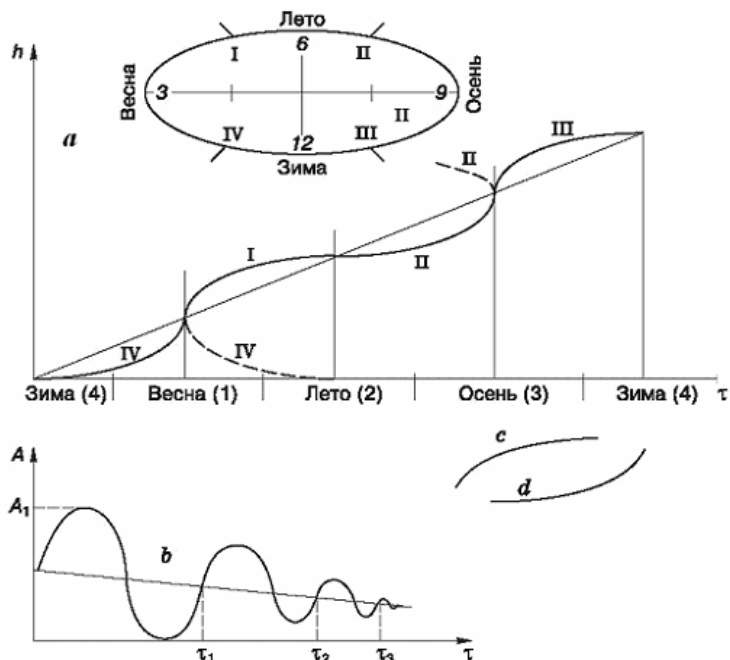


Рис.2.1. Схематический вид траектории развития

a – развертка эллипсоидальной орбиты. I–IV – номера тактов, $1-4$ – номера стадий, 3, 6, 9, 12 – номера месяцев (часов), h – вертикальная проекция развертки), b – затухающая цикличность, A – амплитуда колебаний, τ – время, c – форма затухающего такта, d – то же, возрастающего. Остальные пояснения см. в тексте.

Годовой, месячный и суточный циклы играют главную роль в жизни экогеосистем, определяя ритмический (волновой) характер как их взаимодействия с внешним миром: приход и расход лучистой энергии Солнца в годовом и суточном циклах; приливы (поднятия) и отливы (опускания) массы, в первую очередь, жидкой, в лунном цикле; так и собственного функционирования: рождение, расцвет, затем угасание и гибель.

СКРЫТАЯ ФОРМА РАЗВИТИЯ

Из эволюционной схемы (см. рис. 2.1) следует, что около 25 % траектории развития (условные зима или ночь) находятся в “темной” зоне, закрытой для непосредственных наблюдений. Еще примерно столько же (начало весны и конец осени), если использовать ту же, “световую” терминологию, лежит “в сумерках”. Таким образом, в каждом цикле развития область реальности и фактического знания располагается только с одной “освещенной” стороны. С другой, теневой – находится область иррационализма (“зазеркалье”), где вещи, пространство и время теряют определенность; т. е. их “не видно”. Материалистический критерий истины – практика, опыт – здесь не работает. Сознание (разум) “спит”. Это область подсознания, веры, суеверий и мифотворчества, но и гениальных озарений. Здесь они получают право на существование, свой, так сказать,

онтологический статус.

Такт IV (рис. 2.1), включающий вторую половину зимы и первую половину весны, можно назвать эмбриональным, или инкубационным. В это время внутри системы скрытно рождается новая структура, генетически связанная со старой, наследующая ее свойства и общее направление развития. Скорость развития (деформации) в конце этого такта устремляется в бесконечность, а время, наоборот, сокращается до мгновения. Узкое пространство, скорость развития в котором уже невозможно измерить, и принимается за элементарный (условно неделимый) цикл, понятие о котором введено выше. Вся предшествующая история и опыт взаимодействия с окружающей средой здесь как бы сжимаются, и в таком упакованном (закодированном) виде хранятся в генетической памяти потомства, определяя его морфологию, физические и химические свойства (а в мире живого – инстинкты и психику) и пределы устойчивого существования. Сжимаются до элементарных размеров и субъекты событий. Здесь начало и конец всего: “Тут берега сходятся, тут все противоречия вместе живут” (Ф.М. Достоевский). Это царство случайности и хаоса, из которого непостижимым образом рождается порядок.

С развитием науки и техники область “тьмы” (незнания) постепенно сокращается, но не беспредельно. Квантовая

механика, описывающая мир элементарных частиц, их невообразимое множество, хранящее в генетической памяти все предшествующие стадии формообразования, устанавливает границы познания (принцип неопределенности Гейзенберга, не позволяющий одновременно определять скорость и местоположение точки) и тем самым безопасного вмешательства в скрытую природу вещей. Вероятностные оценки здесь мало приемлемы, поскольку чрезвычайная подвижность элементарных частиц, их неустойчивость, чувствительность и реагирование на любое, как угодно малое возмущение, включая вызванное наблюдением, делают возможными события едва ли не любой малой вероятности.

Образно говоря, элементарный цикл является *кладовой* генетического материала и информации, скрытой *кухней* эволюции, ее внутренним механизмом, попытки постижения которого опасны и непредсказуемы. В социальных (общественных) системах понятие элементарного цикла, его содержания по своей сути сходно с понятием *габитуса*. По А. Панарину [49], габитус — это совокупность правил коллективного поведения, сформировавшихся на основе приспособления к историческим и географическим условиям и укоренившихся на подсознательном уровне; механизм социального сплочения, реально действующий

только оставаясь непознанным. Всякая рефлексия – осмысление мотивации, целесообразности, “экспериментальная” проверка и т. п., ведет к разрушению габитуса, разрыву социальных связей и деградации социума. В этом смысле габитус – то же, что и моральный кодекс. А если подходить к морали рационально – “типа конкретно” анализировать, например, последствия нарушения заповеди “не укради”, то воровство, особенно в крупных размерах, оказывается не только увлекательным (хотя и рисковым) и прибыльным бизнесом, но даже, как считают наши либеральные экономисты, и необходимым условием перехода к *развитому* (“цивилизованному”) капитализму. Иначе говоря, начальная фаза развития капитализма, как и других систем, носит скрытный (неявный) характер и не переносит пристального к себе внимания.

ЦИКЛЫ И ТЕМПЫ РАЗВИТИЯ, ИХ ОТРАЖЕНИЕ И ВОСПРИЯТИЕ

У каждой экогеосистемы свой жизненный цикл – от появления “на свет” до ухода из него, определяющий темпы развития и свое восприятие времени (реакция на него). Герой одного фантастического романа умел перемещаться в замедленный мир, в котором движущиеся люди практически замирали, кулак зависал

в воздухе, а пули летели так медленно, что можно было их ловить и менять направление движения. Можно предположить, что комары и мухи реально живут в подобном замедленном темпомире: их нелегко прихлопнуть, они словно загодя видят все наши движения. В темпомире черепах или улиток, наверное, наоборот: там люди всегда бегут, птицы и самолеты не летают, а периодически исчезают или материализуются прямо из воздуха. Современный кинематограф с помощью манипуляций со скоростью оборотов киноленты может воссоздать на экране подобного типа темпомиры с ускоренным или замедленным ходом событий, не наблюдаемым в реальных условиях.

Темпомир, в котором живет человек, его внутреннее время обусловлены главным образом совокупностью вращательных циклов Земли – суточного, месячного и годового, а также возрастом. Течение времени, как обратной величины скорости или частоты происходящих изменений (событий, обобщенно – деформаций), неравномерно. На этапе подъема (в детстве) вслед за уменьшением скорости развития, оно по сравнению с “главным” (часовым), равномерно текущим временем увеличивается (вспомните, как долго тянулись школьные годы). Вот как об этом времени образно пишет башкирский поэт М. Каримов: *“А я так спешил! Как спешил я, о Боже! Но ход мирозданья был медлен, как*

сон. И солнце всходило, ленивое, позже. И били часы не со мной в унисон". В стадии зрелости, на вершинном отрезке развития, внутреннее время синхронизируется с часовым, "бьется с ним в унисон". На спаде (после перехода через вершину - середину "жизни") с увеличением темпов старения время сокращается, появляется видение конца пути (начала *ночи*) и поэт продолжает: *"А путь предо мной все короче, короче, хочу я проехать его не спеша, но катится в дальнюю сторону ночи арба моей жизни, мужайся душа!"*.

Окружающий мир мы видим и ощущаем так, как позволяют его видеть и ощущать наши сенсорные органы и приборы. Геолого-географические и биологические процессы развиваются на порядок медленнее, чем жизнь человека, и по сравнению с ее течением как бы застывают во времени периодами (геологическими эрами, климатическими эпохами и т. п.) с примерно постоянными параметрами состояния, разделенными короткими кризисными участками, на которых одни параметры скачкообразно меняются на другие. Эти периоды локализуются структурами с однородными устойчивыми свойствами – ландшафтами, биоценозами, биомами..., а кризисные времена – граничными участками, концентраторами напряженности и нестабильности – экотонами (фронтиром). Иными словами, каждому природному комплексу соответствует

период времени (цикл) пропорциональной крупности с однотипными внешними условиями, в том числе каждому экотону соответствует элементарный цикл, изменения (деформации) внутри которого происходят в скрытой (утробной, невидимой) фазе. Отсюда кажущееся выпадение промежуточных форм явного существования, в частности переходных видов у животных. На самом деле они краткосрочно появлялись и накапливались в скрытой стадии развития, пока их количество не перешло в качество, и на “свет” появились новые виды, наиболее приспособленные к длительному существованию в данных природных условиях.

Ритмичность процессов обуславливает пространственную ритмику природных структур (термических поясов, биотических комплексов, тектонических образований, рельефа) – своего рода стоячие (застывшие) волны. Колебания климата, уровня океана, оледенений, история биосферы запечатлены также волнистым распределением по глубине температуры, специфическими напластованиями горных пород, ископаемых останков флоры и фауны. Колебательный режим (волновые свойства) и стадийность характеризуют все экогеосистемы – это способ их существования.

РАЗВИТИЕ ИДЕИ ЦИКЛИЧНОСТИ

Идея цикличности (колебательного режима) и стадийности развития лежит и в традиции русской историко-философской мысли. Выше уже приводилось высказывание М.В. Ломоносова о циклах обновления народонаселения. К.Н. Леонтьев [37, с. 271] задолго до Шпенглера и А. Тойнби показал цикличность развития государств, народов и культур. Стадии циклов он сравнивал с “фазами онтогенеза, где есть эмбриональный период, рост и расцвет всех возможностей, угасание и смерть”. Основываясь на идее цикличности развития общественных формаций, он еще в конце XIX в. предсказал революцию в России, построение в ней “социалистического феодализма” как “реакцию против разрушающего либерализма, которому на экономической почве всегда соответствует бессовестное господство денег” и противоборство с его оплотом: “Все – Америкой” [37]. Согласно Н.С. Трубецкому (по: [1]): “История человечества есть история смены различных типов культур; последовательность зарождения, расцвета и упадка культур всегда, всюду может быть установлена”. По Н.Н. Моисееву [44], развитие – это “непрерывное образование новых форм организации, их неизбежное разрушение, последовательные переходы от

одних состояний к другим”.

Идеи стадийности и круговращения пронизывают все религии, особенно восточные – индуизм, джайнизм, буддизм, даоизм, согласно которым все сущее возникает, развивается и исчезает. В индуизме, например, контроль за основными стадиями развития осуществляют три (троица – Тримурти) верховных божества: Брахма – создатель, Вишну – хранитель, Шива – разрушитель. В Библии, у Экклезиаста читаем: “И возвращаются ветра на круги своя”... “Время бросать камни и время собирать камни” ... “Все реки впадают в море, но оно не переполняется”.

Колебательный режим (волновые свойства) и стадийность присущи всем экогеосистемам любого ранга и физической природы. В три явные стадии развития, например, вполне укладывается история человечества в общепринятом (упрощенном) ее понимании как последовательной смены идентичных типов социально-общественных и культурных образований (фаз): 1) примитивное общество, примерно соответствующее стадии становления; 2) традиционное с более или менее устойчивыми аграрной (рабовладельческой и феодальной) и индустриальной (капитализм) фазами и 3) посттрадиционное, несущее на себе печать упадка одной цивилизационной традиции (культуры) и зарождения другой. Из-за разных условий (не в последнюю очередь –

географических) и контролируемых ими темпов развития одновременно существуют все типы общественно-государственных устройств, хотя бы в зачаточной или рудиментарной форме (“все меняется, но ничего не пропадает”). Не все этносы и народы прошли весь возможный путь развития. Древние цивилизации переходили в посттрадиционную (“осеннюю”) стадию и разрушались уже при ломке рабовладельческой фазы.

Наличие жизненного цикла, включающего упомянутые стадии развития, установлено у различного рода производственных организаций и социальных групп. В 60-х годах прошлого века в США появилось и вскоре разошлось по миру представление об организации любого типа (фирме, банке, госучреждении, научном или учебном заведении, политической партии и т. п.) как о “квазиприродной самоорганизующейся системе, развивающейся по неким объективным законам” [45]. Развитие организационных структур стали сравнивать с развитием живых организмов. Известный американский социолог Дж. Гарднер писал [45]: “Как люди и растения, организации также имеют свой жизненный цикл. Они проходят время зеленой и гибкой юности, расцвета и сучковатой старости... Организации могут преодолеть время от юности до старости за два или три десятилетия, а могут жить веками”. Иными словами, жизнь, функционирование, тенденции развития

производственных и социальных организаций любого типа зависят не только от желания и воли начальства и трудовых усилий персонала, но и от объективных законов эволюции, включающей в себя стадии становления, зрелости и деградации.

Многократно (начиная с XIX в.) высказывалась идея о том, что сложные составные таксоны (виды, роды, семейства и т. д.), как и отдельные особи, проходят в своем развитии закономерные стадии молодости, зрелости, старости и вымирания [40, 41]. Эта идея отнюдь не тривиальна. Люди издавна мечтают о бессмертии. Многие, в том числе некоторые ученые, верят в возможность бессмертия, считают старость и смерть, чем-то вроде болезни, отклонения от нормы. Тем более что подтвердить эту идею фактическим материалом из-за длительности жизненного цикла крупных популяций долго не удавалось. Выполненный в Чикагском университете [82] детальный анализ пространственно-временного распространения 140 вымерших видов новозеландских моллюсков вполне подтверждает эту идею. Исследованные виды моллюсков появились и вымерли примерно от 40 до 3 млн. лет назад. Для каждого вида была вычислена и построена диаграмма его встречаемости на каждом этапе существования. В качестве меры встречаемости использовали долю коллекций определенного возраста, в

которых присутствует данный вид. Оказалось, что около 60 % видов демонстрируют схожую динамику: в начале своей истории они сравнительно редки, потом в какой-то момент достигают максимальной встречаемости, а затем снова становятся все более редкими. Обобщив все 140 диаграмм, построили один график, показывающий усредненную динамику развития вида и рода. Получился типичный эволюционный (жизненный) цикл с ростом, расцветом и упадком, который у всех изученных видов и родов неизменно заканчивался вымиранием. Развитие “усредненных” вида и рода показано на рис. 2.2, *а* [40, 82]), где указано относительное время в долях от общей продолжительности жизни рода и вида (j_τ) и максимальные, минимальные и средние значения доли палеонтологических коллекций данного геологического возраста, в которых присутствует данный род или вид (встречаемость B).

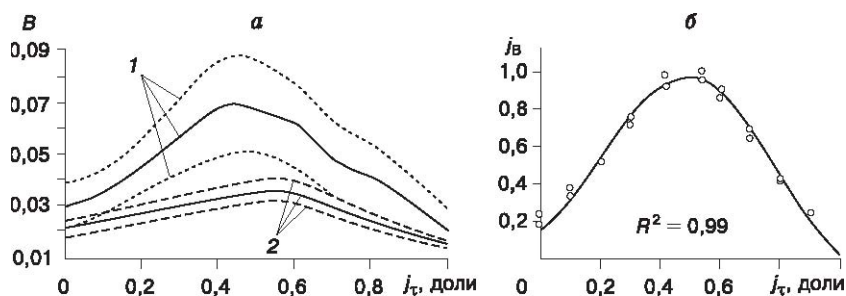


Рис. 2.2. Зависимость обобщенной встречаемости B (*а*) и j_B (*б*) от общей продолжительности j_τ у видов (1) и родов (2) моллюсков.

По такой методике получен очень похожий куполообразный усредненный график жизненного цикла морских ежей [41]. Отметим, что и встречаемость и условное время можно отождествить с относительной деформацией этих параметров, в общей трактовке представляющей собой долю от некоего абстрактного целого.

Средние значения встречаемости моллюсков $B = B_c$ на рис. 2.2, *a* изменяются от 0,015 до 0,036 для видов и от 0,02 до 0,069 для родов. По этим данным, приведенным к относительному виду, $-j_B = (B_c - B_{c1}) / (B_{c2} - B_{c1})$, где B_{c2} и B_{c1} – максимум и минимум величины B_c , построен обобщенный график жизненного цикла моллюсков (см. рис. 2.2, *б*). Все экспериментальные точки ложатся на одну кривую как на видовом, так и на родовом уровне, которая с высокой достоверностью ($R^2 = 0,99$) описывается полиномом 4й степени:

$$j_B = 10,4 j_\tau^4 - 20,62 j_\tau^3 + 9,22 j_\tau^2 + 0,88 j_\tau + 0,15 \quad (2.1)$$

Форма жизненного цикла твердых и твердообразных тел (систем), его очертание совпадают с кривой изменения их плотности, от которой напрямую зависят основные показатели “жизненной силы” – прочность и долговечность. Плотность материалов, из которых состоят организмы (древесной или костной и мышечной

ткани и др.), сначала увеличивается, достигая максимума в стадию зрелости, а затем убывает. Например, плотность костной ткани человека меняется на протяжении всей его жизни. После рождения она линейно возрастает, достигая пика к 25–30 годам; от 30 до 45 лет она практически не меняется, затем начинается естественный физиологический процесс разрежения структуры кости.

У здорового человека в этом возрасте кости становятся рыхлее примерно на 1 % в год. Под микроскопом в разрушающейся костной ткани пожилого человека видны многочисленные поры. Отсюда и название заболевания – остеопороз, в переводе с древнегреческого означающее “пористая кость” [48]. Точно также изменяется во времени плотность нагруженного твердого тела, в частности мерзлого грунта: сначала она увеличивается, а затем уменьшается (см. главы 4, 5).

Цикличность и стадийность развития крупных экогеосистем на примере озерно-болотных комплексов в районах “вечной мерзлоты”, в эволюции которых от термокарстового образования до болота четко прослеживаются стадии “зарождения”, “юности”, “зрелости” и “дряхлости”, хорошо показаны в работе [38]. Куполообразная (параболическая) форма жизненного цикла в этом случае формируется за счет характера изменения в процессе эволюции плотности биоты на единицу поверхности, минимумы которой

приходятся на начало и конец цикла, а пик достигается на стадии зрелости.

Итак, вращение Земли является движущей силой эволюции экогеосистем, как бы ее четырехтактным двигателем, работающим на энергии Солнца. Четырехстадийная (или четырехтактная) траектория развития в форме развертки витка эллипсоидальной спирали, задаваемая вращением Земли, присуща всем ее системам: геолого-географическим, биологическим, социальным, информационным и т. д. Она определяет возрастные фазы их “жизненного” цикла: зарождение, становление (молодость), зрелость, старение и гибель.

ЖИВОТВОРНАЯ СИЛА ВОДЫ

Жизнь, как известно, возникла в достаточно горячей водной или обводненной среде (растворе, суспензии), как бы выкристаллизовалась из нее при понижении температуры. Все земные организмы в основном состоят из воды, растительные – до 90 % и более, и их функционирование ограничено областью ее существования в жидкой фазе. Эта область лежит между зоной вечного холода, где средняя температура самого теплого месяца не поднимается выше температуры замерзания воды – 0 °С, и поясом жарких пустынь, где величина осадков стремится к нулю. Верхние

температурные пределы жизни как “способа существования белковых тел”: температура коагуляции белка около 50 °С, а тем более температура кипения 100 °С, на поверхности Земли не достигаются, по крайней мере, на длительные сроки; максимальная (как правило, июльская) среднемесячная температура равна 36–37 °С (в Центральной Африке), максимальная среднегодовая – около 30 °С [68, 72].

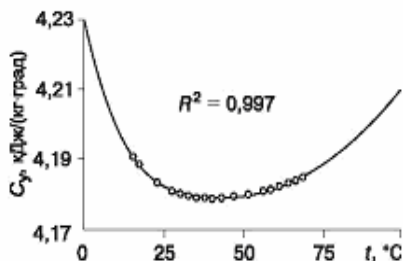
На температурной шкале существования обычной воды, в пределах от 0 до 100 °С, выделяются еще две важные точки: температура максимальной плотности – +4 °С, у минерализованной воды – около +5 °С, которая примерно совпадает с началом вегетационного периода у холодостойких растений, и температура минимальной теплоемкости – около 37 °С [34]. Теплоемкость воды повышается при температурах выше и ниже 37 °С, причем при температурах 35...40 °С, совпадающих с температурой тела теплокровных (гомойотермных) организмов, она близка к постоянной. Зависимость удельной теплоемкости воды (C_y) от температуры, по справочным данным [34], показана на рис. 2.3. Она хорошо описывается полиномом 4-й степени:

$$C_y = 4 \cdot 10^{-9} \cdot t^4 - 9 \cdot 10^{-7} \cdot t^3 + 9 \cdot 10^{-5} \cdot t^2 - 3,4 \cdot 10^{-3} \cdot t + 4,23. \quad (2.2)$$

Начиная с температуры максимальной плотности, вода приобретает потенциальную “животворную” (продуцирующую) силу, нарастающую с повышением температуры до 35...40 °С, соответствующей минимальной теплоемкости и энтропии, а затем убывающую, которая реализуется в растениях в течение вегетационного периода. Чем меньше теплоемкость тела, тем быстрее оно нагревается и остывает, тем больше скорость оборота его энергии, выше “живучесть” и производительность.

Рис. 2.3. Зависимость удельной теплоемкости (C_v) от температуры (t).

Точки – данные [34], линия – расчет по формуле (2.2)



Химические реакции обмена наиболее интенсивно протекают также в указанном интервале температур [71]. “Животворная” сила воды при этих температурах проявляется на всех биосферных уровнях, начиная с клеточного. Открыт ген долголетия, в котором закодирован термочувствительный белок, синтезирующийся при температурах выше 33 °С и делающий клетку способной к едва ли неограниченному делению. При повышении температуры примерно до 40

$^{\circ}\text{C}$ синтез быстро прекращается и клетка возвращается в нормальное состояние [52]. Температура $36,7^{\circ}\text{C}$ является универсальной и в космическом плане. Для сопоставления энергии Космоса и эволюции Земли, в том числе биологической, введены понятия средних геометрических значений времени τ_a , пространства (ζ) и температуры вакуума (T_b) Вселенной и вычислены их величины; значение τ_a – квадратный корень из произведения минимального и максимального, в рамках современной физики, времени, оказалось близким к среднему периоду тепловых колебаний атома $\tau_a \approx 10^{-13} \approx 12^{-12}$ с, величина ζ – к среднему размеру живой клетки $\sim 4,65 \cdot 10^{-5}$ м, а $T_b \approx 36,65^{\circ}\text{C}$ [12]. В нашем темпомире структуры с жизненным циклом, превышающим сотни лет, кажутся застывшими, почти вечными. Составляющие их меньшие циклы со своим (меньшим) периодом существования проявляются через колебания размеров и массы экогеосистемы и характеризуют периодичность ее обновления. Само существование системы заключается в постоянном обновлении ее элементарных частей (клеток); как только обновление прекращается, система стареет и погибает. Подсчитаем, например, усредненные периоды обновления биомассы – фитоциклы – крупнейших растительных группировок (биомов) и биоклиматических комплексов (зон). Под

фитоциклами ($\tau_{об}$, годы) будем понимать отношение биомассы (M , кг/м^2) к ее годовому приросту – продукции (Pr , $\text{кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{год})$), т. е. $\tau_{об} = M/Pr$. Годовая продукция Pr выступает по отношению к биомассе M как ее элементарная часть или, поскольку годовой прирост продукции равен ее убыли, как ее элементарный (годовой) цикл. По данным Р. Уиттекера [39], о биомассе и биопродукции: 1) в тропическом влажном лесу, 2) в широколиственном лесу, 3) в тайге, 4) на земном шаре в целом, находим $\tau_{об}$ (в числителе M , в знаменателе Pr): 1) $45/2,2 = 20$; 2) $30/1,2 = 25$; 3) $20/0,8 = 25$; 4) $3,6/0,333 = 11$ лет. Аналогично рассчитанные по данным Н.Н. Базилевич [6] фитоциклы основных термических поясов: полярного, бореального (вместе с суббореальным) и тропического (вместе с субтропическим), а также всей суши Земли, составили цифры такого же порядка, соответственно: 11, 22, 22 и 13 лет [33]. В обоих случаях получились числа, близкие к периодам основных циклов солнечной активности (Вольфа и Хейла).

В процессе зарождения и развития жизни выделяются два этапа. Первый, эмбриональный (утробный), или преджизнь, если проводить аналогию с кристаллизацией воды, представляет собой своеобразный процесс переохлаждения водного раствора определенных

питательных веществ ниже температуры минимальной теплоемкости 41...35 °С, до, примерно 33 °С (температурный оптимум для деления клеток [52]), и скрытного формирования в нем сложных твердообразных (застывших) структур – зародышей жизни. Второй, собственно жизнь – дальнейшее развитие этих структур: от появления “на свет” и до смерти, при более низких, не сильно изменяющихся температурах окружающей среды, но при постоянной (“запомненной”) температуре тела, равной температуре их “застывания”, у высших животных, примерно 41...35 °С. В настоящее время среднее значение температуры застывания (37 °С) сохраняется в виде максимальной среднемесячной температуры воздуха на Земле – верхней климатической границы обитания земных организмов (нижняя примерно равна 4...5 °С, совпадает с температурами: максимальной плотности воды, воды у океанического дна, начала вегетационного периода растений). Все земные организмы, в значительной мере состоящие из воды, их таксоны любого уровня проходят свой жизненный цикл, форма которого обратна циклу изменения теплоемкости воды (см. рис. 2.3) и, вероятно, им обусловлена.

МЕРЗЛОТНАЯ МОДЕЛЬ “ЖИЗНЕННОГО” ЦИКЛА

Наглядной качественной аналогией житнетворения может служить кристаллизация грунтовой влаги. На рис.3.4 [73] приведен типичный пример хода температуры влажного грунта в цикле замерзания – оттаивания. Формирование структуры льда – каркаса, в ячейках которого формируются зародыши кристаллов, начинается при понижении температуры воды t ниже $+4^{\circ}\text{C}$, когда ее плотность начинает медленно, со скоростью порядка сотых долей процента на градус, убывать, а давление соответственно возрастать.

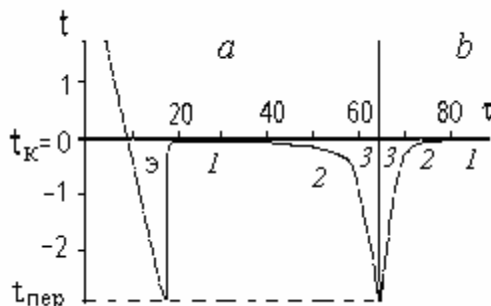


Рис.2.4. Зависимость температуры t замерзания (a) и оттаивания (b) от времени (τ); 1,2,3 –характерные участки

Установление $t = t_{пер} < t_k$ (здесь $t_{пер}$ и t_k – температуры переохлаждения и кристаллизации) соответствует достижению метастабильного состояния,

предшествующего скачкообразному повышению температуры до значения t_k и появлению первых кристаллов льда.

Переохлаждение создает перепад температур $\Delta t_{\text{пер}} = t_k - t_{\text{пер}}$, необходимый для получения энергии образования центров кристаллизации. Температуру и продолжительность переохлаждения, можно сократить и даже свести на нет, например путем встряхивания образца, увеличением внешнего давления P или с помощью затравок кристаллизации, в качестве которых могут быть использованы различные примеси и вещества, по строению близкие ко льду. Естественными затравками являются растворенные в воде соли, ионы которых увеличивают количество активных поверхностей, служащих центрами кристаллизации.

Температура грунта в области выше $t_{\text{пер}}$ зависит от температуры охлаждающей среды $t_{\text{ох}}$ и его теплофизических свойств. В общем случае $t_{\text{пер}}$ равна температуре, которая установилась бы в данном месте и при отсутствии фазовых превращений (т.е. в сухом грунте), согласно закону теплопроводности, по которому при $\tau < \infty$ $t_{\text{пер}}$ всегда выше $t_{\text{ох}}$. С приближением к поверхности образца и уменьшением размеров датчика температуры эта разница сокращается, стремясь к нулю. Допустимо принимать, что $t_{\text{пер}} \approx t_{\text{ох}}$ [18].

Чем ниже температура охладителя, тем меньше период переохлаждения $\tau_{\text{пер}}$. При достаточно низких $t_{\text{ох}}$ величина $\tau_{\text{пер}}$ становится меньше разрешающей способности измерительных приборов и весь участок переохлаждения из-за его малости не фиксируется наблюдениями. Для примера на рис.2.5 приведены результаты наших (с Л.Т.Роман), опытов по определению $t_{\text{к}}$ и $t_{\text{пер}}$ у заторфованных глинистых грунтов при разных $t_{\text{ох}}$. Из него видно, что $t_{\text{пер}}$ всегда выше $t_{\text{ох}}$, причем с понижением $t_{\text{ох}}$ область переохлаждения сокращается и при $t_{\text{ох}}$ около минус 6 °С уходит за пределы «видимости» измерительных приборов.

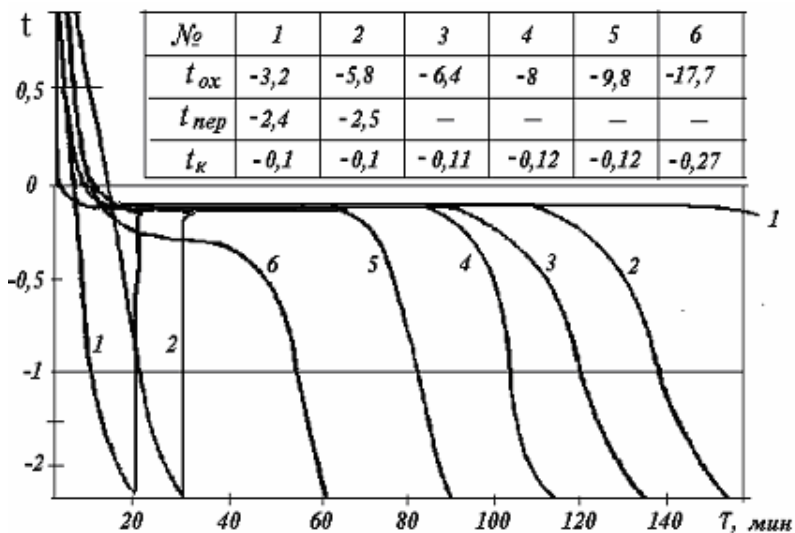


Рис.2.5. Термограммы промерзающего грунта при разных t_{ox} , $t_{пер}$ и $t_к$

Но и во всех других случаях $t_{пер}$ выше t_{ox} . Видимо это связано с тем, что метастабильное состояние в них наступило, точнее сказать, - зафиксировано (наблюдено), при температурах выше t_{ox} . В то же время ничто не запрещает полагать, что при этом произошло также и мгновенное, инструментально “не замеченное” понижение температуры от $t_{пер}$ до t_{ox} . И только после этого, в следующее мгновение, она повысилась до $t_к$. Т.е. при достаточно низких t_{ox} температура грунта в метастабильном состоянии мгновенно пробегает весь

спектр температур - от наблюдаемой $t_{пер}$ до скрытой (ненаблюдаемой) $t_{ох}$ и обратно, до t_k . Но из-за сверхбыстрой скорости пробега температуры ниже наблюдаемого значения $t_{пер}$ не отражаются на физических свойствах грунта.

Зависимость $t_{пер}$ от $\tau_{пер}$ детально исследована в [18]. На рис.3 показаны графики этой зависимости для суглинка с влажностью 26,2 % (опыт 1) и 20, 5 % (опыт 2). Точки на графиках – результаты опытов; кривые построены по формуле, аппроксимирующей эти графики:

$$\tau_{пер} = \tau_{min} (t_{min} / t_{пер})^{1/g} = \tau_{min} (t_{пер} / t_{min})^{-1/g}, \quad (2.1)$$

где τ_{min} и t_{min} - минимальное время и температура переохлаждения на это время, тоже минимальная (по модулю – максимальная), отсчитываемая (как и $t_{пер}$) от t_k ; g – безразмерный эмпирический коэффициент.

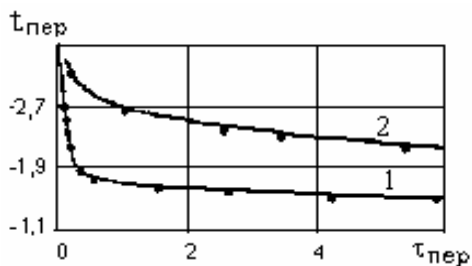


Рис. 2.6. Связь $t_{пер}$ (°C) и $\tau_{пер}$ (10^5 с или 20,6 ч)

Величина g в (2.1) близка к относительной деформации кристаллизации $g \approx j_k \approx 0,09$, а максимальное переохлаждение (мгновенное, при длительности переохлаждения, равной периоду колебаний атомов: $\tau_{\text{пер}} = \tau_{\text{min}} \approx 10^{-13}$ с) при подстановке в (2.1) опытных данных, получается равным минус 22-25°C. Это близко к минимальной температуре (-22 °C), при которой еще может существовать (не замерзать) обычная вода (см. ниже, рис.4.6). Т.е. пределы изменения $t_{\text{пер}}$ и t_k примерно одни и те же (0 и -22 °C).

Из формулы (2.1) следует, что для каждой грунтовой разности

$$t_{\text{пер}} (\tau_{\text{пер}})^g = t_{\text{min}} (\tau_{\text{min}})^g = \mathcal{E} = \text{const} \quad (2.2)$$

Величина $\mathcal{E}$ определяется эмпирически по результатам определения нескольких, любых (необязательно предельных), пар $t_{\text{пер}}$ и $\tau_{\text{пер}}$. Оценим ее, например, для условий опыта 1 на рис.2.6: суглинок с влажностью 26, 2%, $t_k = -0,4 \dots -0,5^\circ\text{C}$, $g \approx 0,1$; $t_{\text{min}} = -3,3^\circ\text{C}$ и $\tau_{\text{min}} = 30$ с. Подставив в (2.2) эти цифры, получаем: $\mathcal{E} \approx -4,6$ ($^\circ\text{C} \cdot \text{с}^{0,1}$). С помощью (2.2) можно установить минимальную температуру охлаждения $t_{\text{ох}}$, при которой еще наблюдается (улавливается приборами) величина $t_{\text{пер}}$. В частности, при $t_{\text{пер}} = -4,6^\circ$ величина $\tau_{\text{пер}}$ составляет 1с, при -5° она равна 0,43 с, а при -8° - всего 0,004 с. Ясно,

что в данном случае $t_{\text{пер}}$ фиксируется при $t_{\text{ох}}$ не ниже -5°C . При повышении $t_{\text{пер}}$ величина $\tau_{\text{пер}}$ растёт. В том же опыте, но при $t_{\text{пер}} = -1$, $\tau_{\text{пер}}$ уже около 2 мес, и далее быстро увеличивается, стремясь к ∞ .

Итак. При достижении некоторого отрицательного значения температуры $t_{\text{пер}} < t_k$ и плотности, близкой к плотности льда температура скачкообразно повышается до величины t_k и появляются первые кристаллы льда. Совокупность точек их зарождения образует фронт последующей объемной кристаллизации (ФК) - подвижную микропрослойку, толщиной порядка диаметра зародыша кристалла с температурой $t_k = \text{const}$. Период переохлаждения (участок Э на рис.2.4 – скрытая или эмбриональная стадия кристаллизации) делится на два резко асимметричных участка. На первом, длительностью $\tau_{\text{пер}}$, тепло поглощается и формируются зародыши кристаллов, на втором, *мгновенно* (за мгновение можно принять средний период тепловых колебаний атомов – время их оседлой жизни $\tau_a \approx 10^{-13}\text{c}$), тепло выделяется и зародыши являются “на свет” с одновременным повышением температуры до $t = t_k$ и выделением первой порции ΔQ_k скрытой теплоты кристаллизации. Далее начинается *явная* стадия кристаллизации (участки 1-3 на рис.2.4), на которой влияние $t_{\text{ох}}$ в значительной степени перекрывается

влиянием внутреннего источника тепла, каковым является ФК. Его мощность Q_k :

$$Q_k = (C_v - C_l) t_c, \quad (2.3)$$

где C_v и C_l – удельные теплоемкости воды и льда, $t_c = k_{oc}(t_k - t)$ – средняя температура в интервале $(t_k - t)$, k_{oc} – коэффициент осреднения. При линейном распределении температуры $k_{oc} = 0,5$. Анализ справочных данных [34] показал, что у большинства материалов $k_{oc} = t_c / (t_k - t)$, при минимально возможной $t = -273^\circ \text{C}$, не намного отличается от 0,5 (у железа 0,52, у меди 0,56, у нафталина 0,6...). У льда $k_{oc} \approx 0,583$; $C_v = 4,2$; $C_l = 2,1$ (кДж/кг град). В нормальных условиях у льда $t_k \approx 0$. Тогда, $Q_k = 0,583 \cdot 2,1 \cdot 273 = 334$ кДж/кг, а ее малая часть, выделившаяся при образовании ФК,

$$\Delta Q_k = 0,583 (C_v - C_l) (t_k - t_{nep}). \quad (2.4)$$

На явной стадии жидкость последовательно, шаг за шагом, кристаллизуется за счет той порции энергии ΔQ_k , которая скачкообразно выделилась при образовании ФК. На каждом временном отрезке, сопоставимым с τ_{min} , эта энергия расходуется на: а) компенсацию внешнего охлаждения и б) работу по приращению мерзлой зоны на величину Δh_i с выделением очередной порции энергии $\Delta Q_{k,i}$ и с такими же статьями расхода (п. а и б). И так до

полного замораживания термоактивной влаги и истощения Q_k . Т.е. процесс кристаллизации можно представить как череду, пошаговую цепочку, взаимопревращений теплоты (ΔQ_k), изначально выделившейся на скрытой стадии, в работу и обратно. Всего за время кристаллизации ΔQ_k совершает $Q_k / \Delta Q_k$ таких оборотов.

Явная стадия кристаллизации включает три участка. На первом, характеризующемся постоянством температуры t_k , замерзает свободная вода. На термограммах этот участок имеет вид горизонтальной прямой. Затем в диапазоне от t_k до t_{tm} – температуры начала твердомерзлого состояния, кристаллизуется рыхлосвязанная вода. На этих двух участках замерзает почти вся термически активная вода. Величину t_{tm} , при которой утрачивается упругость системы можно сопоставить с ее гибелью.

Замерзание оставшейся прочносвязанной воды продолжается при более низких температурах (до -80°C и ниже), когда интенсивность фазовых переходов резко падает и главные роли в формировании температуры грунта вновь начинают играть t_{ox} и температуропроводность мерзлого грунта. Оттаивание протекает в обратном порядке.

Несмотря на разный характер процессов на скрытой и явной стадиях кристаллизации, в частности, обратной

зависимости от давления и засоленности: $t_{\text{пер}}$ с их увеличением повышается, а $t_{\text{к}}$ понижается, нетрудно заметить и их сходство: обе стадии начинаются от $t_{\text{к}}$; и там и там образуется лед, но на скрытой стадии это происходит на микроуровне и из-за его малости не доступно (или трудно доступно) для наблюдений; схожи по общему виду и степенные формулы их временной зависимости, но показатель степени – обратный [80].

Одинаковы и пределы изменения температур: $t_{\text{пер}}$, отвечающей за образование зародышей кристаллов льда, и $t_{\text{к}}$, отвечающей за дальнейшую кристаллизацию, от 0 до -22°C . Т.е. назначение $t_{\text{пер}}$ на скрытой стадии то же, что и $t_{\text{к}}$ на явной – превращение воды в лед.

Наблюдаемое значение $t_{\text{пер}}$ в определенном (оптимальном) диапазоне температур охлаждения ($t_{\text{ох}} \approx -6...-15^{\circ}\text{C}$) примерно совпадает по величине с температурой окончания замерзания свободной и рыхлосвязанной воды и началом твердомерзлого состояния грунта: $t_{\text{пер}} \approx t_{\text{тм}}$. Каждой температуре на участке переохлаждения талого грунта можно сопоставить равную по величине температуру кристаллизации связанной воды и определенное напряженно-деформированное состояние мерзлого грунта, выраженное через его прочность или долговечность. Иначе говоря, по температуре

переохлаждения талого грунта можно прогнозировать его прочность в промерзшем состоянии [80].

Таковы главные особенности кристаллизации жидкости. В постоянстве температуры этого процесса, близости ее к температуре окружающей среды в момент зарождения твердой фазы просматривается аналогия с затвердеванием жидкообразных структур, из которых впоследствии образовались различные формы жизни.

СОЛНЕЧНО-ЛУННО-ЗЕМНЫЕ СВЯЗИ

Солнечнолунные приливные силы растягивают земной шар и его оболочки (атмосферу, гидросферу и литосферу). При расположении Луны на линии Солнце–Земля приливные силы в центре Земли не равны нулю. Поэтому происходит смещение твердого ядра Земли, ее растяжение по линии Солнце–Луна и уменьшение скорости ее вращения. Это приводит к синхронным изменениям течений океанов, жидких внутренних слоев Земли и циркуляции атмосферы. В твердых слоях земной коры при этом изменяются напряжения и деформации, активизируются вулканы и землетрясения, а в атмосфере наблюдается увеличение меридиональной циркуляции воздуха, приводящее к понижению температуры воздуха. Это и является причиной одновременности похолоданий и повышенной тектонической активности [8].

Земные организмы, состоящие в основном из воды, очень сильно подвержены воздействию солнечно-лунных приливных циклов и синхронизируются с ними. Лунный ритм существует, например, в организме человека. Так, чтобы эритроцит (красное кровяное тельце) прошел по всей сети кровообращения, доставляя клеткам кислород и забирая у них углекислый газ, требуется 28 сердечных сокращений. Иными словами, сердечное сокращение относится ко времени обращения эритроцита как сутки к сидерическому месяцу (28 суткам). У женщин это число соответствует месячному циклу детородных функций. Период полного обновления клеток ротовой полости также равен 28 суткам. Лейкоциты (белые кровяные тельца) двигаются со скоростью, в 12 раз меньшей, т. е. периоды обращения эритроцитов и лейкоцитов соотносятся как год и месяц [74].

Скорость визуального восприятия информации опережает скорость ее обработки мозгом. При малых скоростях ее обновления мозг успевает обработать и выделить каждый ее единичный акт (кадр), а при больших – они сливаются в одну плавную последовательность. Кинематографисты установили предельную (минимальную) скорость смены кадров, при которой их мелькание исчезает и воспринимается как плавное изменение. Она оказалась по величине равной суточному циклу – $12 \cdot 2 = 24$ кадра/с.

ШКАЛЫ И РЕГУЛЯРНОСТЬ ЦИКЛОВ

За синодический месяц (примерно 30 сут) происходит около 30 оборотов Земли вокруг своей оси и $30 \cdot 2 = 60$ оборотов приливной волны с максимумами в новолуние и полнолуние; за год – все в 12 раз больше. Из этого следует, что двойной приливной (механический) цикл примерно подобен солярным (энергетическим) – годовому и суточному с коэффициентом подобия 12, а суммарный приход солнечной энергии и работа приливной волны соотносятся как энергия упругости и ее работа в законе Гука – $30:60 = 1:2$.

Кроме того, число 30 – количество оборотов Земли вокруг своей оси за месяц, комбинируется из числа 12 (1 мес = 30 сут $\approx \ln 12^{12}$ сут $\approx \approx 24 \ln 12^{12}$ ч). В то же время величина $12^{12} \approx 10^{13}$ – это и средняя частота тепловых колебаний атомов в секунду. Таким образом, через число $30 \approx \ln 12^{12}$ прослеживается связь между колебаниями в макро- и микросистемах Земли: месячный цикл – 30 оборотов Земли вокруг своей оси равен логарифму атомного – тоже 30 колебаний около своего среднего положения за 1 с, но в логарифмическом масштабе.

В 30 сутках 720 часа, следовательно, $\ln 12$ в часовом выражении месяца соответствует $720/12 = 60$ ч. Фактически мы пользуемся двумя шкалами времени.

Величина $60 \approx 24 \ln 12$ ч, назовем ее ϖ -час (древние вавилоняне пользовались 60-значной системой счисления), является точкой пересечения этих двух шкал:

1) *годовой (месячной)* с разрядами 1 ϖ -час; $12 \cdot 1$ ϖ -час = 1 мес; $12 \cdot 1$ мес = 1 год (следующим членом этого ряда с некоторой натяжкой можно считать 11 (12)летний цикл солнечной активности) и 2) *часовой* с разрядами: 1 ϖ -час; 1ϖ -час/60 = 1 ч; $1 \text{ ч}/60 = 1$ мин; $1 \text{ мин}/60 = 1$ с. 1 ϖ -час (60 ч) вмещает примерно $60/12 = 5$ приливных циклов. Этому же числу равно и отношение коэффициентов этих последовательностей 60/12, которое в логарифмическом масштабе примерно соответствует Золотому сечению ($\ln 5 = 1,61$). Началом обеих шкал – календарной и часовой – можно положить период тепловых колебаний атома $\tau_a = 10^{-13} \approx 12^{-12}$ с. Переход от ϖ -часа = 60 ч = 216 000 с к τ_a на шкалах с коэффициентами (делениями шкал) 12 и 60 осуществляется по формулам: $\tau_a \approx \varpi\text{-час}/12^{17}$ и $\tau_a \approx \varpi\text{-час}/60^{10}$. Более точно показатели степени в этих формулах равны 16,9 и 10,3 соответственно. Отношения этих степеней $10,3/16,9 = 0,61$, как и логарифм отношения коэффициентов (делений шкал) рассмотренных последовательностей $\ln (60/12) = 1,61$

близки к Золотому сечению (ЗС, подробно этот параметр рассматривается в гл. 6), что говорит об устойчивости этих величин. Если за начало годового цикла принять $\tau_a = 10^{-13}$ с, а за единицу измерения времени 1 с, то на логарифмической шкале времени расстояние между началом $\lg(10^{-13}) = -13$ и концом года $\lg(\tau_r) = \lg(31\,536\,000) = 7,5$ делится единицей измерения $\lg(1) = 0$ в пропорции, тоже близкой к Золотому сечению: $(0 + 13)/(7,5 + 13) = 0,63$.

Отметим также связь солнечного цикла с планетой Юпитер, которая за 12 лет полностью проходит свою орбиту, а лунный – с Сатурном, период обращения которого вокруг Солнца составляет 28 лет, что равно количеству суток в сидерическом месяце.

Приведенные цифры, касающиеся разрядности временных шкал, достоверны лишь приближенно, “в среднем”. Параметры земной и лунной орбит непрерывно изменяются под воздействием других планет, колебаний их взаимного расположения и сил притяжения. Эти воздействия, накладываясь друг на друга, затушевывают четкость ритмов и затрудняют вычленение элементарного времени – инварианта, кратно, без остатка, входящего в периоды всех циклов, связанных с вращением Земли.

Кроме явно выраженных суточного, месячного и

годового природных ритмов, определенно установлены 11 и 22...23летние колебания солнечной активности (посредством изменения количества и размеров солнечных пятен) – циклы Вольфа и Хейла. Они вызывают возмущение магнитного поля Земли и циркуляцию атмосферы и, вследствие этого, – колебания температуры и увлажнения. Следующим в этом ряду является цикл Брикнера. Он более расплывчат и не так четко выражен, как первые два; его период колеблется в пределах 25...50 лет, а в среднем равен 35 годам. А.Л. Чижевский [75] первым указал на совмещенность пиков солнечной активности с землетрясениями и извержениями вулканов, а также вспышками инфекционных заболеваний (холеры, чумы, гриппа,...) и социальными катаклизмами (революциями и войнами). Он показал, что наиболее значимые исторические события повторяются примерно через 100 лет, а внутри каждого столетия наблюдается около 9 периодов с разной степенью общественной напряженности, примерно совпадающие с 11летними циклами солнечной активности.

Перечисленные циклы сопоставимы с общей продолжительностью регулярных астрономических и климатических наблюдений и потому достаточно хорошо прослеживаются и идентифицируются. Они составляют фон, на котором проявляются вращательные циклы

Земли – суточный, месячный и годовой, и примерно четны им.

Отмечают и более продолжительные циклы, с периодами до десятков и сотен тысяч лет, вплоть до максимальных – геологических, с периодом 165–200 млн лет и больше. Их объясняют колебаниями эксцентриситета земной орбиты под влиянием соседних планет, движением планет Солнечной системы по галактической орбите (период обращения 240–250 млн лет) и увязывают с чередованиями ледниковых и межледниковых эпох и циклами орогенеза [21]. Но это зачастую лишь умозрительные гипотезы с существенно различающимися количественными оценками.

Интересно, что иерархия главных вращательных циклов Земли, их совокупности и численные константы: 12, 24, 30, 60 совпадают с величинами основных элементов правильных многогранников – числом входящих в них углов и ребер и, следовательно, геометрически представимы. Правильных многогранников (“платоновых тел”) всего пять: I) тетраэдр; II) куб; III) октаэдр; IV) додекаэдр и V) икосаэдр. В табл. 2.1 приведены суммы геометрических элементов этих фигур – граней (a), углов в каждой грани (b), углов во всех гранях (ab), ребер (v), вершин (z), ребер в каждой вершине (d), ребер во всех вершинах (zd).

Таблица 2.1

Суммы геометрических элементов правильных
многогранников

№	a	b	ab	v	z	d	zd
I	4	3	12	6	4	3	12
II	6	4	24	12	8	3	24
III	8	3	24	12	6	4	24
IV	12	5	60	30	20	3	60
V	20	3	60	30	12	5	60

Количество граней (a) в додекаэдре, как и количество вершин (z) в икосаэдре, совпадает с количеством месяцев в году, а количество ребер (v) в обеих фигурах – с количеством суток в месяце. В свою очередь, общее количество углов (ab) и ребер в вершинах (zd) фигур в ряду I-V соответствует численным показателям вращательных циклов Земли: **12**; $12 \cdot 2 = \mathbf{24}$; $30 \cdot 2 = \mathbf{60}$ (или $12 \cdot 5 = 60$). Отметим также соответствие числа углов в грани додекаэдра ($b=5$), как и ребер в вершине икосаэдра ($d=5$), отношению коэффициентов разрядности двух шкал, выделенных выше на оси времени - $60/12 = 5$. Число 5 связывает додекаэдр и икосаэдр с Золотым Сечением (ЗС) через посредство тригонометрической и алгебраической формул ЗС: $0,618 = 1/(2\cos \pi/5)$ и $0,618 = 2/(1+\sqrt{5})$ (подробней см. главу 6).

Черты икосаэдро - додекаэдрической симметрии обнаруживаются в строении земного шара. Ребрам

соответствуют срединно-океанические хребты, разломы, активные сейсмические зоны, граням – устойчивые платформенные блоки континентальной коры, а узлам (местам схождения узлов)– кольцевые структуры, где находятся центры аномалий магнитного поля, атмосферного давления, гигантских океанических и воздушных завихрений, крупнейшие месторождения полезных ископаемых и зоны крупнейших катастроф. Всего таких узлов 12, они расположены симметрично относительно экватора: пять выше него, пять ниже, перекрестно друг к другу, примерно через каждые 72° , образуя волнообразный круг, еще два – на Северном и Южном полюсах. Печально знаменитый Бермудский треугольник находится в одном из этих узлов [16].

Глава 3. ЭНТРОПИЯ И ТЕПЛОЕМКОСТЬ.

*Энергия мира постоянна.
Энтропия мира стремится к
максимуму.*

Р. Клаузиус

ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

За затухание собственных колебаний, конечность существования любой системы ответственна энтропия S – параметр, связанный с теплоемкостью (энергоемкостью) C и имеющий ту же размерность, кДж/град. Формула этой связи [79]:

$$S = \int_0^T (C/T) dT = C \cdot \omega, \quad (3.1)$$

где ω – интегральный коэффициент, зависящий от температуры.

Если зависимость C от T линейна, как например у льда ($C \approx 0,0078T$, кДж/(кг·град) [60]), то $\omega \approx 1$. В остальных случаях величина ω больше; в частности, у металлов при комнатной температуре она колеблется между 1 и 2; например, у меди, серебра, цинка и олова значения $\omega = S/C$ составляют: 1,48; 1,18; 1,22 и 1,06 [34]. Таким образом, $S \geq C$, причем знак равенства отвечает началу деградации системы.

При постоянстве температуры и давления энтропия изменяется во времени, от некоторого минимума, стремящегося к нулю, до максимума, соответствующего полному разрушению системы; теплоемкость от времени не зависит. Произведение $C \cdot T$ дает величину внутренней энергии $U = C \cdot T$, произведение $S \cdot T$ – связанной.

Разница между ними $F = U - S \cdot T$ называется свободной энергией, а ее отношение $F/T = S_n$ – негэнтропией (отрицательной или негативной энтропией). За счет свободной энергии и негэнтропии и функционирует (“живет”) система. По меткому выражению Э.

Шрёдингера, система “питается негэнтропией” [78].

Первоначально введенное в научный обиход Р. Клаузиусом в качестве показателя деградации энергии в изолированной системе – превращения всех ее видов в тепло, в дальнейшем это понятие приобрело универсальный смысл увеличивающегося беспорядка, износа, “производства пустоты”. Эрозия и выполаживание склонов, усыхание, разуплотнение и потеря связности материалов, коррозия металлов, обесцвечивание, старение – все эти и подобные процессы, со *временем* уравнивающие систему с окружающей средой, являются выражением и результатом энтропии. По существу *время* – это такая же руководящая развитием “сила”, как давление, температура, свет и другие внешние факторы, и приводящая в конечном счете к тому же результату – разрыву связей между частицами системы и рассеянию их в окружающем пространстве. Но в отличие от других сил время не знает скачков и перерывов, оно действует только в сторону увеличения, монотонно и непрерывно. Для количественного анализа систем используют вероятностное (“больцмановское”) выражение энтропии [5]:

$$S = k \ln W, \quad (3.2)$$

где $W = V/V_0$ – термодинамическая вероятность

(количество реализаций микросостояний в данном макросостоянии или количество элементарных частиц в системе); V_0 и V – элементарный и текущий объемы системы; k – постоянная Больцмана, имеющая смысл элементарной энтропии.

Энтропия тесно связана с разрушением и деформацией. Каждая частица вещества скреплена с соседними множеством связей, образующих вокруг нее нечто вроде упругой оболочки или совокупности связей. При разрушении эта совокупность рвется, на месте разрыва образуется “пустота”. Число таких разрывов при полном распаде тела равно количеству элементарных частиц (атомов). Расход времени на отрыв одного атома – τ_0 , всех – в W раз больше, тогда

$$\tau/\tau_0 = W/V_0. \quad (3.3)$$

Энтропия обычно понимается как показатель разрушительного действия времени. Совместное решение (3.3) и (3.2) дает выражение непосредственной связи этих параметров

$$S = k \ln (\tau/\tau_0). \quad (3.4)$$

Энергия разрушения U примерно равна скрытой теплоте сублимации Q_c [56]. Ее величину можно рассматривать как энтальпию, которая складывается из свободной энергии, при постоянной T , равной γP (γ – объем “атома”

на момент его отрыва), и связанной энергии TS . Подставив в произведение TS выражение энтропии (3.4), после несложных преобразований находим формулу долговечности (времени до разрушения) твердого тела τ , аналогичную известной из кинетической теории прочности [56] (подробнее об этом в гл. 4):

$$\tau = \tau_0 \exp [(Q_c - \gamma P)/kT]. \quad (3.5)$$

Термодинамика, в методологический аппарат которой входит термин *энтропия*, зародилась в начале XIX в. при исследовании работы появившихся в то время тепловых машин – технических систем, для которых понятие становления лишено смысла. Их создает человек, и в дальнейшем они естественным образом могут только разрушаться. Экогеосистемы, создаваемые самой природой, обязательно проходят этап становления (подъема), включающий эмбриональную (инкубационную) и ювенальную стадии, когда они активно отбирают энергию и массу у внешней среды (“питаются *негэнтропией*”), и лишь достигнув и пережив зрелость, они начинают деградировать, производить энтропию. Таким образом, на этапе становления растет не энтропия, а негэнтропия, и этот рост также можно записать формулой (3.2), но со знаком минус:

$$S_{\text{н}} = -S = -k \ln (W) = k \ln (1/W). \quad (3.6)$$

Формулы энтропии и негэнтропии отличаются тем, что их аргументы – количество частиц в системе ($W = V/V_3$) и доля частицы в системе ($1/W = V_3/V$) обратны друг другу.

Выше уже отмечалось, что траектория развития (эволюции) реальной системы представляет собой ломаную линию. Это и означает, что система не только производит энтропию (на участках спада), но и поглощает негэнтропию (на участках подъема). Вектор развития (результатирующая энтропия – глобальный тренд) определяется разницей между суммами энтропии и негэнтропии на этих участках, ее знаком.

Энтропия имеет для развития не только негативное, но и позитивное значение, которое заключается в том, что все новое рождается на обломках старого. Ее материальное воплощение – отходы, которые служат, в частности в биосистемах, пищей для микроорганизмов – редуцентов, замыкающих основание (почву) и вершину пищевой пирамиды в постоянный круговорот энергии и вещества в биосфере. И в любой, входящей в нее экогеосистеме энтропия одной подсистемы является строительным материалом и “пищей” другой, а медленное остывание Земли и биосферы формирует тенденцию к интенсификации и экономичности процессов развития и форм существования.

Это подтверждается вымиранием гигантских животных и живучестью и разнообразием мелких.

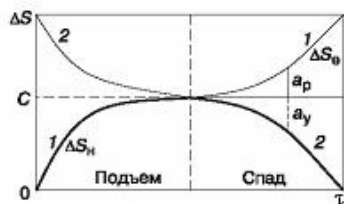
По И. Пригожину [53], в открытых системах приращение энтропии ΔS на каждый момент времени складывается из двух частей. Одна часть ΔS_i – прирост внутреннего беспорядка, как и в закрытых системах, всегда положительна. Другая ΔS_e зависит от граничных условий, при нагреве или повышении давления на систему она положительна, при охлаждении или понижении давления – отрицательна. Отрицательная энтропия (негэнтропия) $\Delta S_e = \Delta S_n$ противостоит деградации. Система не разрушается, если негэнтропия равна или больше энтропии. Рост негэнтропии в системе означает ее убыль в окружающей среде и наоборот. Поэтому на стадии становления и стационарного развития этой системы, когда $\Delta S \leq 0$, деградирует внешняя среда. На этапе становления растет негэнтропии, что соответствует увеличению жизненной силы, на этапе деградации – энтропия, что означает растрату силы, накопленной на этапе становления. Энтропию и негэнтропию можно рассматривать как две сущности продуктов разрушения. Первая – это отходы одной системы, вторая – сырье для создания другой. Важно, чтобы скорость накопления отходов не превышала скорости их утилизации и вовлечения в обменные круговороты.

СООТНОШЕНИЕ ТЕПЛОЕМКОСТИ И ЭНТРОПИИ ВО ВРЕМЕНИ

Теплоемкость характеризует пространство, в котором реализуются тепловые колебания “атомов”, генерирующие энергию. На разных этапах развития, на подъеме (становлении) и спаде (старении) соотношение теплоемкости и энтропии неодинаково (рис. 3.1).

Рис. 3.1. Ход энтропии в процессе развития системы.

Жирная линия – ход (оборот) негэнтропии (ΔS_n) системы, тонкая – то же, внешней среды; составная линия 1 – приращение энтропии ΔS системы, 2 – то же внешней среды



В период становления (созревания) системы производство собственной энтропии ΔS_i незначительно, в основном она поставляется из внешней среды и выступает как негэнтропия. В генерализированном (одинарном) жизненном цикле можно принимать, что в этот период $\Delta S_i = 0$ и приращение суммарной энтропии $\Delta S = \Delta S_n$.

В период деградации, наоборот, преобладает производство энтропии, тогда $\Delta S_n = 0$ и $\Delta S = \Delta S_i$. Рост негэнтропии соответствует приращению жизненной силы за счет ее уменьшения во внешней среде. При $\Delta S_n = C$

наступает пик зрелости, за которым начинается производство энтропии ΔS из запасов негэнтропии, накопленных в период становления: негэнтропия превращается в энтропию. Аналогичным образом, как будет показано в гл. 5, ведет себя упругая деформация нагруженного тела, которая при достижении телом максимальной плотности переходит в пластическую. Увеличение ΔS в системе сопровождается ростом негэнтропии $\Delta S_{\text{н}}$ во внешней среде. $\Delta S_{\text{н}} = \Delta S = C$ – это центр симметрии, оптимум условий существования системы, в обе стороны от которого они ухудшаются: при $\Delta S_{\text{н}} < C$ из-за еще неполного набора жизненной силы (в юности), при $\Delta S > C$ из-за ее постепенной растраты (в старости). Отметим также, что, согласно схеме на рис. 3.1, максимальная энтропия примерно вдвое больше теплоемкости, подобно тому, как работа упругих сил вдвое больше их энергии (закон Гука). Гипотетический цикл обращения негэнтропии в энтропию (см. рис. 3.1) по форме идентичен подлинному жизненному циклу, например, новозеландских моллюсков, приведенному на рис. 2.2. Величина теплоемкости C (и соответственно внутренней энергии $U = CT$) генетически обусловлена всем предшествующим развитием. Ее постоянство в процессе развития под действием внешних факторов может нарушаться. Это вызывает сбой нормального функционирования системы и может привести к ее

гибели. В частности, увеличение C без адекватного прироста жизненной силы (негэнтропии) вызывает *инфляцию*, в переводе с латинского – *вздутие*, а то, что надувается, может и лопнуть, как мыльный пузырь. Вообще схема на рис. 3.1 универсальна для демонстрации цикличности и стадийности развития любой системы. Для примера возьмем популяцию любого вида. На стадии становления ее текущая численность растет до уровня равновесия с окружающей средой, затем остается примерно постоянной. Соотнесем эту равновесную численность с теплоемкостью C на рис. 3.1 (примем, что они эквивалентны). Общее число всех, когда-либо родившихся особей, его ход, примем за ход энтропии ΔS (кривая I на рис. 3.1). После достижения равновесия с внешними условиями величина C становится константой, а энтропия (количество всех родившихся особей) продолжает расти. Количество особей, появившихся после установления равновесия, обозначим a_p , умерших – a_y (в равновесном состоянии $a_p \approx a_y$). Затем найдем приближенное выражение негэнтропии в равновесном состоянии системы: $\Delta S_n \approx C - a_y$, из которого следует, что и при установившемся равновесии система деградирует и полностью разрушится, когда a_y превысит C . Таким образом, ход энтропии во времени определяет циклический характер

развития, а источником и “вместилищем” его энергии является теплоемкость.

ЭНТРОПИЯ НЕМАТЕРИАЛЬНЫХ СИСТЕМ

Цивилизации, этносы, государственные и производственные структуры, наука, культура и другие общественные и гуманитарные системы развиваются по той же циклической схеме, общей для всех земных систем, включающей стадии становления (расцвета), зрелости и упадка. Глобальный тренд общественного развития определяется кругооборотами многих составляющих: духовных, культурных и материальных ценностей, финансов, политических ситуаций и, не в последнюю очередь, природных условий. Стабильные (прошедшие стадию становления) общественные системы эволюционируют в сторону роста энтропии. Теряют популярность традиционные отношения, парадигмы, нормы поведения, вкусы. Рушатся сословные барьеры, стираются классовые, культурные, расовые и даже половые различия.

Внутреннее развитие живых систем идет в направлении повышения способности потреблять (добывать пищу и наращивать массу). У растений эта способность ограничена невозможностью самостоятельно передвигаться и конкуренцией. У

животных — только конкуренцией, собственных ограничителей нет. У человечества, создавшего изоощренные технологии извлечения ресурсов из окружающей среды, возможности потребления почти безграничны. В условиях ограниченности природных ресурсов это может привести к катастрофе. Но люди, в отличие от животных, наделены разумом — инструментом, в принципе позволяющим целенаправленно, руководствуясь долгосрочной выгодой и моральными принципами (осознанными запретами), регулировать потребности, не вызывая возмущений (катаклизмов) окружающей среды. Но мораль, развивающаяся в пространстве между идеалами (потенциалами) *добра* и *зла*, тоже подвержена энтропии. Граница между *добром* и *злом* определена еще на заре человечества и закреплена религиозными канонами. Назначение этих канонов — защита добра от зла, уже подразумевает наступательный характер последнего, самопроизвольное развитие в направлении понижения нравственного уровня (морального износа), подобно тому, как в физических телах тепло перемещается только от теплого к холодному, а не наоборот.

Энтропия выразилась в постепенном ослаблении зависимости поведения людей от религиозных догм, смещении его на “территорию зла” и создании еще одной линии обороны, поддерживаемой юридическими

нормами, которые снисходительней к природе человека, но жестче санкционированы. В то же время они более подвижны и неустойчивы, поскольку отражают общественные отношения, подчиняясь их динамике, и имеют явную тенденцию к смягчению. “Вступив в юридическую эру и заменив совесть законом, мир снизился в духовном уровне”, – пишет А.И. Солженицын [62]. Это верно. Но надо признать, что именно в срединной области между совестью и законом живет законопослушное большинство. Здесь в постоянном борении разума и инстинктов, необходимости и свободы, коллектива и личности формируются уровни общественной морали и правосознания; морализуются (обуздываются до уровня социально неопасных) силы *зла* – зависть, властолюбие, тщеславие, корысть и т. п., несовместимые с религиозными догмами, но побуждающие и переходящие в такие активные,двигающие прогресс, формы деятельности, как политика, бизнес, финансы, торговля и др. Даже такой позитивный фактор, как любознательность - движитель научных исследований, является облагороженным (общественно допустимым) любопытством, которое, как известно “не порок, но большое свинство”. Тем не менее тенденции в области морали очевидны: уровень нравственности, определяющий обязанности индивида в коллективном поведении, падает, а осознание своих прав растет.

Общество “атомизируется”, растет его энтропия, неустойчивость, непредсказуемость.

Определить энтропию сложных систем трудно, но ее часто удается “почувствовать” и оценить через стоимость заменителей износа (суррогатов) и утилизации отходов. В частности, затраты на природоохранные и восстановительные работы при освоении территории – это денежное выражение техногенной энтропии. Полностью исключить энтропию системы невозможно, так как энергия и ресурсы, затрачиваемые на компенсацию ущерба, извлекаются из самой системы, что и отражается ненулевой стоимостью восстановительных работ.

Мотивацией современного производства является получение прибыли, напрямую зависящее от оборачиваемости капитала и требующее вовлечения в процесс потребления новых участников. Но этому препятствует увеличивающийся разрыв между бедными и богатыми, сокращающий покупательский спрос и, соответственно, производство. Потери в реальном производстве и товарообмене восполняются суррогатами – ценными бумагами и спекуляциями с ними, позволяя финансовой элите извлекать прибыль буквально из воздуха. В результате значительная часть ценных бумаг и денег, циркулирующих в мире, ничем не обеспечена, и разница между этим кажущимся (виртуальным) и

материальным богатством (финансовая энтропия) растет

АНАЛОГИ ЭНТРОПИИ

Смысл энтропии и теплоемкости – сложных и многогранных понятий, пригодных для оценки энергетики любых систем, проясняется при анализе бюджета их энергии: интегральная сумма прихода и расхода – оборот (вал), и примерно его половина – ни что иное, как образы или аналоги энтропии и теплоемкости. В свою очередь, разность прихода и расхода (баланс - Δ) и ее знак указывают направление развития системы, прогрессирует она или деградирует. При $\Delta \rightarrow 0$ эта величина становится аналогом ΔS .

Механическим аналогом энтропии является деформация. Более того, из (3.1) следует, что при $V/V_0 \leq 1,1$ относительная энтропия $\ln (V/V_0)$ практически равна относительной деформации $j = 1 - V_0/V$. При $V/V_0 = 1,5$ разница между относительными энтропией и деформацией (первая больше) все еще около 20 %. Превышение V над V_0 в 1,1 раза – это немало, если учесть, что большинство твердых веществ при переходе в жидкость изменяет свой объем на 1–9 % (в 1,01–1,09 раза). Например, “гибель” льда – превращение его в воду, сопровождается изменением (уменьшением) его объема на 8,3 %. У других веществ эта величина еще меньше (у

магния – 4 %, чугуна, натрия и олова ~5 %, у сурьмы – 0,94 % [32]).

Основополагающими понятиями теории энтропии, отражающими противоположности, между которыми она существует, являются порядок и беспорядок (хаос). Эти термины довольно противоречивы, неоднозначны. С одной стороны (в термодинамике и синергетике), порядок – это неравенство (разность потенциалов), подвижность, сложность и многообразие. С другой – порядок (т. е. то, что “хорошо”, нормально, штатно) в практических делах обычно ассоциируется с равновесием, простотой и долговечностью. Но с увеличением равновесия, простоты и долговечности одновременно уменьшается подвижность, сложность и многообразие. Эта двойственность, повидимому, связана с дихотомией целого и части, системы и подсистемы, “интересы” которых и едины, и противоположны. Можно привести немало примеров сосуществования противоположных начал – порядка и беспорядка: а) твердая фаза упорядоченной текучей, но структуры последней сложнее и многообразнее; б) в высоких широтах при малом биоразнообразии выше выносливость биоты к неблагоприятным факторам среды обитания; в) при низкой температуре мерзлые породы очень прочны, но мало пластичны (хрупки) и быстро разрушаются при больших нагрузках;

высокотемпературные – малопрочны, но при тех же нагрузках длительное время деформируются, не теряя сплошности; г) квалификация специалиста с возрастом повышается, но иссякают его физические возможности; и т.п.

Очевидно, что существует оптимальное соотношение сложности и простоты, гибкости и твердости, единства и многообразия – некая золотая середина, при которой условия существования системы наиболее благоприятны, гармонизированы с внешней средой, а ее устойчивость максимальна (см. гл. 6).

Итак, энтропия – сложное, многогранное и противоречивое понятие с не проясненным до конца смыслом. В этом отношении показателен ответ известного физика-теоретика, академика РАН А.А. Ансельма [2, с. 181] на вопрос: “Понимаем ли мы природу энтропии?” – “Мне кажется, что в некоторой степени – да, но не полностью”. Классическое определение энтропии как “функции S состояния системы, дифференциал которой в элементарном обратимом процессе равен отношению бесконечно малого количества тепла, сообщенного системе, к абсолютной температуре последней ” [77, с. 163] не дает представления о ее сущности, это всего лишь пересказ математической формулы. В то же время имеются более

простые, наглядно представимые аналоги энтропии, например деформация нагруженной системы, которая, так же как и энтропия, со временем только увеличивается, но при этом непротиворечиво, через упругость, отражает разное направление развития на этапах становления и деградации. Причем в диапазоне изменения, совместимом с жизненным циклом пластичных систем, относительная энтропия, как показано выше, равна относительной деформации. Поэтому для исследования общих закономерностей эволюции экогеосистем, отражающих ход энтропии во времени, особенно для количественных оценок этих закономерностей, целесообразно, как нам кажется, использовать более наглядное и понятное представление энтропии, ее механический аналог – деформацию.

Глава 4. МЕХАНИЧЕСКАЯ (ДЕФОРМАЦИОННАЯ) МОДЕЛЬ РАЗВИТИЯ

ОБЩИЕ ТЕРМИНОЛОГИЯ И ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ДЛЯ ОПИСАНИЯ ЖИВОЙ И НЕЖИВОЙ ПРИРОДЫ

Определенная аналогия живых и неживых (косных) систем давно известна и общепризнана. Не случайно многие положения и термины механики твердого тела и фазовых состояний вещества широко используются для описания сложных, отнюдь не механических систем: *давление среды, деформация взглядов, отношения на*

точке замерзания (на точке кипения), кристаллизация идеи, гибкая политика, хрупкий (прочный) мир, жесткие условия и т. п. Например в [76], для определения различия между традиционным (восточным) и посттрадиционным (западным) типами общества используются понятия фазовых состояний вещества: *твердое*, жестко связанное родственными, клановыми и хозяйственными отношениями традиционное общество и *жидкое* (свободное) посттрадиционное, а переход из первого во второе рассматривается как плавление. В то же время для характеристики физических систем часто применяются биологические термины и представления, например понятие *жизненного цикла*, используемого для обозначения продолжительности существования систем любой природы, не только биологических. Многие серьезные исследователи сравнивают Землю и даже Вселенную с живым организмом [16]. Выдающийся русский мыслитель А.Н. Радищев считал, что все сущее на Земле – близкие родственники [55]. Развивается и получает все большее признание концепция *Геи* Дж. Лавлока [81], в которой Земля рассматривается как целостная самоорганизующаяся система, своего рода суперорганизм, все части которого – атмосфера, гидросфера, литосфера и биосфера, находятся в сложных многоуровневых симбиотических отношениях, обеспечивающих их гармонию и устойчивое состояние.

Крайние проявления тех и других взглядов, соответственно, *механицизм* и *витализм*, с официальных позиций критикуются как вредные, идеалистические или сводящиеся к ним. Хотя вряд ли представители этих течений, находясь в здравом рассудке, искренне полагали, что, например, идею можно пощупать как кристалл, а камень, если его погладить, в ответ замурлычет. Скорее всего, это только метафорические образы идей, используемые для их лучшего восприятия (понимания). Очевидно, что всегда подразумевалось лишь определенное сходство между системами разной природы, дающее о себе знать только на высших уровнях систематизации, когда многие частности, определяющие специфику системы, исчезают из поля зрения.

ДЕФОРМАЦИЯ МЕРЗЛОГО ТЕЛА КАК МЕХАНИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ РАЗВИТИЯ

Анализ показывает, что механической моделью реакции любой системы на “давление” внешней среды может служить деформация нагруженного твердого тела, т. е. тела, имеющего температуру ниже температуры плавления, в частности, льда, мерзлого грунта, любого другого мерзлого материала, связность частиц которого обеспечивается поровым льдом.

Ледяные тела, далее речь пойдет в основном о мерзлых

грунтах, удобны для абстрактного моделирования жизненного цикла тем, что процессы их образования, деформирования и разрушения протекают сравнительно быстро при обычных земных температурах и нагрузках, легко воспроизводимых в лабораторных условиях. Мерзлый грунт под постоянной нагрузкой P (как и другие земные системы под воздействием внешней среды) в конечном счете разрушается, проходя в своем развитии три явные стадии деформирования: 1) с убывающей, 2) примерно с постоянной и 3) с возрастающей скоростью, и одну скрытую, до начала наблюдений (первое наблюдение всегда осуществляется спустя какое-то время после загрузки образца), или два периода – уплотнения и разуплотнения со слагающими их четырьмя тактами. Отрезки деформационной кривой на этих участках повторяют форму соответствующих участков земной орбиты (см. рис. 2.1).

Для примера на рис. 4.1 дана типовая схема хода относительной деформации образца мерзлого грунта $j = 1 - h/h_n$ (h_n и h – начальная и текущая высота образца) во времени τ под действием постоянной сжимающей нагрузки P [17, 18]. Для наглядности в увеличенном масштабе на рис. 4.1, *a* показан гипотетический ход деформации до начала наблюдений (до замера первой пары высота–время). Этот участок можно сопоставить со

скрытой (эмбриональной) стадией развития, на которой зарождается новая структура (ср. рис. 2.4).

На рис. 4.2 приведены схемы изменения скорости деформации во времени при тех же давлениях на явной v и скрытой v_c стадиях – графики *а* и обобщенно на всех стадиях – *б*. При растяжении под P понимается абсолютная величина отрицательного давления. Такие графики строятся для каждой температуры, все они в общем подобны и составляют единое математическое множество.

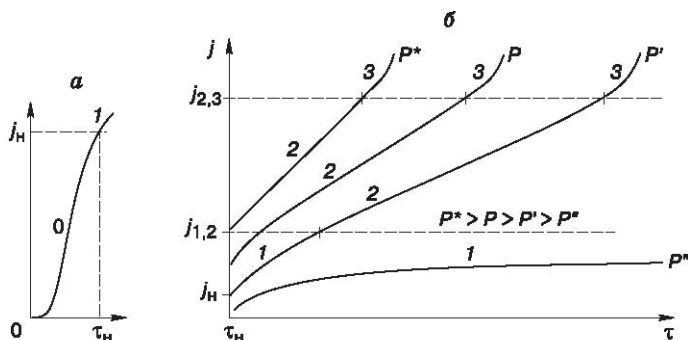


Рис. 4.1. Ход относительной деформации (j) во времени (τ) при разных давлениях (P):

а, б – скрытая и явные стадии; *1...3* – номера явных стадий; $j_{1,2}$ и $j_{2,3}$ – деформации на границах стадий; τ_n – время начала наблюдений.

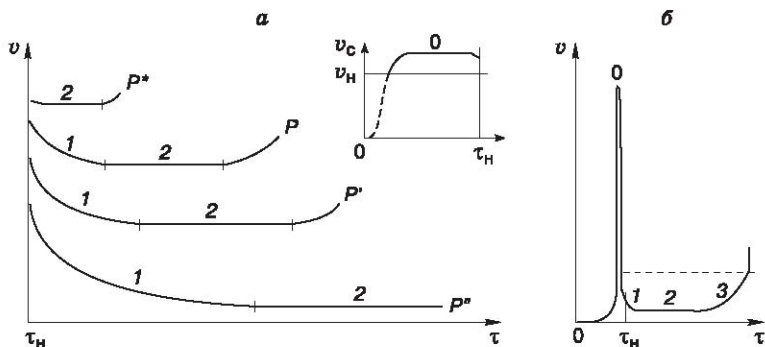


Рис. 4.2. Схема изменения скорости деформирования при разных давлениях (P):

a – отдельно на явных и скрытой стадиях; b – на всех четырех стадиях (v и v_c – скорости на явных и скрытой стадиях; 0...3 – номера стадий; v_n – скорость на начало отсчета).

Общая деформация является механическим эквивалентом энтропии системы и складывается из упругой (обратимой) и пластической (остаточной). Общая и пластическая деформации все время растут; только упругая деформация имеет циклический (обратимый) характер: в первом полупериоде она возрастает, во втором – убывает. Аналогично ведет себя и плотность: увеличивается в полупериод становления и уменьшается в полупериод деградации. Характеристики упругости прямо связаны с плотностью. Например, модуль Юнга гренландского льда понижается приблизительно на 20 % при уменьшении его плотности с 915 до 903 кг/м³ [50]. Следовательно, цикличность

развития систем определяется этими двумя связанными между собой свойствами, а в конечном счете – по – видимому, изменением плотности.

Накопление деформации под действием внешних сил – давления, температуры и др., а также времени, постепенно доводит систему до разрушения. Но сначала эти же силы и вызываемые ими деформации играют позитивную роль. В первый полупериод – на подъеме (примерно до середины 2-й стадии) происходит упрочнение (уплотнение, накопление жизненной силы; “закалка”) системы, во второй, на спаде – разупрочнение (разуплотнение); 2-я стадия является переходной между 1-й, на которой скорость деформации понижается, и 3-й, на которой она повышается. Ее наличие связано с ограниченными возможностями наблюдения; фактически скорость деформации на 2-й стадии не постоянна, а изменяется, но настолько мало, что эти изменения не определяются современными приборами. Теоретически переход полупериода подъема в полупериод спада происходит в одной временной точке, на пике жизненных сил системы, примерно в середине 2-й стадии (середине “лета”).

На 1-й стадии система преимущественно потребляет из внешней среды; этот процесс идет с замедлением; скорость деформации, которая на этой стадии позитивна, постепенно убывает. На 2-й стадии (в зрелом возрасте)

система находится в динамическом равновесии с окружающей средой, синхронизирована с ней – сколько потребляет, столько и отдает; скорость деформации здесь минимальна и примерно постоянна. На 3-й стадии жизненные силы системы почти исчерпаны и ее разрушение неотвратимо: система преимущественно отдает; этот процесс идет с ускорением; скорость деформации – разрушительная, стремительно увеличивается, достигая на 4-й (“осенней”) стадии скорости звука. Далее деформация выходит на вертикальную асимптоту, что соответствует скрытой фазе развития, заканчивающейся развалом тела на части, в которых быстро восстанавливаются начальные условия, что позволяет рассматривать их в качестве потомков “материнской” системы. При той же нагрузке в следующем цикле деформирования они и ведут себя аналогичным образом, деформируясь и дробясь на более мелкие части и постепенно рассеиваясь в пространстве. В естественных условиях подобная затухающая цикличность, приводящая к диспергизации горного материала, – один из двух основных механизмов литогенеза (вторым, противоположным, является агрегация частиц).

По аналогии с орбитальным движением логично предположить, что ход деформации в скрытой фазе (см. рис. 4.2, *а*), которого “не видно”, в общем такой же, как

на “весеннем” участке орбиты (см. рис. 2.1), представляет собой его уменьшенную, сжатую до мгновения копию, на которой разные участки холодного периода в обычном темпомире не различимы. Соответственно у графика изменения скорости v_c на этом участке выпуклая форма и по сравнению со скоростью v на трех явных стадиях – обратный вектор (см. рис. 4.2, б). Иными словами, график функции $v_c(\tau)$ является сжатым зеркальным отражением графика функции $v(\tau)$ и имеет выпуклую (параболическую) форму, как и график упругой деформации в явной фазе развития. В первом приближении ход деформации на скрытом участке, учитывая его малость, можно принимать линейным, а ее скорость – постоянной величиной, равной $v_c = j_n/\tau_n$, и эта скорость максимальна за весь деформационный (“жизненный”) цикл. Длительность скрытого периода может служить элементарной единицей времени жизненного цикла, а площадь пикообразной фигуры (см. рис. 4.2, б) характеризует энергию зарождения системы.

Нагрузка, деформация и время, соответствующие переходу 2-й стадии (с примерно постоянной скоростью) в 3-ю (с заметно увеличивающейся скоростью), называются, соответственно, предельно длительной прочностью, предельной деформацией и долговечностью [17, 18].

При больших нагрузках и, следовательно, высоких

скоростях деформации, т. е. в неблагоприятных условиях, 1-я стадия протекает так быстро, что не фиксируется наблюдениями (см. кривую P^* на рис. 4.1 и 4.2), определяется только полупериод разупрочнения, включающий лишь часть 2-й и 3-ю стадии. Такое деформирование называется *прогрессирующей ползучестью*. Если нагрузки меньше предельно-длительной прочности, то в течение всего периода наблюдений фиксируется (установлен) только полупериод упрочнения, характеризующийся убывающей скоростью деформации, когда 1-я стадия не переходит во 2-ю (*затухающая ползучесть*), либо постоянной скоростью, когда 2-я стадия не переходит в 3-ю (*установившаяся или стационарная ползучесть*). В этих случаях, особенно в первом (см. кривые P'' на рис. 4.2 и 4.3), создается впечатление вечности этой системы. Однако жизнь всех систем конечна, разрушительная работа времени – энтропия, выражаемая образованием внутренних пустот и общим разуплотнением, продолжается в течение всей жизни любой системы, даже при нулевой нагрузке. Но собственно разрушение (мгновенный распад), как заключительный акт деформирования таких долгоживущих и потому изношенных систем, наступает в результате флуктуаций внешних условий, иногда незначительных, еще при наличии у них определенного, но меньшего, чем энергия

данной флуктуации, запаса жизненных сил. Для природных систем характерны периодические, сезонно повторяющиеся “нагрузки”, чередующиеся с периодами “разгрузки” с образованием нескольких циклов. Ход развития таких систем представляет собой ломаную линию с участками подъема и спада, типа орбитальной кривой на рис. 2.1, с трендом, близким к линейному.

ДВА МЕХАНИЗМА РАЗРУШЕНИЯ, ФОРМУЛЫ ПРОЧНОСТИ И ДОЛГОВЕЧНОСТИ

Согласно кинетической (термофлуктуационной) концепции прочности формула долговечности (τ_d) твердого тела имеет вид [56]

$$\tau_d = \tau_a \exp [(U_a - \gamma P)/RT], \quad (4.1)$$

где $U_a \approx Q_c$ – энергия активации разрушения (энергия термофлуктуации); Q_c – скрытая теплота сублимации, кДж/моль; $\tau_a \approx 10^{-13}$ – период тепловых колебаний атомов; RT – средняя энергия колебаний атомов; T – температура, К; R – универсальная газовая постоянная; P – внешнее давление (или длительная прочность при заданной τ_d); γ – термофлуктуационный (предразрывной) объем атома.

При выражении $U = Q_c$ в кДж/кг или кДж вместо универсальной газовой постоянной R в (4.1) подставляется, соответственно, удельная газовая постоянная B (у льда $B = 0,46$ кДж/(кг град)) или постоянная Больцмана k .

Формула (4.1) получена эмпирическим путем обобщения многочисленных испытаний на разрыв разных материалов, включая композитные и гетерогенные при температурах, далеких от температуры их плавления (в гл. 3 дан аналитический вывод подобной формулы – (3.5), исходя из термодинамических соображений). Минимальная долговечность, согласно (4.1), $\tau_d = \tau_a$ достигается при $T = \infty$. Но температура твердого тела не может быть выше температуры плавления ($T_{пл}$). Следовательно, формула (4.1) применима только для материалов с очень высокой $T_{пл}$, например для металлов, у которых температура плавления при атмосферном давлении ($T_{пл} = T_0$) достигает 1500...2000 К и выше. Обычный лед (лед I) плавится при температурах, в 6–8 раз меньших ($T_0 = 250...273$ К, или $t = -22...0$ °С).

В основе формулы (4.1) лежит представление о постепенном накоплении нарушений структуры (деформаций) твердого тела, завершающемся его разрушением. Деформации могут быть внешними, наблюдаемыми, выражающимися изменением формы и

объема, и внутренними, скрытыми. Последние связаны в основном с процессом трещинообразования, который почти не влияет на объем и форму тела, но вызывает при раскрытии трещин его развал на части – собственно разрушение. В соответствии с этим на атомном уровне под нарушениями понимаются [56] разрывы отдельных атомных связей в процессе их тепловых колебаний, с вылетом атомов за пределы кристаллической решетки в результате *больших* термофлуктуаций – *случайных* всплесков энергии до величины Q_c . Чем выше T и P , тем чаще эти всплески и быстрее разрушение. Причем тело, согласно (4.1), разрушается и в отсутствии нагрузки, когда $P = 0$, под действием собственной массы; т. е. существует (и определяется) максимальная долговечность тела τ_m :

$$\tau_m = \tau_a \exp(Q_c/RT) = \tau_a \exp(Q_c T_o/T)/RT_o.$$

У обычного льда $Q_c/RT_o = 24$ – совпадает с количеством часов в сутках. У многих металлов это отношение, означающее число термофлуктуаций, при достижении которого тело разрушается даже при $P = 0$, также близко к 24: у цинка – 25; меди – 30; алюминия – 31; серебра – 27,... Что касается коэффициента T_o/T , то у обычного льда, существующего в диапазоне $T = 251...273$ К ($t = -22...0$ °С), он близок к единице. У металлов он в несколько раз больше (например, у железа при тех же

температурах около 7).

К разрушающим можно отнести и термофлуктуации с энергией, равной теплоте плавления $Q_{\text{пл}}$. При таких, *малых*, термофлуктуациях атомы хотя и остаются в пределах кристаллической решетки, но отклоняются от своего прежнего положения настолько, что уже не могут вернуться в него. Их связи “разжижаются”, теряя упругость, появляются и начинают превалировать остаточные деформации. Максимальная величина возвратных (упругих) отклонений атомов у всех веществ обычно не превышает 10 %, т. е. на макроуровне она соответствует относительной деформации плавления $j_{\text{пл}} = V_{\text{т}} - V_{\text{ж}}/V_{\text{т}}$ (у льда $j_{\text{пл}} = 0,083$). Накопление остаточных деформаций постепенно переводит твердое тело в качественно иное состояние – жидкообразное, текучее, с объемом $V \rightarrow V_{\text{ж}}$, что также можно рассматривать как его условное разрушение, но не хрупкое, быстрое, а растянутое во времени, пластическое. Его критерий – достижение $j_{\text{пл}}$. Сублимация соответствует окончательному разрыву атомной связи, образованию на ее месте “пустоты”, когда относительная деформация максимальна – $j_{\text{с}} \approx 1$ (у льда величина $j_{\text{с}}$ больше $j_{\text{пл}}$ примерно в 12 раз). На макроуровне такая деформация локальна, приурочена к участкам с ослабленными связями – концентраторам напряжения (микротрещинам,

вакансиям,...), развивается в форме трещины в направлении сжатия. Долговечность тела равна суммарному времени разрывов всех атомных связей, соединявших стенки трещины.

Мерзлый грунт представляет собой совокупность органо-минеральных частиц с включениями незамерзшей воды (растворов) и газов, связанных поровым льдом. Прочность сцепления его частиц обеспечивается, как и у льда, в основном ледяными связями [17]. Остальными в первом приближении можно пренебречь и расценивать разжижение ледяных связей с последующим расползанием грунта как пластическое разрушение, а $j_{пл}$ – как его предельную деформацию. Таким образом, можно говорить о двух основных механизмах (типах) разрушения: медленном, пластическом, развивающемся вблизи точки плавления, и хрупком (сублимационном) – вдали от нее. На рис. 4.3 дана упрощенная (принципиальная) схема действия этих механизмов.

Формула (4.1) описывает хрупкое разрушение – процесс образования трещины до момента ее раскрытия. Для инженерных расчетов целесообразно упростить (4.1), освободившись от микропараметров. При $\tau_d = \tau_a$ мгновенная (максимальная) прочность $P_{mc} \approx Q_c/\gamma$.

Выше отмечалось, что у всех веществ отношение RT_o/Q_c близко к постоянной величине. Придадим ей смысл

объемной относительной деформации тела

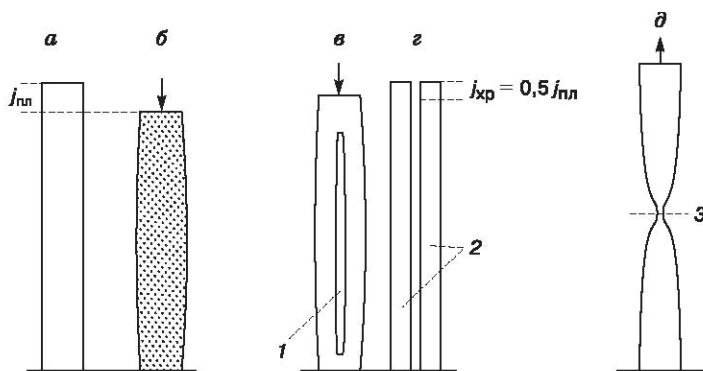


Рис. 4.3. Примерная схема действия разных механизмов разрушения мерзлого грунта:

a – призматический фрагмент грунта до загрузки; *б* – его “разжижение” после загрузки; *в*, *з* – трещинообразование и упругий распад; *д* – разрушение при растяжении; 1 – трещина; 2 – развалы фрагмента; 3 – плоскость поперечного разрыва.

в момент раскрытия трещины и представим в виде $RT_o/Q_c = j_{тр} \approx j_{пл} \xi$ (где $\xi \approx RT_o/(Q_c j_{пл})$ – численный коэффициент; T_o – температура плавления при атмосферном давлении, (у льда 273 K). Величина коэффициента ξ находится между 0 и 1. Расчеты показывают, что у большинства твердых тел она незначительно отличается от 0,5: у льда – 0,5...0,54; у цинка – 0,57; у висмута и свинца – 0,64; у олова и алюминия – 0,47. Тогда (4.1) приобретает вид:

$$\tau_o \approx \tau_a \exp [(P_{mc} - P)/0,5 P_{mc} j_{пл} (T/T_o)], \quad (4.2)$$

где $P_{mc} = Q_c/\gamma$ – максимальная (мгновенная прочность), определяемая из (4.1) при $\tau_d = \tau_a$.

Формула (4.2) переводит расчет долговечности с микро- на макроуровень, от скрытого (внутреннего) процесса трещинообразования к одновременно проходящему (наблюдаемому) процессу общего деформирования тела. *Вдали от точки плавления* трещина раскрывается раньше, чем объемная деформация j достигает предельного значения $j_{пл}$, примерно при $j = j_{тр} \approx \xi j_{пл} \approx 0,5j_{пл}$ и тело разваливается на части с восстановлением в них формы и начального удельного объема V_t . Это хрупкое (сублимационное) разрушение, характерное, например, для большинства металлов. *Вблизи точки плавления* тело под давлением разжижается, внутренние пустоты заплывают; трещины, если и образуются, то деформация $j_{пл}$ достигается раньше, чем расходятся их стенки. Это пластическое (плавильное) разрушение, типичное для мерзлых грунтов.

Отношение конечной разности $(P_{mc} - P) = \Delta P$ к P_{mc} в (4.2) отвечает условию скачкообразного изменения внутреннего давления от величины внешнего P до максимума P_{mc} . При пластическом же разрушении внутреннее давление последовательно проходит весь спектр значений, от внешнего P до максимума P_m , величина которого в этом случае определяется из

классического уравнения Клапейрона–Клаузиуса: $P_m = Q_{пл} t / T_0 (V_T - V_{ж})$. Соответственно долговечность изменяется от τ_d до τ_a . Поэтому при пластическом разрушении в (4.2) вместо $\Delta P / P_m$ надо брать интеграл dP / P в пределах от P до P_m , а вместо τ_a / τ_d – интеграл $d\tau / \tau$ в пределах от τ_d до τ_a . Кроме того, предельная наблюдаемая деформация в этом случае равна $j_{пл}$, а не $j_{тр}$ (ξ равна 1, а не 0,5). После этих преобразований формулы (4.2) получаем выражение долговечности пластичной системы (мерзлого грунта)

$$\tau_d = \tau_a (P_m / P)^{1/j_{пл}}. \quad (4.3)$$

Из (4.3) следует, что при $P \rightarrow 0$ долговечность стремится к бесконечности. И тем не менее, реальная долговечность конечна, даже если $P = 0$ (при атмосферном давлении). Покажем это. Для выявления условий реализации хрупкого или пластического разрушения приведем их выражения (4.2) и (4.3) к сопоставимому виду $A = 2(1 - P / P_m) T / T_0 = j_{пл} \ln (\tau_a / \tau_d)$ и $B = \ln (P_m / P) = j_{пл} \ln (\tau_a / \tau_d)$. Величина T / T_0 в A при температурах существования обычного льда ($T = 273 \dots 251$ К) изменяется незначительно, от 0,92 до 1, практически этим коэффициентом при расчете τ_d мерзлых грунтов можно

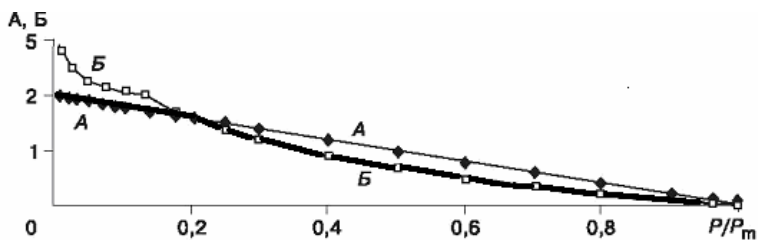


Рис. 4.4. Зависимость A и B от P/P_m .

пренебречь. Зависимость A и B от P/P_m представлена на рис. 4.4. Жирная линия отражает зависимость реальной относительной долговечности (в логарифмическом масштабе) от относительного давления, независимо от механизма разрушения. Максимальная (мгновенная) прочность в A и B рассчитывается по формулам, приведенным выше; показано [29], что при достаточно низких температурах мерзлого грунта $P_{mc} \approx P_m$.

Из рис. 4.4 видно, что при $P/P_m \geq 0,2$ пластическое разрушение наступает раньше, чем хрупкое. При $(P/P_m) < 0,2$, наоборот, раньше происходит хрупкое разрушение, т.е. тело разваливается на части раньше, чем достигается деформация $j_{пл}$. Из графика фактической долговечности (жирная линия) следует, что она является конечной величиной даже если $P = 0$, что отвечает принципу Анаксимандра (см. гл. 1).

С учетом линейной зависимости давления замерзания воды от температуры [28, 50]: $P/P_m = t_k / t$, где t_k –

температура кристаллизации, t – текущая температура, барическое условие преимущественной работы хрупкого или пластического механизма разрушения легко переводится и в температурное.

Таким образом, если давление на мерзлый грунт примерно в пять и более раз меньше равновесного данной температуре или его температура во столько же раз ниже температуры плавления, то хрупкое разрушение наступает раньше пластического; при более высоких давлениях или температурах разрушение развивается по пластическому сценарию.

Для полного описания поведения нагруженного твердого тела необходимо также знать зависимость деформации от времени. Взяв из (4.3) производную $j_{пл}$ по τ_d , находим формулу скорости деформации, проинтегрировав в которой j в пределах от 0 до $j_{пл}$, а τ от τ_a до τ_d . После несложных преобразований получим выражение временной зависимости деформации для пластично разрушающегося тела

$$j/j_{пл} = \ln (\tau/\tau_a) / \ln (\tau_d/\tau_a). \quad (4.4)$$

Время и деформацию в (4.4) следует отсчитывать от реальных для измерения минимумов этих величин (τ_1 и j_1). Тогда формула хода деформации на участке

затухающей ползучести приобретает вид

$$(j - j_1) = k \ln (\tau/\tau_1), \quad (4.5)$$

где $k = (j_{\text{пл}} - j_1) / \ln (\tau_{\text{д}}/\tau_1)$; $\tau_{\text{д}}$ – долговечность.

На рис. 4.5 приведено сравнение результатов испытаний (значки) мерзлой супеси на одноосное сжатие (*а* – опыты при $t = -20$ °С по [17]; *б* – опыты при $t = -4,5$ °С по [58]) с кривыми ползучести, рассчитанными по формуле (4.5) при $\tau_1 = 0,25$ ч (другие исходные данные см. на рис. 4.5). Расчетные значения хорошо совпадают с результатами испытаний.

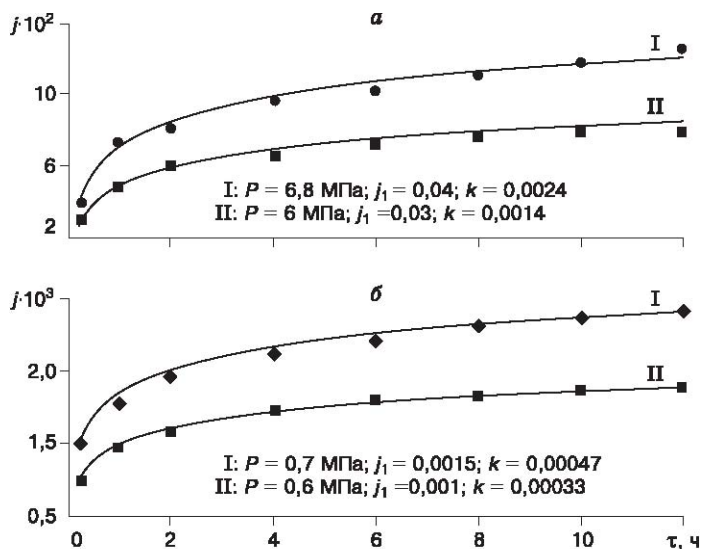


Рис. 4.5. Кривые ползучести, построенные по данным:

а – С.С. Вялова [17]; б – Л.Т. Роман [58].

ФАЗОВОЕ РАВНОВЕСИЕ И ДЛИТЕЛЬНАЯ ПРОЧНОСТЬ

Формулы длительной прочности и временной зависимости деформации мерзлого грунта и льда можно вывести и непосредственно из обобщенного уравнения Клапейрона–Клаузиуса [28], которое запишем в виде барической зависимости температуры плавления $t_{\text{пл}}$ (или, что то же, температуры кристаллизации $t_{\text{к}}$):

$$t_{\text{пл}} = P(V_{\text{т}} - V)T_0/Q_{\text{пл}} = bP, \quad (4.6)$$

где P – внешнее давление на твердое (мерзлое) тело; V =

$V_{\text{ж}}D$ – объем жидкой фазы, возрастающий при плавлении от 0 до $V_{\text{ж}}$; $V_{\text{т}}$ и $V_{\text{ж}}$ – удельные объемы твердой и жидкой фаз; $b = (V_{\text{т}} - V_{\text{ж}}D)T_0/Q_{\text{пл}} = 0,9 - 0,82D$ – коэффициент соразмерности давления и температуры плавления; D – степень обжатия (закрытости) незамерзшей воды кристаллами льда.

При $D = 1$ (когда $V = V_{\text{ж}}$ – классический, предельный вариант уравнения фазового равновесия) система полностью закрыта, $b \approx 0,08$ °C/МПа; при $D = 0$ (когда $V = 0$) – полностью открыта, $b \approx 0,9$ °C/МПа. Внутреннее (поровое) давление определяется в обратной задаче, когда задана температура поровой жидкости. Процессы промерзания и оттаивания грунта протекают преимущественно при b , близких к 0,1 °C/МПа [20]. Большие величины b у мерзлых водоненасыщенных грунтов, а также при их свободном влагообмене с окружающей средой (открытые системы).

В отличие от большинства других веществ удельный объем воды при замерзании увеличивается, а температура замерзания (оттаивания) с повышением давления понижается. Если же не учитывать знаки изменения этих параметров, то характер их взаимодействия одинаков у всех веществ: абсолютное значение температуры фазовых переходов вода–лед тем больше, чем сильнее отклоняется давление или объем от

их начальных величин.

Примерно при $t = -22\text{ }^{\circ}\text{C}$ и $P \approx 214...220\text{ МПа}$ [60, 71] знак зависимости $t_{\text{пл}}$ от P меняется на обратный: величина $t_{\text{пл}}$ начинает повышаться, достигая нуля при $P = 638\text{ МПа}$. При $t < -22\text{ }^{\circ}\text{C}$ обычная вода, а при $P > 220\text{ МПа}$ обычный лед (лед 1) не существуют (рис. 4.6).

Температуру и давление на этом пределе по аналогии с пересыщенными растворами (сплавами) назовем эвтектическими: $t_{\text{э}} \approx -22\text{ }^{\circ}\text{C}$, $P_{\text{э}} \approx 214\text{ (220) МПа}$, поскольку вода при этих показателях находится в равновесии с двумя твердыми фазами – льдом 1 и льдом 3 [60], т. е. соответствует определению эвтектики.

Удельная теплота плавления льда в точке эвтектики $Q_{\text{пл}} = 235\text{ кДж/кг}$ ($4,2\text{ кДж/моль}$), объемная – $L_{\text{пл}} = Q_{\text{пл}}/V_{\text{т}} = 216\text{ }000\text{ кДж/м}^3 = 216\text{ МПа} = P_{\text{э}}$; объемная теплота кристаллизации – $L_{\text{кр}} = Q_{\text{пл}}/V_{\text{ж}} = 235\text{ }000\text{ кДж/м}^3 = 235\text{ МПа}$; $L_{\text{пл}}/L_{\text{кр}} = 0,917$. Кроме того, $Q_{\text{пл}} = Q_{\text{с}}/j_{\text{пл}} \approx 12$.

Перемножив постоянную Планка, среднюю частоту колебаний атомов и число Авогадро, находим молярную (отнесенную к молю) величину кванта энергии: 4 кДж/моль , которая почти равна $Q_{\text{пл}} = 4,2\text{ кДж/моль}$ (235 кДж/кг) при $t_{\text{э}} \approx -22\text{ }^{\circ}\text{C}$. При этой же температуре скрытые теплоты сублимации $Q_{\text{с}}$ и испарения $Q_{\text{и}}$ равны $2830/235 = 12$ и $(2830 - 235)/235 = 11$ квантам

соответственно.

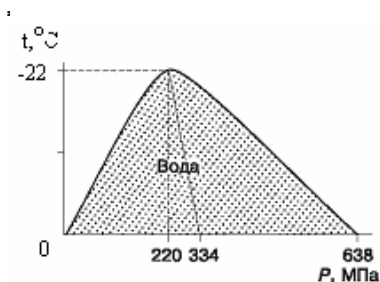


Рис. 4.6. Область существования обычной воды при $t < 0\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Анализ фактического (справочного) материала показал, что относительные деформации объемных и энергетических параметров при фазовых превращениях воды примерно подобны:

$$1 - (V_{\text{ж}}/V_{\text{т}}) = 1 - (T_{\text{г}}/T_0) = Q_{\text{пл}}/Q_{\text{с}} \approx j_{\text{пл}} \approx 0,083, \quad (4.7)$$

$$(V_{\text{т}}/V_{\text{ж}}) - 1 = (T_0/T_{\text{г}}) - 1 = (Q_{\text{с}}/Q_{\text{и}}) - 1 \approx j_{\text{кр}} \approx 0,091. \quad (4.8)$$

Причем обратные величины коэффициентов подобия – 12 и 11 совпадают с числом месяцев в году (во втором случае за минусом единицы измерения – месяца). Максимально возможная относительная деформация сжатия любой субстанции равна единице. Следовательно, твердая фаза воды (начальная при оттаивании) состоит из $1/0,083 = 12$, а жидкая (начальная при замерзании) – из $1/0,091 = 11$ частей (квантов) по $Q_{\text{пл}} = 235$ кДж/кг каждая. Отметим также, что энергия

активации U_a , отнесенная к разрушающим деформациям при обоих типах разрушения ($j_c = 1$ и $j_{пл} = 0,083$), особенно при низких температурах примерно постоянная величина: $Q_c/j_c = 2830/1 = Q_c$ и $Q_{пл}/j_{пл} = 235/0,083 \approx 2830 \approx Q_c$.

Запишем (4.6) отдельно для $D = 1$ и $D = 0$ в виде

$$P(V_T - V_{ж}) = Q_{пл} t/T_0, \quad (4.9)$$

$$PV_T = Q_{пл} t/T_0. \quad (4.10)$$

Из этих формул определим максимум и минимум внутреннего (порового) давления. Максимум $P_m = Q_{пл} t/T_0(V_T - V_{ж})$ достигается при $D = 1$ в конце плавления (разрушения), а минимум, равный внешнему давлению $P = Q_{пл} t/T_0 V_T$, при $D = 0$ в его начале. P_m имеет смысл мгновенной, максимально возможной прочности, т. е. давления, которое может выдержать тело не разрушаясь (не деформируясь сверх $j_{пл}$), хотя бы одно “мгновение” $\tau_d = \tau_a \cdot 10^{-13}$ с. Найдем соотношение между внутренним и внешним давлениями (разделим их друг на друга) при $t = \text{const}$ и представим его в виде $P/(j_{пл} P_m) = 1$. При $\tau_d = \tau_a$ имеем:

$$\tau_a/\tau_d = P/(j_{пл} P_m). \quad (4.11)$$

При $\tau_d > \tau_a$ по аналогии с (4.11) положим пропорциональность отношений бесконечно малых приращений долговечности и соответствующей ей прочности к их постоянным значениям. Тогда, переписав (4.11) в дифференциальной форме: $d\tau/\tau = (dP/P)/j_{пл}$ и проинтегрировав его от τ_a до τ_d – слева и от P до P_m – справа, после преобразований получаем формулу длительной прочности (или долговечности) ледяного тела при пластическом разрушении с постоянными P и t , идентичную (4.3):

$$(P/P_m) = (bP/t) = \tau_a \tau_d^{j_{пл}}. \quad (4.12)$$

На рис. 4.7 приведены результаты экспериментального определения длительной прочности мерзлых грунтов разного состава (супеси и глины) при разных температурах (-5 , -10 и -20 °C) и видах напряжения (сжатия супеси и сцепления глины), по данным С.С. Вялова [17], точки на графике, и ее расчета по формуле (4.3) – пунктирные линии. В расчетах вместо теоретического значения $j_{пл} = 0,083$ подставлялось значение предельной деформации $j_{п}$, найденное из опытов, которое оказалось константой для данного вида грунта, равной $0,115$ для супеси и $0,083$ для глины (в

этом случае величины j_{π} и $j_{\text{пл}}$ совпали). Несмотря на дальность экстраполяции, можно говорить об удовлетворительной сходимости результатов расчета по формуле (4.3) с фактическими данными.

Полученные результаты удовлетворительно сходятся с результатами опытов [27, 28]; предельная деформация в опытах близка к $j_{\text{пл}} = 0,083$, но всегда несколько больше – колеблется в диапазоне значений $0,1 \dots 0,16$. Расхождение вызвано тем, что целостность мерзлого грунта обеспечивают не только ледяные, но и другие связи. Кроме того, в концептуальную формулу (4.1), как и в (4.3), входят объемные затраты фазового тепла, а получены эти формулы из анализа испытаний на одноосные разрыв или сжатие. Поэтому под $j_{\text{пл}}$ в (4.3) нужно понимать (и вместо $j_{\text{пл}}$ подставлять) некую эффективную продольную деформацию $j'_{\text{пл}}$, учитывающую неравномерное изменение объема тела при одностороннем сжатии (или растяжении) при фазовых переходах. Увязка фиксируемой в опытах продольной деформации с объемной осуществляется с использованием известных [17] соотношений между упругими постоянными: модулями продольной (E – модуль Юнга) и объемной ($K_{\text{об}}$) упругости и коэффициентом Пуассона (μ):

$$j_{пл}' = j_{пл} K_{об} / E = j_{пл} [31 - 2] (\mu) . \quad (4.13)$$

Коэффициент μ пресноводного льда по данным разных авторов [50, 59, 75] колеблется от 0,33 до 0,38. Тогда множитель к изменению объема льда при оттаивании $j_{пл}$ в (4.14), переводящий его в эффективную продольную деформацию ($K_{об}/E$), составит порядка 1...1,39, а сама величина $j_{пл}' = 0,083...0,12$.

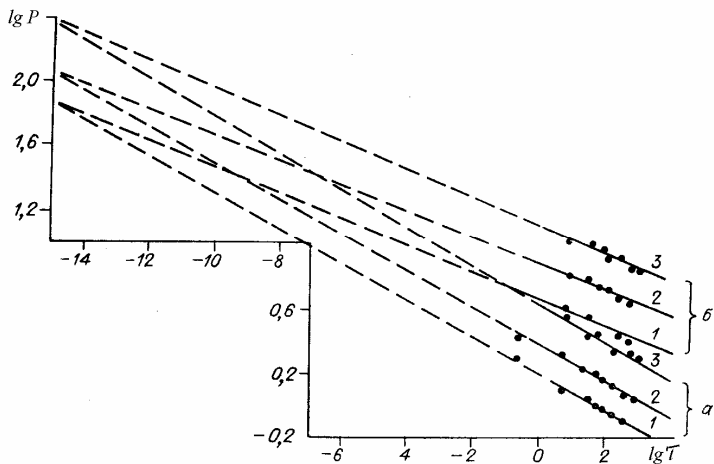


Рис.4.7. Логарифмическая зависимость длительной прочности (P , МПа) от времени (τ , мин) при температурах (t °С): 1 – -5; 2 – -10; 3 – -20 (а – сжатие супеси; б – сцепление глины).

Нетрудно доказать, что справедливость формулы (4.3) не нарушится, если вместо мгновенных значений долговечности и прочности брать в качестве базовых

(начальных) первую замеренную пару: τ_{yc} и P_{yc} , придавая им статус условно-мгновенных долговечности и прочности. Кроме того, в инженерных расчетах вместо теоретического значения предельной деформации, равной $j_{пл}$, целесообразно брать ее фактическое значение, установленное в процессе стандартных испытаний на ползучесть – $j_{п}$. Тогда (4.3) приобретает простой, удобный для расчетов вид

$$P = P_y (\tau / \tau)^{j_{п}}. \quad (4.14)$$

В табл. 4.1 приведены примеры хорошего совпадения фактических данных с расчетными по формулам (4.3) и (4.15). В качестве фактических данных использовались результаты экспериментов А.П. Кардымона и Ю.Я.Велли с В.Н. Ивановым, обобщенные в обзоре [27]. В первом случае определялись сопротивления мерзлого песка сдвигу по боковой поверхности металлических моделей свай прямоугольного и квадратного сечений (см. табл. 4.1) при $t = -1,3$ °С; во втором – то же, круглых металлических и бетонных моделей свай (см. табл. 4.1), замороженных в суглинок при $t = -4,5$ °С. Вычисленные $j_{п} \approx j_{пл}$ в четырех вариантах – 0,1; 0,095; 0,128; 0,124.

Таблица 4.1

Фактические - (P_{ϕ}) и вычисленные по формулам (4.3) – P_1 и (4.14) – P_2 сопротивления мерзлого грунта сдвигу для разной долговечности - τ_d , мин

τ_d	P_{ϕ}	P_1	P_2	P_{ϕ}	P_1	P_2
30	0,37	0,37	0,37	0,45	0,45	0,45
60	0,35	0,35	0,34	0,43	0,43	0,42
120	0,33	0,32	0,32	0,40	0,40	0,40
180	-	0,31	0,31	0,39	0,39	0,39
520	-	0,29	0,29	0,35	0,35	0,35
τ_d	P_{ϕ}	P_1	P_2	P_{ϕ}	P_1	P_2
42	0,44	0,45	0,45	0,51	0,55	0,55
60	0,40	0,43	0,42	0,49	0,52	0,49
222	0,37	0,36	0,36	0,45	0,50	0,42
420	0,34	0,33	0,33	0,44	0,42	0,38
600	0,31	0,32	0,31	0,43	0,41	0,37

В табл. 4.2 представлены экспериментальные значения относительной (безразмерной) прочности супеси при $t = -10\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($P_{от} = P/P_{yc}$, где P_{yc} – условно мгновенная прочность при $\tau_{yc} = 1$ мин), при разной относительной долговечности ($\tau_{от} = \tau/\tau_{yc}$), полученные при различных видах испытаний (по С.С. Вялову [18]), а также рассчитанные по формуле (4.15) при $j_{п} = 0,11$.

Таблица 4.2

Зависимость $P_{от}$ от $\tau_{от}$ (безразмерные) при 1) сжатии, 2) растяжении, 3) сдвиге, 4) расчет по формуле (4.14)

$\tau_{от}$	$P_{от.1}$	$P_{от.2}$	$P_{от.3}$	$P_{от.4}$
1	1	1	1	1
10	0,84	0,79	0,78	0,78
60	0,65	0,61	0,61	0,63
180	0,56	0,55	0,54	0,56
480	0,5	0,5	0,5	0,51
720	0,49	0,48	0,47	0,48

Табл. 4.2 показывает хорошую сходимость экспериментальных данных и рассчитанных по формуле (4.15), а также и практическую полезность представления результатов опытов в относительных показателях. При

всех видах напряженного состояния они получаются практически одинаковыми. Благодаря этому количественные зависимости, установленные из опытов для одного вида напряжения, можно распространить и на другие. Вопрос обобщения результатов наблюдений подробно рассмотрен в гл. 7.

РЕГУЛИРОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ МЕРЗЛЫХ ГРУНТОВ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ИХ ПРОЧНОСТИ

Количественные закономерности и константы, выявленные из опытов с постоянными t и P , проявляются и при зависимости их от времени. Это показано в работе автора [28]. Здесь еще раз отметим относительную простоту регулирования “жизненного” цикла криогенных структур (мерзлых грунтов, льда и др.), который однозначно определяется их температурой. Понижая или повышая температуру системы, мы изменяем ее устойчивость и долговечность. В частности, для увеличения устойчивости и долговечности мерзлых грунтов как оснований инженерных сооружений широко применяются экономичные сезонно действующие охлаждающие устройства (СОУ), работающие за счет естественных факторов: холодного зимнего воздуха, отрицательной разницы между температурами воздуха, грунта и ветра [27].

Конструктивно СОУ представляют собой

заглубленные в грунт трубчатые системы или отдельные трубы, преимущественно вертикальные, заполненные циркулирующим в них воздушным, жидким или парожидким хладагентом. Принцип работы СОУ – типичный пример подобия процессов в инженерных и природных системах, в данном случае – конвективного теплообмена между надземной и подземной частями СОУ и аналогичного процесса между верхней и нижней тропосферой. Зимой в надземной части СОУ температура хладагента ниже, а соответственно, плотность выше, чем в подземной, что приводит к его перемещению вниз и охлаждению грунта. В подземной части хладагент разогревается, разуплотняется и вновь поступает в надземную часть, где опять охлаждается и перетекает вниз. Таким образом на весь холодный период года создается циркуляционный контур, обеспечивающий отток тепла из грунта. В парожидкостных СОУ скорость подобных оборотов тепла и массы, а также их охлаждающий эффект увеличиваются за счет фазовых превращений пар $\leftrightarrow$ жидкость. Под действием таких же механизмов происходит вертикальный тепломассообмен в тропосфере. В Тюмени создано и успешно функционирует НПО “Фундаментстройаркос”, специально занимающееся разработкой и внедрением СОУ в практику строительства.

Прочность мерзлого грунта (P_c), охлажденного

вертикальным трубчатым СОУ, можно вычислить по формуле [27, 28]

$$P_c = P_{\pi} k_c, \quad (4.15)$$

где P_{π} – длительная прочность мерзлого грунта, определяемая по методике действующей главы СНиП II-18-76 в зависимости от максимальной температуры мерзлого грунта t_m за весь срок службы сооружения в обычных условиях (без СОУ); k_c – коэффициент, показывающий во сколько раз повышается длительная прочность мерзлого грунта, охлажденного с помощью СОУ.

Величина коэффициента k_c определяется по табл. 4.3 в зависимости от безразмерных параметров $\theta = (t - t_m) / (t_{\pi} - t_m) = 1 - \ln(r/r_0)/F_0^{0,25}$; $\psi = t_{\pi}/t_m$ и j_{π} . Обозначения в выражениях θ и ψ : t – температура охлажденного грунта на расстоянии r от центра СОУ; r_0 – радиус СОУ;

t_{π} – средняя за период охлаждения τ_x температура на поверхности подземной части СОУ; $F_0 = a\tau_x/r_0$ – критерий Фурье; a – коэффициент температуропроводности грунта.

Значения k_c при других θ и ψ определяются по интерполяции. Величина t_{π} в выражении θ назначается по

данным замеров, а при их отсутствии вычисляется по эмпирической формуле:

$$t_n = t_m + (t_g - t_m)(0,25 + 0,75h_n/h), \quad (4.16)$$

где t_v – температура воздуха; h и h_n – длины общей и надземной части СОУ. Формула пригодна для оценки эффективности СОУ с хладагентом любого состава.

Таблица 4.3

Зависимость k_c от θ и ψ при $j_n = 0,11$ (числитель), $j_n = 0,08$ (знаменатель)

θ	Значения k_c при ψ , равных:				
	5	10	15	25	35
0,2	1,22/1,19	1,34/1,27	1,40/1,32	1,50/1,38	1,55/1,41
0,5	1,36/1,29	1,49/1,37	1,56/1,42	1,64/1,48	1,72/1,53
0,8	1,43/1,33	1,56/1,42	1,64/1,49	1,72/1,54	1,81/1,58

Глава 5. ДЕФОРМАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ РАДИАЛЬНОГО РОСТА ДЕРЕВЬЕВ

ГODOVЫЕ КОЛЬЦА

Выше уже упоминалось, что образующиеся и развивающиеся при постоянных колебаниях внешних условий экогеосистемы имеют более или менее выраженную слоистую структуру, отражающую эти колебания и их последовательность особенностями морфологии слоев и их свойствами. Очень четко такая слоистость проявляется на поперечных срезах деревьев в виде хорошо различимых, особенно в субарктическом и в бореальном поясах, характеризующихся сезонными переходами температуры воздуха через 0 °С, концентрических кругов – годовых колец. Морфометрические показатели годовых колец деревьев зависят от их обеспеченности теплом и влагой, отражая ее колебания и порядок следования, и потому широко используются в геохронологии, при реконструкции и прогнозе климата [14], в экологическом мониторинге [25]. Ежегодно нарастающий слой (кольцо) можно рассматривать как единичную деформацию расширения (растяжения) ствола, а его текущий радиус как ее кумулятивную величину.

В отличие от механически нагруженных косных систем радиальный рост дерева сопровождается увеличением

массы. Но это не влияет на общие, видимые, закономерности изменения формы тела при различного рода воздействиях, в том числе при повышении его массы, которое в принципе можно заменить эквивалентной растягивающей нагрузкой. При деформационном подходе присущее всем зрелым системам увеличение со временем внутренней энтропии, заключающееся в постепенном разрушении структуры, внешне проявляется устойчивым сокращением абсолютной и относительной ширины годовых колец (или, что то же, годовой скорости радиального прироста ствола), вплоть до нуля, означающего биологическую (но не механическую) гибель дерева.

Эта глава посвящена построению и интерпретации модели радиального роста деревьев на основе рассмотренных выше универсальных закономерностей деформационных процессов и демонстрации на этом примере аналитических возможностей деформационной модели развития.

ЗАКОНОМЕРНОСТИ РАДИАЛЬНОГО РОСТА

На рис. 5.1 приведены типичные примеры увеличения относительных радиуса $j_r = r/r_m$ и площади $j_q = (r/r_m)^2$ ствольного круга сравнительно долго (более 100 лет) живущих деревьев на юге (Шайтанское и Кучак) и севере (Нумто и Лабытнанги) Тюменской области (по

наблюдениям С.П. Арефьева) и на Аляске [23], а также аппроксимационные формулы и их достоверность R^2 . Обозначения на рис. 5.1: r и r_m – текущий и максимальный (на момент наблюдения) радиусы (радиальный прирост можно выразить и через отношение текущего и максимального диаметров d и d_m); τ – время, годы. Исходные данные на этом рисунке и последующих: годовые кольца, их ширина и плотность, определялись в цилиндрических кернах диаметром 4 мм, радиально выбуренных из дерева на высоте 1,3 м. Поэтому далее, когда речь идет о параметрах ствола, имеются в виду их значения на этом (контрольном) поперечном срезе.

Дерево в процессе естественного развития, как и все земные системы, проходит названные выше четыре возрастные стадии: одну скрытую (“утробную”, ненаблюдаемую) и три явные – раннюю (ювенальную), зрелую (стационарную) и позднюю (старость) [29, 32]. Или (укрупненно и более очевидно) два полупериода – уплотнения (упрочнения) и разуплотнения, граница между которыми приходится на пик зрелости. Эти полупериоды на рис. 5.1 выражены кривыми, которые имеют, соответственно, выпуклую и вогнутую формы.

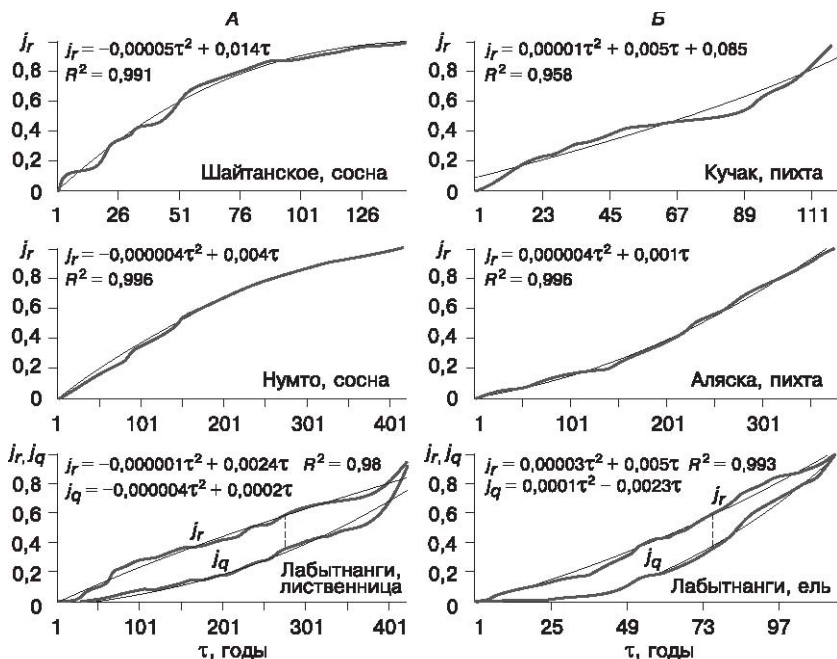


Рис. 5.1. Зависимость j_r и j_q от τ :

А – светолюбивые породы: сосна (*Pinus sylvestris*), лиственница (*Larix sibirica*); Б – теневыносливые ели (*Pinus obovata*), пихта (*Abies sibirica*). Ост. пояснения см. в тексте.

На поперечном разрезе дерева эти полупериоды выражаются одноименными зонами, первая располагается на периферии ствольного круга, вторая – в центральной части. Явная деградация (распад) сначала проявляется в центре ствола и от него постепенно распространяется к периферии.

Графики хода j_r и j_q принципиально не отличаются, но у вторых форма изменения (выпуклость или вогнутость)

выражена более четко. На оси времени выделяется особая точка, в которой $j_q + j_r = j_r + j_r^2 = 1$. Она характеризует равновесие между приращением длины окружности, контролирующей силы ее поверхностного натяжения, и увеличивающейся площадью ствольного круга в растущем дереве, ответственной за внутреннее давление на его окружность (кору). Равновесие между ними, как следует из его уравнения, возможно только при $j_r = 0,618$ и, соответственно, $j_r^2 = 0,382$ (см. пунктирную вертикальную линию на рис. 5.1). Эти числа характеризуют пропорции Золотого сечения (подробнее об этом в гл. 6), при котором достигается устойчивое равновесие двухкомпонентных систем любой природы. По-видимому, с момента достижения радиусом ствола значения $j_r = 0,618$ начинается стадия деградации (старения) дерева. Кривые на рис. 5.1 хорошо описываются полиномом 2-й степени $j_r = at \pm bt^2$ (a и b – численные коэффициенты), откуда относительная скорость прироста $v = dr/dt = a \pm 2bt$. В формуле скорости проясняется физический смысл коэффициентов a и b : a – это начальная скорость прироста; b – ускорение (при знаке минус – замедление). Знак (и величина) b существенно зависит от условий обитания. Для светолюбивых сосны и лиственницы, не имеющих в начале роста фазы светового угнетения, он

отрицательный, ствол прирастает по типу *затухающей ползучести*: скорость радиального прироста со временем убывает, стремясь к некоторой постоянной и минимальной величине, соответствующей переходу 1-й стадии развития во 2-ю (см. рис. 4.1). Теневыносливые ель и пихта, испытывающие в начале роста световое угнетение со стороны быстрорастущих конкурентов и вступающие в фазу интенсивного роста после выпадения последних из древостоя, развиваются в основном по типу *прогрессирующей ползучести*, когда скорость радиального прироста со временем увеличивается.

В то же время видовые различия деревьев не отменяют их общих возрастных закономерностей, описываемых деформационной моделью (см. рис. 4.1, 4.2), сводимых к понятию стадийности. Они лишь определяют разную интенсивность развития на его стадиях, вплоть до кажущегося отсутствия 1-й или 3-й стадий, и, соответственно, разные формы деформационных кривых. Но все они в общем не выходят за рамки диапазона типов кривых, представленных на рис. 4.1, 4.2. Часто наблюдаемое отсутствие 1-й или 3-й стадий на кривых радиального роста связано с долголетием жизненного цикла деревьев, складывающегося из циклов разной продолжительности и амплитуды колебаний их частей (стадий). В качестве объекта наблюдений обычно

выбираются зрелые особи, на момент наблюдений, образно говоря, уже забывшие о своем детстве (о 1-й стадии), но еще не знающие о старости (3-й стадии).

На рис. 5.2 приведены обобщенные кривые увеличения радиуса у тех же (по рис. 5.1) светолюбивой 421-летней сосны в Нумто и теневыносливой 375-летней пихты на Аляске, соответственно, в последние 100 лет и первые 60 лет их существования. Как видим, знак коэффициента b в обоих случаях сменился на обратный, т. е. и теневыносливая пихта проходила 1-ю стадию развития (детство), характеризующуюся замедлением деформации (у b знак минус), и светолюбивая сосна уже вступила в 3-ю стадию (старость), которой отвечает ускорение деформации со знаком плюс.

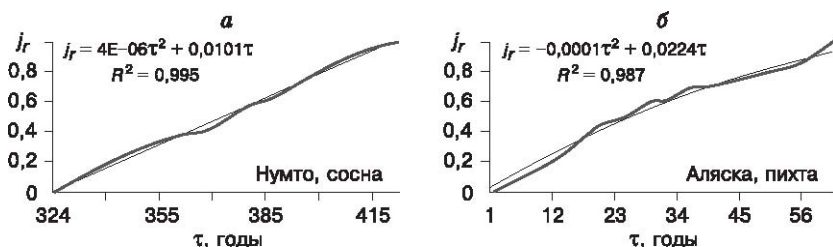


Рис. 5.2. Изменение j_r в конечный (а) и начальный (б) периоды существования.

На рис. 5.3 изображен ход толщины годового кольца Δ (жирная линия – ход скользящей средней за 44 года) и ее средней по текущему радиусу величины $\Delta_c = r/\tau$ у двух самых старых деревьев (по рис. 5.1). За все время их существования (верхние две трети рис. 5.3) и ход Δ_c

только в стационарный период (с мало изменяющейся или с постоянной скоростью), начинающийся у обоих деревьев примерно с 155-го года жизни (нижняя треть рис. 5.3; тонкой линией показан тренд и дана его формула). Введение в анализ величины Δ_c приводит к эффективному сглаживанию кривой хода толщины кольца во времени за счет устранения случайных колебаний, вычленяет ее тренд, близкий к найденному традиционным методом скользящих средних, но выраженный более отчетливо. Соответственно более четко проявляются и особенности развития светолюбивых и теневыносливых деревьев: устойчивое, почти линейное уменьшение средней толщины годовых колец у первых и затухающее их увеличение у вторых. Уменьшение толщины колец ухудшает условия метаболизма в организме дерева и в предельном случае, при нулевой толщине кольца, приводит к гибели. В связи с этим появляется возможность приближенной оценки биологической (т. е. максимальной – в отсутствие пожаров, буреломов и других катастрофических явлений) продолжительности жизни – долговечности τ_m светолюбивых древесных пород. Выражение τ_m для сосны в Нумто и ее величину находим, подставив в формулу средней толщины кольца (на левом нижнем графике рис. 5.3) $\Delta_c = 0$:

$$\tau_m = 0,37/0,0005 + 155 = 895 \text{ лет.}$$

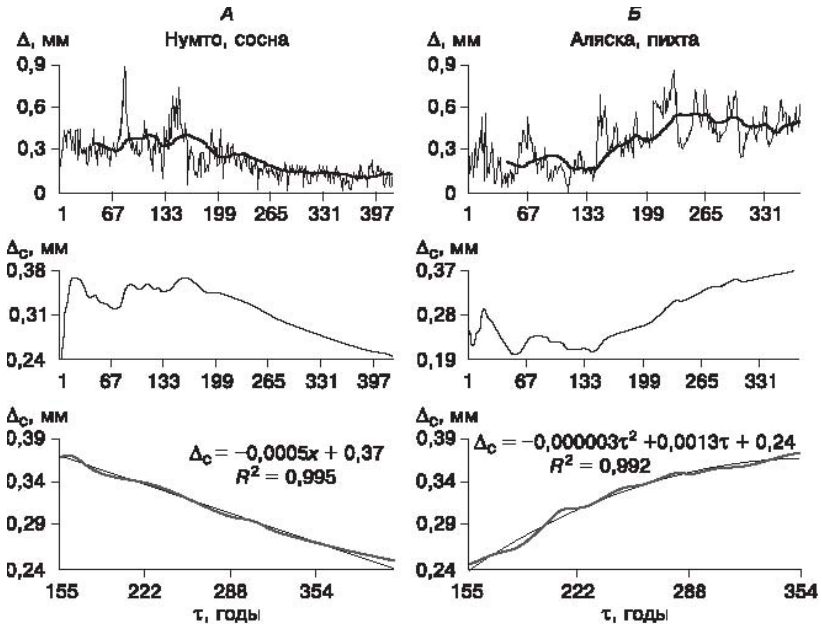


Рис. 5.3. Зависимость Δ и Δ_c от τ :
 А – Нумто, сосна; Б – Аляска, пихта.

Величина τ_m у теневыносливых деревьев более неопределенна, но при некоторых допущениях ее приближенная оценка также возможна. Из рис. 5.3 видно, что в отличие от светолюбивой сосны толщина годовичных колец у тенелюбивой пихты со временем возрастает, но скорость самого увеличения (ускорение) уменьшается. Взяв производную из формулы Δ_c (см. рис. 5.3, Б

(нижний график)) и приравняв ее минимуму ускорения – нулю, находим точку на оси времени $\tau_{ц}$, в которой скорость деформации достигает максимума и начинает понижаться:

$$\tau_{ц} = 0,0013/0,000006 + 155 = 372 \text{ года}.$$

Логично предположить, что $\tau_{ц}$ лежит в середине жизненного цикла дерева, тогда $\tau_{м}$ у теневыносливых деревьев $\approx 2\tau_{ц}$, у пихты (см. рис. 5.2) $\tau_{м} \approx 744$ года.

Вообще, более или менее достоверная оценка долговечности древесной растительности возможна только у относительно долгоживущих особей, предположительно не менее 200...250 лет, достаточно приспособившихся к условиям обитания, но уже имеющих определенные признаки деградации, появление которых на деформационных кривых отражается началом ускорения (замедления) или даже сменой вектора временного хода различных показателей формы – радиуса, площади, толщины колец.

ПЛОТНОСТЬ

Свойства материалов, в том числе и древесины, и, как показано в гл. 2, закономерности их изменения во времени в значительной степени определяются плотностью (ρ).

Плотность древесины зависит в основном от влажности

(w , %). В табл. 5.1 приведены плотности при влажности 0; 12 и 50 % (ρ_0 , ρ_{12} и ρ_{50}), а также базисная плотность ρ_b , равная отношению массы абсолютно сухой

Таблица 5.1

Плотности древесины (ρ , г/см³): базисная и при влажностях 0; 12 и 50 %, а также коэффициенты A , B , k_k и k_c

Породы	ρ_b	ρ_0	ρ_{12}	ρ_{50}	A	B	k_k	k_c
Лист-ца	0,54	0,63	0,66	0,81	0,004	0,624	1,52	1,32
Сосна	0,42	0,47	0,50	0,62	0,003	0,467	1,16	1
Кедр	0,36	0,41	0,43	0,54	0,003	0,408	1	0,87
Ель	0,36	0,42	0,44	0,55	0,003	0,415	1,01	0,89
Пихта	0,30	0,35	0,38	0,45	0,002	0,353	0,85	0,73
Береза	0,52	0,60	0,63	0,77	0,004	0,595	1,45	1,25
Осина	0,41	0,47	0,49	0,61	0,003	0,464	1,14	0,98

древесины к ее объему при полном водонасыщении клеточных стенок (т. е. максимальному объему) распространенных в северных лесах древесных пород [41]. Ее анализ показывает, что, во-первых, зависимость ρ от w линейна: $\rho = Aw + B$, где A и B – численные коэффициенты, определяемые по табл. 5.1, и, во-вторых, соотношения плотностей любой пары древесных пород

не зависят от влажности, являются практически постоянными величинами. Например, отношения всех четырех характерных плотностей сосны и кедра в табл. 5.1 изменяются в пределах 1,15...1,17; осины и кедра – 1,13...1,15; лиственницы и сосны – 1,29...1,34; березы и ели – 1,4...1,44 и т. д. – во всех случаях расхождение между средним и крайними значениями $\rho(w)$ не превышает 2 %. В последних столбцах табл. 5.1 приведены средние значения отношения плотности распространенных пород деревьев к плотности кедра (k_k) и сосны (k_c) при любой влажности, с некоторыми допущениями они позволяют использовать количественные закономерности, установленные для плотности кедра или сосны, на плотности (и массы) деревьев других пород. Подобные коэффициенты нетрудно рассчитать и относительно других древесных пород. Например, для кедра (*Pinus sibirica*) установлено [3], что плотность древесины годового кольца при прочих равных условиях заметно зависит и от его толщины Δ (рис. 5.4).

В пределах $\Delta = 0...0,6$ см эта зависимость весьма достоверно ($R^2 = 0,986$) описывается полиномом 5-й степени (см. двояковыпуклую кривую на рис. 5.4, а):

$$\rho = -47,54\Delta^5 + 66,32\Delta^4 - 28,44\Delta^3 + 2,676\Delta^2 + 0,511\Delta + 0,38.$$

Толщина годовых колец хвойных пород редко превышает 0,35 см. В этих пределах зависимость ρ от Δ с такой же достоверностью аппроксимируется более просто –полиномом 2-й степени (кривая на рис.5.4,б):

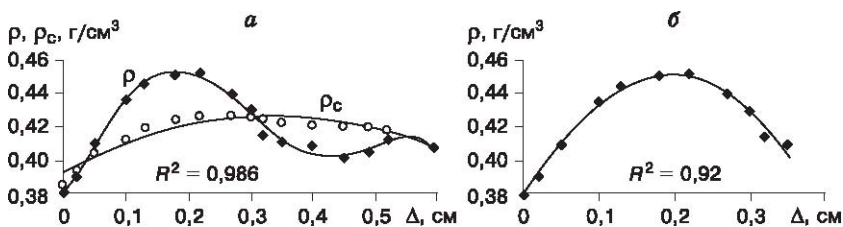


Рис. 5.4. Зависимость ρ и ρ_c от Δ :

а – $\Delta = 0 \dots 0,6$; б – $\Delta = 0 \dots 0,35$; а, б – см. пояснения в тексте.

$$\rho = -1,939\Delta^2 + 0,755\Delta + 0,378. \quad (5.1)$$

Последовательно сложив соответственные величины ρ и Δ и разделив суммы ρ на суммы Δ , находим новую зависимость: средней радиальной плотности кольца ρ_c от его толщины Δ (см. выпуклую кривую на рис. 5.4, а), тоже хорошо описываемую полиномом 2й степени:

$$\rho_c = -0,315\Delta^2 + 0,21\Delta + 0,392. \quad (5.2)$$

Анализ фактических значений ρ_c (см. рис. 5.4, а) показывает, что с ростом Δ они сначала увеличиваются, достигая максимума $\rho_c \approx 0,43 \text{ г/см}^3$ примерно при $\Delta =$

0,3...0,35 см, а затем незначительно уменьшаются с тенденцией к выполаживанию кривой этой зависимости. Иными словами, геометрическое место точек (окружность) с максимальной плотностью находится где-то в центральной части кольца. То же можно сказать и в отношении толщины всего ствола, поскольку закономерности развития обоих примерно подобны [14]. Наиболее широкие (обычно в пределах $\Delta \leq 0,35$ см) и, значит, наиболее плотные кольца располагаются в срединной части радиуса ствола, а ближе к сердцевине и коре они сужаются. Соответственно убывает и плотность к сердцевине ствола – из-за перезрелости (старости) годовых колец ядровой древесины, утративших связь и обмен с живыми тканями дерева, а к коре – из-за недозрелости молодого прироста (заболонной древесины), структура которой, выполняющая пока в основном водопроводящую функцию и имеющая вид заполненных водой сосудов, еще не вполне сформировалась.

Все рассмотренные формулы, установленные для кедра, в первом приближении можно использовать и для других древесных пород с помощью подстановки $\rho_{\pi} = \rho_k k_k$, где $\rho_k = \rho_c$ – плотность кедра, определяемая по (5.2); ρ_{π} – плотность любой другой древесной породы; k_k – переходной коэффициент, определяемый по табл. 5.1. Тогда с учетом (5.2) общая расчетная формула

приобретает вид

$$\rho_n = (-0,315\Delta^2 + 0,21\Delta + 0,392)k_{\kappa}. \quad (5.3)$$

Например, при расчете плотности пихты и сосны в (5.3) подставляется (см. табл. 5.1), соответственно, $k_{\kappa} = 0,85$ и $k_{\kappa} = 1,16$. На рис. 5.5 приведены примеры многолетнего хода ρ_c сосны и пихты (см. рис. 5.1), рассчитанные по рассмотренной методике.

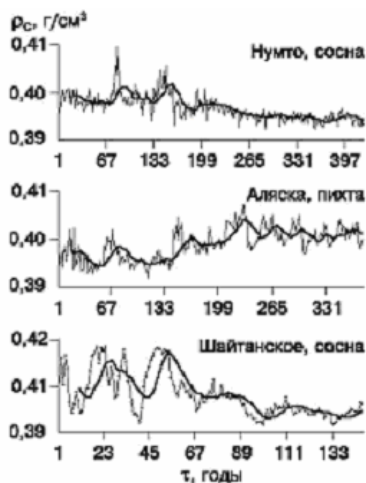


Рис. 5.5. Зависимость ρ_c от τ в разных условиях.

УДЕЛЬНАЯ И ОБЪЕМНАЯ МАССА

Умножив ρ_c на текущий радиус ствола, получаем его удельную (на единицу площади контрольного среза) массу (M_y) – функцию времени. Этот показатель можно

найти и как сумму удельных масс всех годовых колец, составляющих радиус ствола. Разделив текущее значение удельной массы M_y на максимальное M_m (на момент наблюдений) находим относительную (безразмерную, обобщенную) величину удельной массы: $j_{mc} = M_y / M_{ym}$.

Масса контрольного среза – поперечного диска единичной высоты (за единицу высоты примем 1 см) – равна $M = \rho_a V_d$ (г), где V_d – объем диска, равный $3,14r^2 \cdot 1$ см. На рис. 5.6 показан ход изменения этих величин для трех деревьев (см. рис. 5.1). В других случаях, как показал анализ, получается схожая картина.

Анализ рис. 5.6, а свидетельствует о значительном увеличении скорости радиального прироста древесной массы при движении в сторону гидротермического оптимума, характеризуемого индексом сухости $J = 1$ [11], – из северной (Нумто) и горной (Аляска) тайги в подтайгу (Шайтанское). Из рис. 5.6, б, в следует, что скорость радиального нарастания ствола (V_d) в 2–3 раза превышает скорость нарастания его массы (M). Т. е. дерево растет в ширину не только за счет увеличения массы, выражающегося в утолщении клеточных стенок (скелетной основы дерева), но и в большей степени за счет ее механических перемещений с образованием зон разуплотнения (“пустоты”) [13], что указывает на накопление энтропии.

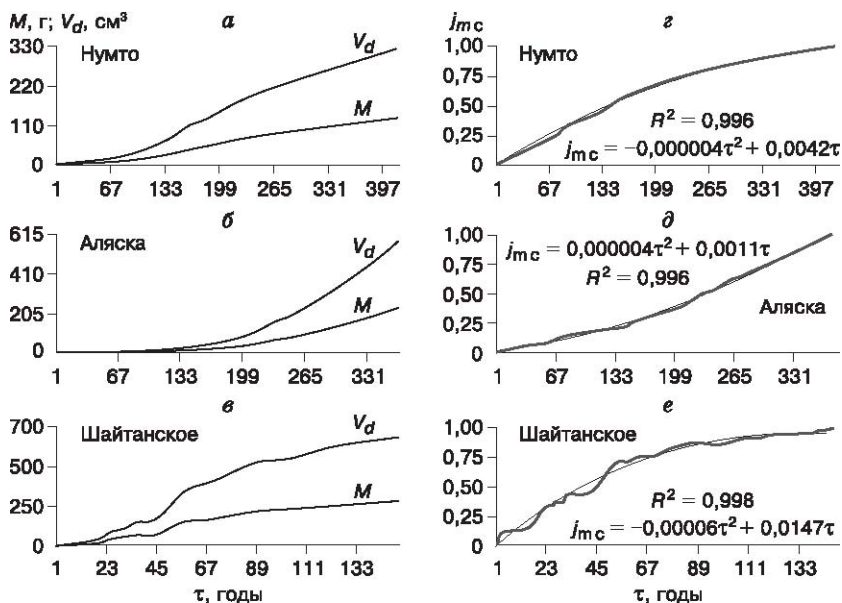


Рис. 5.6. Многолетний ход j_{mc} , V_d и M у сосны в Нумто (а, г), у пихты на Аляске (б, д) и у сосны в Шайтанском (в, е) (тонкая кривая на правых графиках – расчет по аппроксимационным формулам).

Наконец, сравнение рис. 5.6, г–е и рис. 5.1 демонстрирует практически полное совпадение относительных деформаций, рассчитанных по изменению радиуса и массы: $j_r \approx j_{mc}$.

ИНТЕРПРЕТАЦИЯ ХАРАКТЕРНЫХ ПАРАМЕТРОВ ДЕФОРМАЦИОННЫХ КРИВЫХ (МОДЕЛЬ 1)

Площадь ствольного круга (диска высотой 1 см) можно трактовать как условную энергетическую емкость или как условную же внутреннюю энергию (в относительном виде это одно и то же), состоящую из двух частей: уже использованной, связанной $j_r = r/r_T$ и свободной $j_{ш} = 1 - j_r$. Их сумма равна единице, а произведение или производство продукта их взаимодействия – квадрату их среднего геометрического $j_{сг} = (j_r \cdot j_{ш})^{0,5}$, т. е.

$$C = j_r \cdot j_{ш} = j_r - j_r^2 = (j_{сг})^2.$$

На рис. 5.7 показано изменение этих параметров, обобщенно обозначенных j_p во времени (“полный” график для Нумто с выделенным Золотым сечением и половинные, в пределах $j_i \leq 0,5$, для остальных пунктов), основано на данных рис. 5.1. Кривая, состоящая из отрезков кривых зависимостей $j_r(\tau)$ и $j_{ш}(\tau)$, ниже $j_i = 0,5$ – это ход обратимой (условно упругой) деформации j_y , который, как и ход параметра C , придает развитию циклический характер. Общая деформация j_r состоит из обратимой (упругой) и остаточной (пластичной) $-j_{oc} = j_r - j_y$. Расчеты показывают, что $j_y > C$, но в начале и конце

области (см. наклонные линии на рис. 5.7) их графики практически сливаются, и здесь $j_y \approx C$, а $j_{oc} \approx j_r - C$. Разницу $(j_y - C) = j_{rp}$ можно интерпретировать как часть обратимой энергии, которая отвечает только за репродуктивную (семяпроизводящую, “детородную”) способность дерева (область выше линии C на рис. 5.7, выделенная точками). Этой энергией обладает только крона дерева, по мере роста которого она перемещается снизу вверх. Наличие репродуктивной энергии j_{rp} по времени примерно совпадает со 2-й, стационарной стадией (стадией зрелости) и иссякает намного раньше, чем другая часть обратимой энергии – C , отвечающая за ежегодный прирост толщины дерева. Отметим, что как и у всех организмов, включая высшие, детородная энергия и ее субстанция (пыльца, споры, семенная жидкость,...) имеют строго целевое назначение и регулярно (периодически) выделяются и в отсутствие возможности оплодотворения, т. е. в большинстве случаев избыточно и, вообще говоря, бесполезно для собственного воспроизводства. В рамках деформационной модели образование кроны дерева (или отдельного кустарника) объясняется тем, что растягивающее усилие здесь приложено не ко всей окружности ствола, а сосредоточено преимущественно в одной или нескольких точках. И энергия радиального прироста расходуется в основном на образование не кольца, а ветки (у хвойных –

нескольких веток), которая затем сама разветвляется, подобно основному стволу,

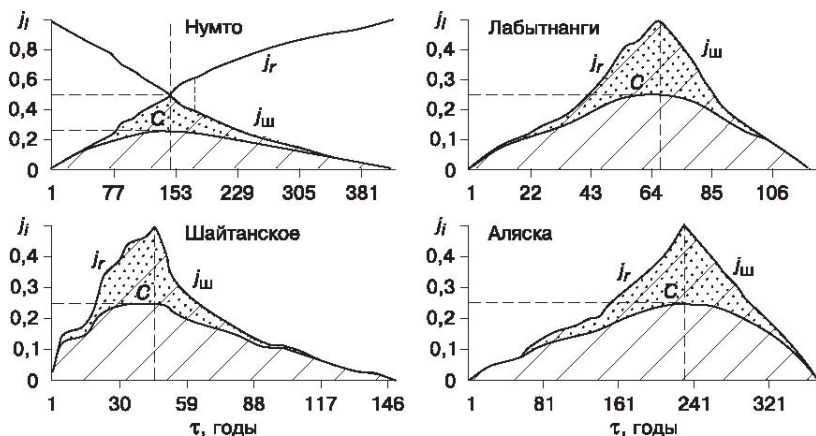


Рис. 5.7. Изменение радиальных параметров деформации ствола во времени.

Пояснения см. в тексте.

образуя крону 2-го порядка. Обычно так изображают генеалогическое дерево.

Графики деформаций, отнесенных к деформации на момент наблюдений, типа изображенных на рис. 5.7, отражают действительные соотношения между параметрами j_i только при совпадении момента наблюдений: а) с биологической смертью дерева или б) с концом вегетационного периода — при рассмотрении годового кольца как самостоятельной особи (см. ниже). В

остальных случаях они условны и имеют лишь иллюстративно-методическое назначение: дать наглядное представление о составляющих деформации и их соотношениях.

ИНТЕРПРЕТАЦИЯ ХАРАКТЕРНЫХ ПАРАМЕТРОВ ДЕФОРМАЦИОННЫХ КРИВЫХ (МОДЕЛЬ 2)

Выразим текущий радиус ствола и его ежегодный прирост (скорость) через отношение меньшего радиуса кольца r_1 к большему r_2 : $j_k = r_1/r_2$; $j_v = 1 - r_1/r_2$. Это более реальные информационные параметры, имеющие строгий физический (энтропийный) смысл: j_k – экспонента сезонной энтропии [$\exp S/k = \exp(\ln r_1/r_2) = r_1/r_2$]; j_v – ее обратная (отнятая от единицы) величина. В течение жизни j_k повышается, особенно интенсивно в ее начале, до 90 % от конечной величины в первые 10–15 лет, а j_v , наоборот, понижается. На рис. 5.8 приведены графики хода во времени j_k , j_v , а также показателя упругости $C = j_k \cdot j_v$ у тех же (см. рис. 5.1) четырех деревьев за первые 20 лет жизни.

Как и на рис. 5.7, область, ограниченная отрезками кривых j_v и j_k , ниже горизонтали $j_{vi} = 0,5$ (см. рис. 5.8, заштрихована) характеризует “жизненную силу” (упругость) дерева. Ее верхняя часть, обозначенная

точками, отвечает за репродукцию (семяпроизводство). Это генетически запрограммированная, наследуемая сила, которая, как видно из рис. 5.8, иссякает на данном срезе дерева (на высоте 1,3 м) уже на 6...12 году жизни, перемещаясь вслед за кроной на более высокие отметки. На рис. 5.9 показаны аналогичные графики хода j_v у двух старших (см. рис. 5.1) деревьев в течение всей жизни. Функция $j_v(\tau)$ на графиках рис. 5.8 аппроксимируется степенной зависимостью

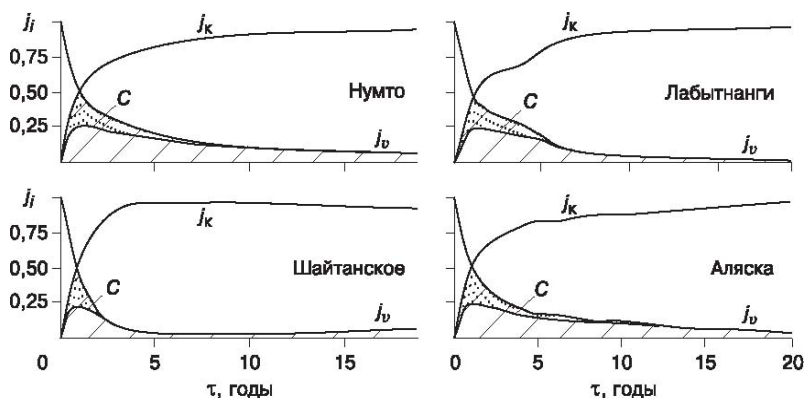


Рис. 5.8. Зависимость j_k и j_v от τ в первые 20 лет жизни.

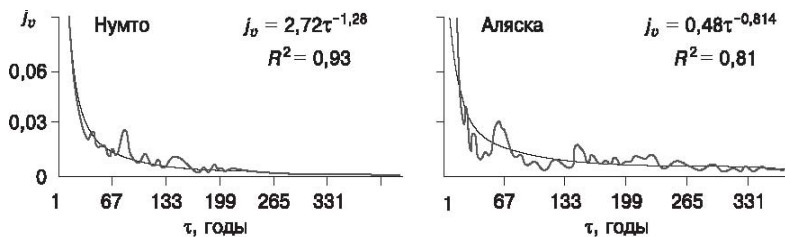


Рис. 5.9. Зависимость j_v от τ .

$$j_v = a\tau^b, \quad (5.4)$$

где a , b – численные коэффициенты.

Безразмерная толщина кольца, выраженная таким образом – модель 2, в отличие от модели 1 (ср. с рис. 5.7) со временем только уменьшается примерно по одинаковому закону и у светолюбивых, и теневыносливых растений.

БИОЛОГИЧЕСКАЯ ДОЛГОВЕЧНОСТЬ τ_m

Биологическая смерть дерева наступает при достижении шириной кольца предельно малого, близкого к нулю, значения $j_v = j_{v0}$, при котором кольцо становится непроходимым и делает невозможным метаболизм. Тогда τ_m определяется из формулы (5.4) при $\tau = \tau_m$; получается $\tau_m = (j_{v0}/a)^{1/b}$. Для установления j_{v0} необходимы специальные исследования. Здесь ограничимся расчетом j_{v0} по найденным выше значениям

τ_m , используя формулы на рис. 5.9. Для сосны в Нумто-I и пихты на Аляске-II имеем

$$I) j_{v_o} = 2,72895^{-1,28} = 0,00045,$$

$$II) j_{v_n} = 0,48744^{-0,814} = 0,0022.$$

Определение биологической долговечности дерева существенно облегчается при устранении влияния на ход развития колебаний внешних условий, точнее их линеаризации. Для этого существуют разные приближенные методы [13] с примерно одинаковой степенью правомочности их использования. Хорошие результаты дает метод осреднения показателей по текущим координатам пространства и времени. Выше этот метод уже применялся для определения средней ширины кольца $\Delta_c = r/\tau$ (см. рис. 5.3). Так же можно осреднить и величины j_v ; получаем: $j_{vc} = \sum j_v / \tau$, где $\sum j_v$ –

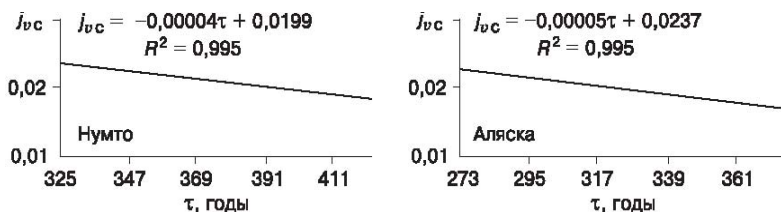


Рис. 5.10. Зависимость j_{vc} от τ .

сумма j_v за текущее время τ . Анализ показал, что

функция $j_{vc}(\tau)$, как и $j_v(\tau)$, описывается степенной зависимостью, причем многолетние колебания полностью нивелируются, а через 100...150 лет степенная зависимость вырождается в линейную. Зависимость j_{vc} от τ у деревьев, достигших этого возраста, и формулы этой зависимости приведены на рис. 5.10. Подставляя в них $j_{vc} = 0$, находим τ_m для сосны в Нумто–I и пихты на Аляске–II:

$$I) \tau_m = 273 + 0,024/0,00005 = 753 \text{ года},$$

$$II) \tau_m = 273 + 0,023/0,00006 = 656 \text{ лет}.$$

Величины τ_m , рассчитанные этим способом и изложенным выше, отличаются на 13...18 %, причем в обоих случаях τ_m на 100...150 лет больше у сосны в Нумто. Поэтому уместно говорить не об одном значении τ_m , а о ее возможном диапазоне, определяемом расчетом по обеим формулам: для сосны в Нумто $\tau_m = 753...895$ лет, для пихты на Аляске $\tau_m = 656...744$ года. Долговечность рекомендуется оценивать по меньшей цифре (с запасом).

СЕЗОННЫЙ ХОД СКОРОСТИ ПРИРОСТА И РАДИУСА ДЕРЕВА

Сезонные закономерности радиального роста древесной растительности определяются месячными и суточными

колебаниями внешних условий в теплое время года. Каждое годовое кольцо можно рассматривать и как особь – “потомка”, развивающегося по тем же законам, что и “материнская” система – ствол, подобно ей. В [13] детально исследован сезонный ход скорости радиального нарастания ствола сосен в Подмоскowie и сосен и елей под Красноярском. Их графики однотипны в обоих районах и для обеих пород.

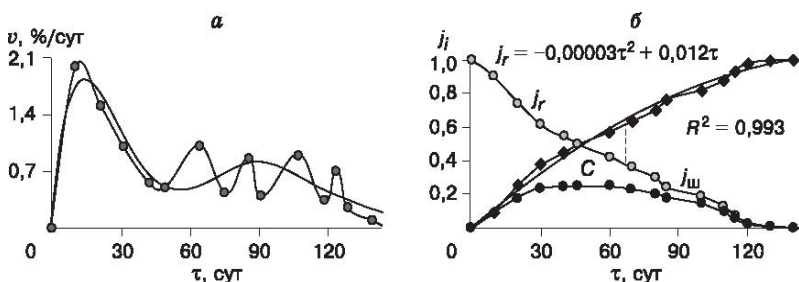


Рис. 5.11. Ход относительных показателей деформации сосны в мае-августе 1967 г. в Московской области: a – скорости роста годовых колец (v) [13]; $б$ – параметров $j_r, j_{ш}$ и C , обозначенных, как и на рис. 5.7, символом j_i ; τ – время.

Рисунок 5.11, a заимствован из книги [13], построен на основе рис. 5.10, a путем сложения скоростей. Сглаженные линии – аппроксимации функций $v(\tau)$ и $j_r(\tau)$, в первом случае полиномом 6-й степени (формула не приводится из-за громоздкости), во втором – полиномом 2-й степени; его формула дана на рис. 5.11, $б$. Как видим,

деформационные кривые на рис. 5.11, б идентичны таковым на рис. 5.7 и 5.1. Формулы для их описания в похожих природных условиях близки между собой (ср. формулы на рис. 5.11, б для сосны в Подмоскowie и на рис. 5.1 для сосны в Шайтанском под Тюменью) с той разницей, что в первом случае время выражено в сутках, а во втором – в годах. Иными словами, сутки в сезонном ходе утолщения ствола примерно эквивалентны году в его многолетнем ходе. Аналогичные результаты получены для сосны и ели под Красноярском, для этих деревьев установлена также идентичность сезонного роста относительных величин толщины ствола и числа клеток в его радиальных рядах [13].

Формирование (деформация) годового кольца, его структурное обособление, в значительной мере определяется фазовыми переходами древесной влаги и ее тепло и водопроводящими свойствами. На рис. 5.12, а изображен график зависимости плотности воды (ρ_v) от температуры (t) [34], аппроксимированный формулой

$$\rho_v = 5 \cdot 10^{-8} t^3 - 8 \cdot 10^{-6} t^2 + 7 \cdot 10^{-5} t + 0,9998. \quad (5.5)$$

При кристаллизации древесной влаги в начале зимы ее объем резко увеличивается, создавая растягивающие напряжения. При превышении ими предельных

сопротивлений разрыву стенок трахеид или коры в них

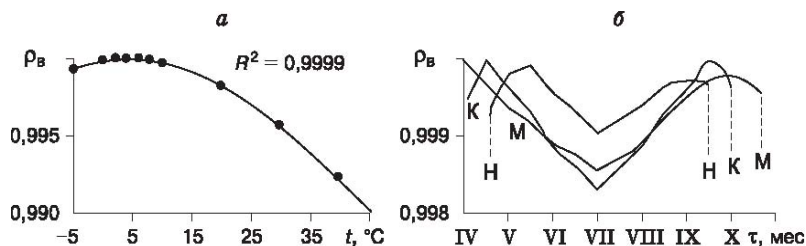


Рис. 5.12. Зависимость $\rho_{\text{в}}$ от t и τ :

а – зависимость плотности воды ($\rho_{\text{в}}$) от температуры (t); *б* – ход $\rho_{\text{в}}$ в теплые месяцы года в Красноярске (К), Москве (М) и Нумто (Н).

образуются морозобойные трещины. Кроме того, кристаллы льда закрывают проводящие каналы, прерывая метаболизм. Декристаллизация влаги (в апреле–мае в умеренном поясе и мае–июне в субарктическом) с сокращением ее объема вызывает образование пустот внутри древесного тела, ориентированных по пути перемещения оттаявшей влаги. Как следствие, в трахеидах, имеющих форму вытянутых продольных каналов, связанных в единую систему, возникает отрицательное давление, стягивающее в них грунтовую влагу – сырье для производства древесной ткани, до их полного насыщения. Плотность у влажной древесины примерно вдвое меньше, чем у воды, поэтому

производство древесной ткани сопровождается увеличением объема.

На рис. 5.12, б показан ход плотности воды ρ_v в теплые месяцы года в Красноярске, Москве и Нумто, рассчитанный с помощью формулы (5.5) по данным метеостанций. Выделяются два пика повышенной плотности воды: весенне-летний на подъеме и летне-осенний на спаде, определяющие морфологические особенности ранней и поздней древесины. Вода с пониженной плотностью более подвижна, что способствует процессам метаболизма в камбии и образованию на временном отрезке между пиками плотности древесной ткани. Размеры клеток в этот период достигают максимальных размеров. Повидимому, именно дефицит плотности (при увеличивающемся объеме – дефицит массы) в “потенциальной яме” между этими пиками обеспечивает физическую возможность нарастания скелетной массы дерева.

Глава 6. ОБЩЕЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ О ВЗАИМОДЕЙСТВИИ КОМПОНЕНТОВ ЭКОГЕОСИСТЕМ

Геометрия владеет двумя сокровищами: одно из них – теорема Пифагора, другое – деление отрезка в крайнем и среднем отношении. Первое можно назвать мерой золота, второе же больше напоминает драгоценный камень.

Иоганн Кеплер

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ЧАСТИЦ В СИСТЕМЕ

Каждая система лишь частично заполнена массой вещества. Остальная часть остается условно пустой. Условно потому, что на самом деле в ней “растворены” (взвешены) мельчайшие частицы, размеры, масса и время жизни которых суммарно меньше одной частицы, принятой за элементарную. Т.е. “пустота” по суммарной массе, занимаемому объему этих “растворенных” частиц и времени их существования примерно идентична (несколько меньше) “элементарной” частицы (субсистемы), которая не поддается измерению. Свободное пространство U используется частицами для отправления своих “жизненных” функций (колебаний – в широком смысле). Вещественная часть системы $\check{U}$ может состоять как из одной, так и множества мелких частей. Чтобы отразить их

индивидуальность, хотя бы в усредненном виде, вещественную часть выразим через среднее геометрическое их относительных объемов $X = (\ddot{Y})^{1/n}$. Тогда для единичной суммы вещественной и свободной части системы можно записать

$$\ddot{Y} + Y = X^n + Y = I, \quad (6.1)$$

где n – количество частей (элементов) вещества в системе, X – среднее геометрическое из относительных объемов или масс каждой из них.

Формула (6.1) отражает противостояние Y и $\ddot{Y} = X^n$ – математических абстракций, под которыми можно понимать любые оппозиции, выраженные в относительном виде, например свободную (кинетическую) и связанную (потенциальную) энергии, в сумме составляющих полную энергию (энергоёмкость) системы; хаос и порядок; избыточность и недостаточность; доминантную и субдоминантные растительные таксоны палиноспектров; климатические показатели теплого и холодного периодов [7]; осадконакопление и денудацию, и т.п.

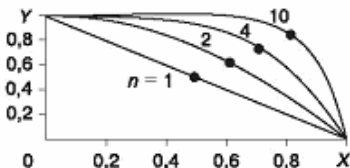
Все экогеосистемы представляют собой иерархию меньших систем (субсистем) разного порядка. Величина n – количество противостоящих (и взаимодействующих)

частиц вещества (элементов, компонентов, молекул, ансамблей молекул...), служит мерой упорядоченности системы. При $n=0$ имеет место полный беспорядок, хаос, когда частицы не связаны друг с другом, существуют сами по себе. При $n=1$ формула (6.1) линейна, *одномерна*; при $n=2$ – *двухмерна*; при $n=3$ – *трехмерна* и т.д. Линейность характеризует монолит, неделимое тело, взаимодействующее со своим окружением на паритетных началах, деля жизненное пространство пополам. Такое состояние равномерно и устойчиво, но при этом внутри системы отсутствуют условия (силы, движение, метаболизм) для самоорганизации и рождения нового. Линейность присуща лишь отдельным фрагментам мира, ограниченным “горизонтом видимости”, когда имеет место примерное равенство относительной энтропии и деформации: $\ln(h/h_0) \approx (h - h_0)/h_0$ (см. главу 3). Линейные связи всегда условны и действуют лишь определенное время. Значение $n=2$ - наиболее распространенное, поскольку все формообразующие поверхности разлагаются на плоские фрагменты и, кроме того, как показано в [33], многокомпонентные системы можно обобщить и свести к двухкомпонентной, представив ее как дихотомию доминантной компоненты и суммы остальных.

ОБОБЩЕННЫЕ ЗОЛОТЫЕ СЕЧЕНИЯ (ОЗС).

На рис.6.2 дан график формулы (6.1), из которого видно, что при всех n с увеличением X величина Y уменьшается. Существуют точки, в которых они сравниваются, функция становится равной аргументу: $Y=X=\Phi$. Очевидно, что в этих точках “беспорядок” и “порядок”, между которыми развивается и функционирует система, максимально уравновешены, гармоничны, а сама система максимально производительна и жизнеспособна.

Рис. 6.2. График функции Y от X при различных n (кружки – значения Φ).



С учетом $Y=X=\Phi$, формула (6.1) преобразуется в простой полином n -й степени:

$$\Phi^n + \Phi - 1 = 0. \quad (6.2)$$

Значения $\Phi = \Phi_n$, характеризующие соотношение вещества и “пустоты” в системе, при разных целых $n \geq 1$, приведены в табл. 6.1 [63].

Таблица 6.1

Значения Φ_n при разных n

n	Φ_n	n	Φ_n	n	Φ_n
1	0,5	8	0,8116	16	0,8773
2	0,6180	9	0,8243	17	0,8819
3	0,6823	10	0,8351	18	0,8862
4	0,7245	11	0,8444	20	0,8939
5	0,7549	12	0,8526	23	0,9034
6	0,7781	14	0,8662	27	0,9134

Из формулы (6.2) величина Φ непосредственно не определяется, но ее можно найти по ее графику на **рис.6.3**, как функции $\Phi=\Phi_n$ от n или от $1/n$.

Значения Φ_n при $n < 1$ равны $(1 - \Phi_n)$ для $1/n$ при $n > 1$. Например, величины Φ_n для $n=0,5$; $0,33$ и $0,25$ равны, соответственно, 0,38 $=1-\Phi_2$; 0,32 $=1-\Phi_3$ и 0,28 $=1-\Phi_4$. Кроме того, при $0,05 < n < 10$ достоверна одинаковая логарифмическая аппроксимация обеих функций: $\Phi(1/n)$ – рис. 6.3, *a* и $\Phi(n)$ - рис.6.4,*б*.

Формула (6.2) действительна при всех n от 0 и выше. Целые n соответствуют четким границам между фазовыми состояниями систем, разным траекториям их развития; дробные заключают в себе причудливый мир фракталов.

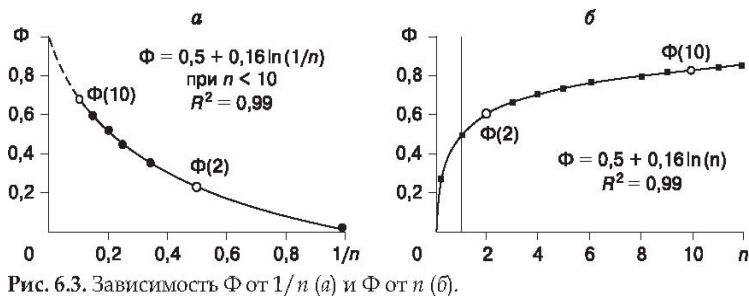


Рис. 6.3. Зависимость Φ от $1/n$ (а) и Φ от n (б).

Каждая система представляет собой сложную, многоуровневую иерархию взаимодействующих частиц и каждому уровню n соответствует своя идеальная (золотая) пропорция, свое Золотое сечение Φ_n (или $\phi_n = 1/\Phi_n$). Их совокупность составляет последовательность Обобщенных Золотых сечений (ОЗС) [63, 66]. По определению Э.М. Сороко [63], ОЗС есть “инварианты на основе и посредством которых в процессе самоорганизации естественные системы обретают гармоническое строение, стационарный режим существования, структурно-функциональную устойчивость”.

Величины n – это натуральные числа, первоэлементы счисления в классической математике, ее основания. Поэтому формулу (6.2) (и табл.6.1) можно трактовать еще шире: как выражение соответствия первоэлементов классической и некой другой, “параллельной” математики, основанной на Золотых сечениях –

Математики Гармонии по терминологии одного из основоположников и лидера этого научного направления А.П. Стахова [66]. Сущностная разница между ними в том, что натуральный ряд чисел отражает внешнюю сторону системы, ее количественный состав, а ряд ОЗС – ее внутреннюю структуру, отвечающую за качество. В то же время, ОЗС можно рассматривать и как своего рода *натуральные числа, лежащие в основании всей Математики Гармонии.*

ОЗС включают две константы, большую (характеристическую) Φ и меньшую $1-\Phi = \Phi^n$, сосуществующие как дихотомия, в режиме единства и противостояния. Они определяют соотношение свободной $1-\Phi$ и связанной Φ энергии на каждом структурном уровне n . С увеличением n растет связанная энергия (и энтропия) и уменьшается свободная (и негэнтропия).

Все ОЗС, кроме первого $\Phi_1=0,5$, иррациональные числа. Поэтому равенство ОЗС реальным величинам может быть только приближенным (обычно его принимают точным при совпадении не менее двух знаков после запятой – 0,62 (0,38); 0,68 (0,32); 0,72 (0,28)...).

Анализ показал, что в области $n \geq 1$ хорошее совпадение (до десятых долей процента) с табличными значениями Φ дает выражение:

$$\Phi_n = (\Phi_{n-1})^z, \quad z=0,5^{1/n}, \quad (6.4)$$

что подтверждается табл. 6.2.

Таблица 6.2

Значения Φ_n , найденные по табл.6.1 -I и рассчитанные по формуле (6.4) -II.

n	1	2	6	10	16	20	27
Φ_n - I	0,5	0,618	0,778	0,835	0,877	0,894	0,913
Φ_n - II	0,5	0,613	0,776	0,834	0,875	0,892	0,911

В области $n > 1$ зависимость $\Phi_n (n)$ дает представление о росте вещества в системе, связывании его в целое, а $\Phi_n (1/n)$ – деградации системы, постепенного ее распада, вследствие накопления разрывов связей частиц. Сказанное справедливо и для области $n < 1$, где вероятно существование не фиксируемых наблюдениями частиц (меньших элементарной), но в этом случае и речь может идти не о реальном их росте или деградации, а о их вероятности. Обнаружена связь ОЗС с относительной долговечностью твердых (“мерзлых”) тел, в частности мерзлых грунтов и льда [29]:

$$(\tau_3 / \tau)^{j_{пл}} = \xi = (P / P_m), \quad (6.5)$$

где P – давление на мерзлое тело; P_m – максимальное давление, которое это тело может выдержать в течение элементарного времени; τ_0 – минимальный (элементарный) отрезок времени, измеряемый в данном опыте (в пределе $\tau_0 \approx 10^{-13}$ с – период тепловых колебаний атома); τ – долговечность (время до разрушения); $j_{пл} = 0,083$ – предельная деформация, равная относительному уменьшению объема льда при плавлении, совпадающая с частотой месячных оборотов в годовом цикле ($1/12 = 0,083$; $30^\circ/360^\circ = 0,083$).

В табл. 6.3 приведены: значения первых одиннадцати ОЗС, относительной долговечности τ/τ_0 и $(\tau/\tau_0)^{0,083} = f$. Величины τ/τ_0 представлены последовательностью, первый член которой равен 4380, второй в 12 раз меньше – 365, а начиная с третьего она превращается в геометрическую прогрессию: $365/4^1=91$; $365/4^2=46$; $365/4^3=30$; $365/4^4=23$; $365/4^5=18$; $365/4^6=15$; $365/4^7=13$..., инвариантом которой является четверть орбиты вращательных циклов Земли, примерно 90° , совпадающая с продолжительностью основных фаз, образуемых вращением Земли (весна, лето, осень, зима или утро, день, вечер, ночь). Эти числа также почти совпадают с календарными отрезками года (полугодием, кварталом, месяцем и т.п.). Например, если принять $\tau_0=1$ час, то эти числа, до 6-го включительно, примерно соответствуют количеству часов в полугодии, в

полумесяце, в полунеделе, в четверти недели, в ее шестой части и в сутках. При $\tau_3=1$ сутки эти же числа (4380, 365, 91, 46, 30 и 23) соответствуют количеству суток: в 12(11) годах (цикл солнечной активности Вольфа), в году, в квартале, в половине квартала, в месяце и в четверти квартала.

Из табл. 6.3 видно, что разница между величинами ОЗС и $\mathcal{E}$, рассчитанными для *выделенных* отношений τ/τ_3 , составляет сотые доли процента. Поскольку границы

между частицами тела являются концентраторами напряжений и вакансиями разрушения, то увеличение их числа (увеличение n) сопровождается уменьшением долговечности τ/τ_3 , как это и следует из табл. 6.3. Таким образом, странное, на первый взгляд, совпадение ОЗС с относительной прочностью мерзлого тела $\mathcal{E} = (P/P_{\text{макс}})$ получает вполне материалистическое объяснение.

В общем случае τ/τ_3 – любое число от единицы и выше. На рис. 6.4 показаны зависимости Φ_n и $D = \ln(\tau/\tau_3)$ от n для первых 10 членов ряда ОЗС. Формулы на рис. 6.4, б регламентируют соответствие τ/τ_3 и n , при котором реализуется идентичность формул для расчета ОЗС (6.3) и (6.5).

Таблица 6.3

Значения ОЗС (Φ_n), $D = \ln(\tau/\tau_3)$ и $\mathcal{E} = (\tau_3/\tau)^{0,083}$

n	Φ_n	τ/τ_3	D	$\mathcal{E}$
1	0,5	4380	8,38	0,497
2	0,618	365	5,9	0,613
3	0,682	91	4,51	0,687
4	0,724	46	3,83	0,728
5	0,755	30	3,4	0,753
6	0,778	23	3,14	0,771
7	0,796	18	2,89	0,79
8	0,812	15	2,71	0,800
9	0,824	13	2,56	0,810
10	0,835	11	2,4	0,820
11	0,844	10	2,3	0,846

Согласно формуле (6.3), все члены последовательности ОЗС обладают замечательным свойством – результаты их возведения в степень n и вычитания их из единицы одинаковы: 1) $0,5^1 = 0,5$ и $1 - 0,5 = 0,5$; 2) $0,618^2 = 0,372$ и $1 - 0,618 = 0,372$; 3) $0,682^3 = 0,318$ и $1 - 0,682 = 0,318$ и т. д. Из этого следует, что связанная энергия, использованная на производство (или на произведение $X^X \dots X = X^n$) вещественной части, и свободная энергия

$(Y=1-X^n)$ равны, что и следует из формулы (6.3)

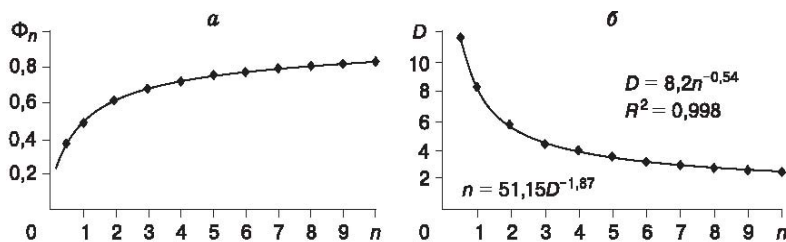


Рис. 6.4. Зависимость Φ_n (а) и $D = \ln(\tau/\tau_3)$ (б) от n .

Все равновесные гармоничные системы подобны самим себе на каждом шаге (в каждом цикле) развития. С учетом равновесия свободной и связанной энергии это возможно, если на каждом последующем шаге энергия, неиспользованная на предыдущем шаге, связывается производением или производством (оба выделенных слова синонимичны, имеют общий корень и схожий смысл) новой субстанции. Тогда пошаговый алгоритм развития, например, двухкомпонентной системы, выглядит так: первый шаг – $X_1 = XX = X^2$ (энергия, затраченная на производство новой субстанции или связанная энергия), $Y_1 = 1 - X_1^2$ (оставшаяся или свободная энергия); второй шаг – $X_2 = Y_1$, $Y_2 = 1 - X_2^2$, третий шаг – $X_3 = Y_2$, $Y_3 = 1 - X_3^2$, ... и т. д. На графиках (рис. 6.5) показана реализация (модель) этого алгоритма при разной

точности представления величины второго члена ОЗС $X = \Phi_2$ – с тремя и пятью знаками после запятой (a и b), а также для третьего члена $X = \Phi_3$ (см. табл. 6.1) с пятью знаками после запятой. Согласно этой модели, близкие к равновесию системы развиваются в “коридоре” между $1 - \Phi$ (вход в коридор) и Φ (выход) в режиме колебаний около отметки 0,5. Это область зрелости системы, где ее развитие гармонично, производство энтропии минимально, а жизнеспособность максимальна. Ее протяженность зависит от точности задания Φ и количества частиц n в системе. Чем она точнее, т. е. чем больше в ней знаков после запятой, тем длиннее этот коридор гармонии. В приведенном примере уточнение начального значения $X = \Phi_2$ до пяти знаков увеличивает его длину, которую можно интерпретировать как долговечность системы, более чем втрое, с 25 до 82 (пунктирные вертикальные линии на рис. 6.5). Количество знаков после запятой в величине Φ , видимо, определяет “жизнеспособность” системы, ее способность длительное время совершать гармонические (полностью обратимые, упругие) колебания в интервале $(1 - \Phi_n) \dots \Phi_n$, т. е. устойчиво функционировать. Последовательность таких гармонических колебаний составляет геометрическую прогрессию, инвариантную величине Φ_n или $\varphi_n = 1/\Phi_n$, длина которой совпадает с

долговечностью. Что касается n , то с его увеличением растет ширина коридора гармонии, но убывает пространство свободной энергии, нужной для воспроизводства (живущие на “широкую ногу” раньше растрачивают свои жизненные силы). Чем больше n , а значит, и частиц в системе, тем меньше ее долговечность – сравните графики a и b на рис. 6.5 (см. также табл. 6.3). При одинаковом числе знаков после запятой максимум долговечности системы достигается при $n = 2$, в обе стороны от этого значения n она убывает.

Ширину коридора гармонии можно сопоставить со стадией зрелости (“летним” периодом) в эволюционном цикле на рис. 2.1, на которой система максимально упруга и характеризуется максимальной производительностью, жизнеспособностью и устойчивостью. И гармония, и упругость ограничены одинаковыми пространственно-временными пределами, равными константам ОЗС – $(1 - \Phi_n)$ и Φ_n , при всех n имеющими одну и ту же ось симметрии, совпадающую по величине с $\Phi_1 = 0,5$, которую можно интерпретировать как внутреннюю энергию системы в безразмерном виде. В терминах механики стадия зрелости соответствует линейной (стационарной) ползучести деформируемого тела (см. рис. 4.1), когда скорости деформации и производства энтропии постоянны и минимальны за весь эволюционный цикл. Φ_n – порог, за которым начинается

стадия старения, деградации, системы, когда энтропия начинает увеличиваться по нарастающей. Но при всех Φ_n , кроме $\Phi_n = 1$, это еще не максимум энтропии, не полная утрата упругости (обратимости) и устойчивости. В условиях колебательного режима Φ_n – не точка, а пространственно-временная протяженность состояния гармонии, увеличивающаяся с ростом числа колебаний, составляющих жизненный цикл, каким-то образом связанного с ростом количества знаков после запятой в величине Φ_n .

Вообще понятие устойчивости перегружено разными смыслами. Чаще всего под устойчивостью подразумевают способность системы сохранять или самостоятельно возвращать свое начальное состояние, т. е. быть упругой. Устойчивость связана с равновесностью. Система настолько же устойчива, насколько и равновесна. Максимальная устойчивость (устойчивое равновесие) достигается при $n = 1$ ($\Phi_1 = 0,5$), когда доли вещества и “пустоты” одинаковы, но в этом случае вещественная часть системы вырождается в монолит, сплошное тело, реальное или отраженное, в котором нет субъектов самоорганизации – частиц.

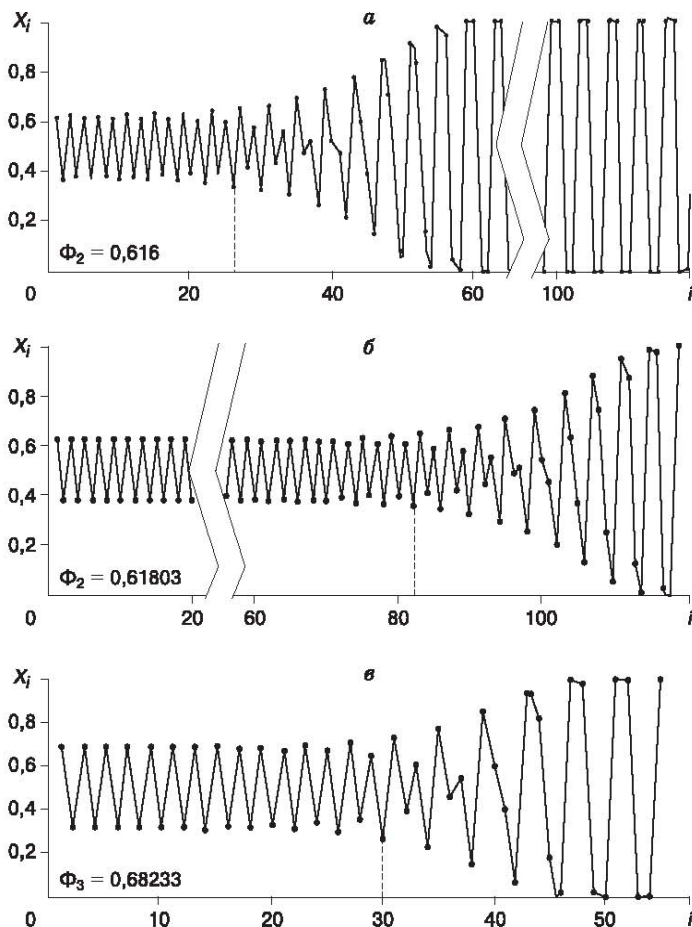


Рис. 6.5. Схематическая модель пошагового развития (i – число шагов (циклов)):

a – при $X = \Phi_2 = 0,616$; *б* – при $X = \Phi_2 = 0,61803$; *в* – при $X = \Phi_3 = 0,68233$.

Способность самоорганизации (гармонии), которую можно сопоставить с упругостью, появляется при $n > 1$, достигает максимума при $n = 2$ и затем, как и

устойчивость, убывает с увеличением числа компонентов (n). Именно эта способность делает все системы похожими на живые. Если при $n = 1$ в устойчивом равновесии находятся вещество и пустота, то при $n = 2$ устойчиво уравновешены (самоорганизованы) частицы самого вещества. Поскольку с увеличением n устойчивость (и равновесность) убывает от 1 до 0, то для ее определения удобно использовать отношение $1/n = \eta$, показывающее во сколько раз уменьшилась устойчивость при данном n по сравнению с его максимальным (единичным) значением. Величина n , а затем и η , определяется из преобразования (6.3)

$$n = \ln(1 - \Phi) / \ln(\Phi). \quad (6.6)$$

Абсолютная устойчивость системы, отвечающая постоянному пребыванию в гармоническом состоянии, недостижима, так как Φ при любом n (т. е. Φ_n) – число с бесконечным количеством знаков после запятой. При любой точности задания величины Φ стенки коридора однажды начинают расходиться, связи между частицами рвутся и каждая из них переходит на свободные (произвольные) колебания между 0 и 1. Такое состояние в философии называют “дурной бесконечностью”. Это понятие, введенное Гегелем, относится к представлению о развитии природы как о бесконечной череде

круговоротов материи с постоянным возвратом к одним и тем же исходным пунктам. Диалектический материализм “исходит из признания неисчерпаемости материального мира, существования бесчисленного множества различных уровней структурной организации материи, вечного саморазвития и качественных изменений материи и форм ее движения” [47]. Натуральный ряд чисел Математики Гармонии – ОЗС как раз и дает возможность количественной оценки этого “бесчисленного множества качественных изменений материи и форм ее движения” в конечных величинах, вполне реальных для данного уровня развития науки и техники.

Таким образом, гармония невозможна без определенной доли хаоса (свободы, неустойчивости, неравновесности), увеличивающейся с ростом числа частиц (n) в системе. Эта доля и отражается в величинах ОЗС.

ЗОЛОТОЕ СЕЧЕНИЕ

Собственно Золотым сечением (ЗС) называется решение (6.3) при $n = 2$: $\Phi_2 = 0,618$ или его обратная величина $\phi = 1/\Phi_2 = 1,618$ (число Фидия). Наряду с $\pi = 3,14$ – отношением длины окружности к диаметру и $e = 2,72$ – основанием натуральных логарифмов, $\phi = 1,62$ входит в тройку самых важных и часто употребляемых на

практике иррациональных чисел. Причем φ и π связаны непосредственно: $\varphi = 2 \cos \pi/5$. Это выражение φ , а также $\varphi = (1 + 5^{0,5})/2$ обуславливают связь ЗС с пентагональной икосаэдро-додекаэдрической симметрией (см. табл. 2.1). Золотое сечение делит единичное целое на две неравные части так, что отношение большей части к целому равно отношению меньшей части $(1 - \Phi)$ к большей (Φ):

$$\Phi/1 = (1 - \Phi)/\Phi = 0,618/1 = 0,382/0,618 = 0,618. \quad (6.7)$$

Формула (6.7) в том виде, как она записана, справедлива только для $n = 2$. Однако ее можно обобщить на весь ряд ОЗС. Для этого перепишем ее в виде, не влияющем на результат расчета Φ_2 :

$$(\Phi_n/1) = [(1 - \Phi_n)/\Phi_n]^{1/(n-1)} = 0,62/1 = 0,38/0,62 = 0,62. \quad (6.8)$$

Например, для $n = 3$ имеем: $(0,68/1) = (0,32/0,68)^{0,5} = 0,68$; для $n = 8$: $(0,81/1) = (0,19/0,81)^{1/7} = 0,81$. Т.е., (6.7) является частным случаем (6.8) при $n = 2$.

Вообще в любой системе взаимодействие частиц обычно сводится к противостоянию доминантной и недоминантной групп (ср. с социальными дихотомиями – большинства и меньшинства, “левых и правых”, богатых и бедных), и для установления закономерностей ее развития можно рассматривать взаимодействие только этих групп, а не всего множества частиц в отдельности

[32]. Сама последовательность ОЗС (см. табл. 6.1) указывает на быстрое уменьшение разницы между ее членами с возрастанием n , а табл. 6.2 и рис. 6.5 – и на сокращение их долговечности и, соответственно, устойчивости. Отсюда и более частая встречаемость, и преимущественная значимость (выделенность) для функционирования системы именно ЗС (0,618) по сравнению с другими ОЗС.

Золотое сечение – это наиболее часто встречающаяся пропорция близких к равновесию оппозиций во всех системах Мироздания, энергетически наиболее выгодное, оптимальное (гармоническое), соотношение его частей, обеспечивающее их устойчивость и длительное существование, а в произведениях искусства – также и наилучшее их чувственное восприятие. Она известна со времен строительства египетских пирамид, если не раньше, и прославлена целой плеядой знаменитых мыслителей, архитекторов и художников от древности до наших дней (Фидий, Фибоначчи, Леонардо да Винчи, Дюрер, Кеплер, Корбюзье, Дали, Флоренский, Малевич,...), которые активно ее использовали в своем творчестве.

В произведениях искусства закономерности ЗС часто отражаются неосознанно для авторов, нужные пропорции между элементами содержания улавливаются интуитивно в процессе творения. Золотое сечение – это

объективно существующий в природе (художники Возрождения называли ЗС божественной пропорцией), но не достижимый аттрактор красоты и гармонии, притягивающий мастера. Чем ближе произведение к совершенству, тем больше оно соответствует пропорциям ЗС.

Закономерности ЗС проявляются в энергетических переходах элементарных частиц, в строении и свойствах многих химических веществ, в планетарных и космических системах, в распределении суши и моря, в параметрах кровообращения, в генных структурах (соотношение длины ($34\text{\AA}$) и ширины ($21\text{\AA}$) двойной спирали молекулы ДНК равно ЗС). В [35] прослеживается связь таких, казалось бы, несопоставимых явлений, как колебания солнечной оси, процент поверхности, пораженной засухой, активность питания термитов, интенсивность действия обезболивающих препаратов, индекс военной активности, вероятности рождения мальчиков – и везде колебания рассматриваемых величин находятся в отношении ЗС.

Проблеме Золотого сечения посвящена обширная литература, сводка которой с многочисленными примерами соответствия параметров процессов и систем разной природы закономерностям ЗС имеется, например, в [35, 60, 63, 66]. Много материала по этому вопросу

содержится в Интернете.

ПРОЯВЛЕНИЯ ОБОБЩЕННЫХ ЗОЛОТЫХ СЕЧЕНИЙ

Можно выделить по крайней мере два варианта проявления ОЗС. Первый – когда взаимодействие параметров системы описывается полиномом (6.3), т. е. сами параметры принимают значения Φ_n и $(1 - \Phi_n)$. Это возможно, если рассматривается не весь процесс изменения (развития), а только его отдельные предельные состояния. При этом сумма вещественной и свободной частей системы всегда постоянна и равна единице. Во втором варианте, касающемся взаимодействия изменяющихся параметров, сумма вещественной и свободной частей изменяется от 0 до 1.

Хорошо известны проявления ОЗС, главным образом ЗС, по первому варианту [35, 60, 63, 66 и др.], собственно только они и известны. Систематическое описание проявлений ОЗС по второму варианту впервые выполнено в настоящей работе, в гл. 7. Здесь же приведем несколько новых примеров проявлений ЗС (и ОЗС) по первому варианту, в основном связанных с экологией.

1. Фазовые переходы пара в воду и воды в лед – это, образно говоря, альфа и омега жизненного цикла организмов: при переходе пара в воду жизнь начинается, а воды в лед – замирает. Жидкая фаза воды

конденсируется из пара при его остывании ниже $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ и переходит в лед при $0\text{ }^{\circ}\text{C}$. “Путь” до достижения минимальной теплоемкости – $+37\text{ }^{\circ}\text{C}$ (эта температура близка к температуре тела высших животных), при которой активность метаболизма максимальна, составляет $100 - 37 = 63^{\circ}$. Соотношения $63/100 = \mathbf{0,63}$ и $37/100 = \mathbf{0,37}$ равны константам ЗС.

2. При высоких давлениях (до 220 МПа) обычная вода не замерзает до $-22\text{ }^{\circ}\text{C}$ [60]. Расстояние на температурной шкале между температурами максимальной (37°) и минимальной (-22°) активности равно 59. Нулевая температура делит это расстояние на две части в пропорции ЗС: $22/59 = \mathbf{0,37}$ и $37/59 = \mathbf{0,63}$.

3. Атомы в молекуле воды образуют равнобедренный треугольник Н–О–Н. Расстояния Н–О и Н–Н равны 0,096 и 0,154 нм, а их отношение – $\mathbf{0,62}$. В молекуле льда расстояния Н–О и Н–Н несколько больше (0,099 и 0,162 нм), а угол в вершине треугольника Н–О–Н составляет $109,5^{\circ}$ [18]. Отношения сторон 0,099/0,162 и углов $109,5/180$ равны ЗС $\approx \mathbf{0,61}$. Структуру кристалла льда можно представить решеткой, в которой каждая молекула связана с четырьмя другими, находящимися от нее на расстоянии 0,276 нм. Размеры большей и меньшей стороны единичной ячейки этой решетки (0,737 и 0,452 нм) [77] вместе с расстоянием между молекулами 0,276 нм образуют ряд, в котором каждый последующий член

находится с предыдущим в отношении: $0,276/0,452 = 0,452/0,737 = \mathbf{0,61}$.

4. На рис. 6.6 показана зависимость продукции растительности (фитопродукции) Pr от радиационного баланса B и индекса сухости J [11]. Величина $J = B/UL$ (U – годовая сумма осадков, $L = 0,6$ ккал/см³ – скрытая теплота парообразования) выражает соотношение тепла и влаги. Характерно, что во всех случаях максимум продукции приходится не на $J = 1$, при котором достигается равновесие между этими параметрами, а на $J \approx \mathbf{0,62}$ – Золотое сечение.

6. Минимум и максимум J и минимумы фитопродукции приурочены к 24-й и 66-й параллелям – поясу жарких пустынь, с одной стороны, и поясу арктических пустынь и тундр – с другой [21]. Легко подсчитать что изолиния максимума J (24-я параллель) делит угловое расстояние между этими параллелями в пропорции, близкой к ЗС: $\mathbf{0,36}$ и $\mathbf{0,64}$.

7. Максимальные значения индекса сухости в обоих полушариях приурочены примерно к 22-й параллели, на этой же широте в Северном полушарии наблюдаются и минимумы продукции растительного покрова и запасов фитомассы [11]. Угловое расстояние этой параллели от Южного полюса Земли равно $(90 + 22)/180 = \mathbf{0,62}$, от Северного – $(90 - 22)/180 = \mathbf{0,38}$.

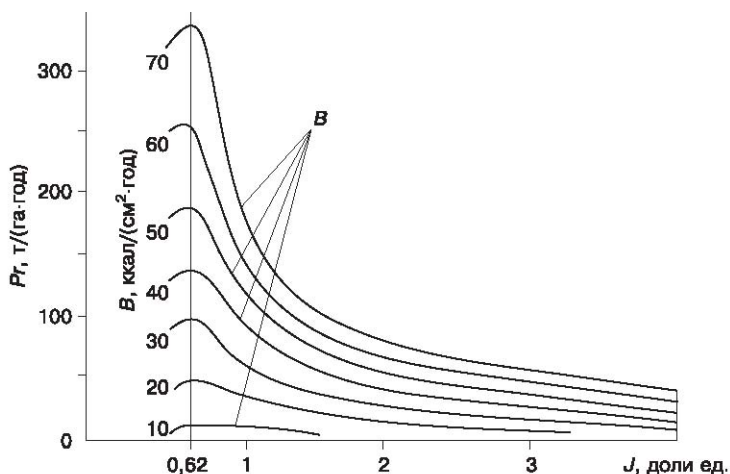


Рис. 6.6. Зависимость фитопродукции (Pr) от радиационного баланса (B) и индекса сухости (J).

8. Среднеширотная температура воздуха равна $16\text{ }^{\circ}\text{C}$; изолиния этой температуры проходит примерно по 35° с.ш. [11], которая делит угловое расстояние между экватором и Северным полюсом на две части: **0,39** и **0,61**.

9. Основными показателями упругих свойств льда, как и других твердых материалов, являются модули продольной и поперечной (сдвиговой) деформаций – E и G . Их величины напрямую связаны со скоростью продольных волн в стержнях – $v_{\text{пр}} = (E/\rho)^{0,5}$ и поперечных (сдвиговых) волн в неограниченной среде $v_{\text{сд}} = (G/\rho)^{0,5}$ (где ρ – плотность материала), возникающих при динамических нагрузках и распространяющихся со скоростью звука. Из сравнения формул этих

скоростей получаем выражение отношения $G/E = (v_{\text{сд}}/v_{\text{пр}})^2$, которое по смыслу и величине близко к коэффициенту Пуассона. В сейсмологии упругость земной коры оценивается по скорости продольных и поперечных волн в неограниченной среде – $v_{\text{пр.н}}$ и $v_{\text{сд}}$.

В табл. 6.4 приведены значения $v_{\text{сд}}$, $v_{\text{пр}}$, $v_{\text{пр.н}}$ для льда и других твердых тел [34], а также величины их отношений. Как видим, последние очень близки к пропорциям ОЗС: $v_{\text{сд}}/v_{\text{пр}}$ и G/E к $\Phi_2 = 0,62$ и $1 - \Phi_2 = 0,38$, а $v_{\text{сд}}/v_{\text{пр.н}}$ к $\Phi_1 = 0,5$.

Подробные примеры проявления ОЗС в природных системах по второму варианту приведены в гл. 7.

Таблица 6.4

Соотношения скорости поперечных (сдвиговых) и продольных волн и модулей упругости в твердых телах, а также в Земле на глубинах: 1 – 33 км, 2 – 200 и 3 – 2000 км

Материал	$v_{\text{сд.н}}$	$v_{\text{пр}}$	$v_{\text{пр.н}}$	$v_{\text{сд.н}}/v_{\text{пр}}$	G/E	$v_{\text{сд.н}}/v_{\text{пр.н}}$
Лед	199	328	398	0,61	0,37	0,5
Железо	323	517	585	0,62	0,38	0,55
Медь	226	371	470	0,61	0,37	0,48
Никель	296	479	563	0,62	0,38	0,52
Олово	167	273	332	0,61	0,37	0,5
Цинк	241	381	417	0,63	0,40	0,58
Фарфор	312	488	534	0,64	0,41	0,58
Земля 1	463	-	818	-	-	0,57
Земля 2	463	-	829	-	-	0,56
Земля 3	693	-	1279	-	-	0,54

“ФИБОНАЧЧИЕВЫ” ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ

Как в классической математике, используя натуральные числа в качестве множителя, можно составить бесчисленное множество геометрических прогрессий, так и в Математике Гармонии, используя ее аналоги натуральных чисел – ОЗС, также можно составить бесчисленное множество рядов типа известной последовательности Фибоначчи: 1, 1, 2, 3, 5, 8, 13, 21 ... , примерно с 7-го члена переходящей в геометрическую прогрессию с множителем $\varphi_2 \approx 1,62$ [66]. Французский математик Люка показал [Стахов, 2008], что вообще в любой последовательности с произвольными первыми двумя числами, включая дробные, а далее составленной так, что каждый член ряда равен сумме двух предшествующих, отношение последующего члена к предыдущему довольно быстро становится примерно постоянной величиной, близкой к 1,62. Например, возьмем ряд, первые два числа (подчеркнуты) которого выбраны совершенно произвольно, а остальные, составлены по указанному правилу: 0,8; 4; 4,8; 8,8; 13,6; 22,4; 36; 58,4; 94,4; 152,8; ... В этом ряду, начиная с 6-го члена, отношение последующего к предыдущему примерно равно 1,62 . Сам Люка нашел последовательность: 1; 3; 4; 7; 11; 18;..., в которой, как и в “фибоначчиевой ”, каждый

последующий член равен сумме двух предыдущих, а их отношение стремится к 1,62. При этом во всех подобных последовательностях разница между отношениями соседних членов периодически меняет знак, становясь то больше, то меньше, в абсолютном выражении постепенно уменьшаясь и приближаясь к φ_n (или Φ_n). Т.е. ведет себя аналогично амплитуде затухающих колебаний (см. рис. 2.1).

Последовательность Фибоначчи проявляет себя во многих системах мира. Но наиболее убедительно - в филлотаксисе (расположении листьев) растений [63,66]. Листья на стебле располагаются по винтовой оси. Число оборотов вокруг оси стебля для последовательного перехода от нижнего листа к верхнему, расположенному точно над нижним, называется листовым циклом. Винтовое листорасположение принято характеризовать дробью, числителем которой является число оборотов в листовом цикле, а знаменателем - число листьев в этом цикле. Эти дроби образуют числовую последовательность, состоящую из отношений соседних чисел Фибоначчи: $1/2$, $1/3$, $2/5$, $3/8$, $5/13$, $8/21$, $13/34$, ... Причем установлено, что для различных растений характерны свои дроби филлотаксиса. Например, дробь $1/2$ свойственна злакам, березе, винограду; $1/3$ - осоке, тюльпану, ольхе; $2/5$ - груше, смородине, сливе; $3/8$ - капусте, редьке, льну; $5/13$ -

ели, жасмину и т.д. Практически все соцветья и плотно упакованные ботанические структуры (сосновые и кедровые шишки, ананасы, кактусы, головки подсолнухов и многие другие) также следуют числам Фибоначчи. В частности, семечки в головке подсолнуха располагаются по спиралям, закрученным навстречу друг другу, при этом отношение числа левых и правых спиралей равно отношению соседних чисел Фибоначчи: $8/13$, $13/21$, $21/34$, $34/55$. В основе закономерностей филлотаксиса лежит физическая причина - при таком расположении листьев достигается максимум притока солнечной энергии к растению. У некоторых животных, например змей, в рисунке кожи использован принцип, аналогичный филлотаксису.

Числами Фибоначчи активно интересуются бизнесмены и экономисты. Американский финансист и исследователь Ральф Эллиотт, занимаясь анализом биржевых цен, обнаружил, что относительно крупные волны, описывающие колебания котировок ценных бумаг, являются огибающими мелких волн, а те, в свою очередь, еще более мелких, а количество мелких колебаний в периоде более крупного соответствует ряду Фибоначчи.

Последовательности, подобные “фибоначчиевой”, в которых отношение последующего члена (m) к предыдущему ($m-1$) стремится к n -му члену ОЗС, можно составить для любого ОЗС, руководствуясь простым

правилом: количество единиц, с которых начинаются такие последовательности, должно совпадать с порядковым номером ОЗС, а последующие члены (F_m), считая от последней единицы, определяться по формуле

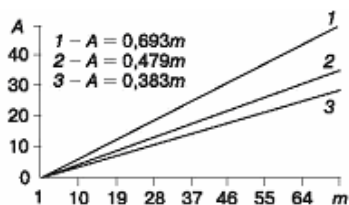
$$F_m = F_{m-1} + F_{m-n}. \quad (6.9)$$

Так, для первого, второго, третьего и четвертого членов ОЗС по этому правилу получаются следующие ряды: 1) 1, 2, 4, 8, 16, ...; 2) 1, 1, 2, 3, 5, ... (собственно ряд Фибоначчи); 3) 1, 1, 1, 2, 3, 4, 6, 9, 13, 19, 28, 41, ...; 4) 1, 1, 1, 1, 2, 3, 4, 5, 7, 10, 14, 19, 26, ... (подчеркнуты единицы, указывающие на количество компонентов в вещественной части системы). Например, 7-й член 4-го ряда равен: $F_7 = F_6 + F_{7-4} = 7 + 3 = 10$; 9-й член 3-го ряда равен: $F_9 = F_8 + F_{9-3} = 19 + 9 = 28$. В этих рядах частное от деления последующего члена на предыдущий стремится (в первом ряду, равно), соответственно, к первому ($\varphi_1 = 2$), второму ($\varphi_2 = 1,62$), третьему ($\varphi_3 = 1,47$) и четвертому ($\varphi_4 = 1,38$) членам ОЗС. При делении предыдущего члена на последующий получаются обратные величины: $\Phi_1 = 0,5$; $\Phi_2 = 0,62$; $\Phi_3 = 0,68$ и т. д. Ряд 1 – классическая геометрическая прогрессия, широко известен; применяется, например, для подсчета

делящихся клеток, описания “демографического взрыва” и других лавинообразных процессов. Ряд 2 (Фибоначчи), наиболее актуальный при анализе систем любой природы, охарактеризован выше. Ряды 3 и 4 можно использовать для моделирования начального этапа развития, характеризующегося низкими темпами деформирования. На рис. 6.8 показана зависимость членов “фибоначчиевых” рядов от их порядкового номера (m) для первых трех членов ОЗС в полулогарифмическом масштабе и даны ее формулы. С хорошей достоверностью ($R^2 > 0,999$) они линейны. Анализ показывает, что коэффициент пропорциональности в формулах стремится к величине логарифма соответствующего члена ОЗС: 1) $\ln 2 = 0,693$; 2) $\ln 1,62 = 0,481$; 3) $\ln 1,47 = 0,385$. С учетом этого получаем предельную формулу F_m для любого члена ОЗС:

$$F_m \approx (\Phi_n)^m. \quad (6.10)$$

Рис. 6.8. Зависимость $A = \ln(F_m)$ от m при n , равных 1, 2 и 3.



Последовательности такого типа, в которых каждый последующий член больше предшествующего примерно в φ_n раз, можно использовать для описания полупериода становления (созревания) системы. Для описания второго полупериода жизненного цикла – старения (деградации), можно применять обратные последовательности, убывающие, в которых каждый последующий член меньше предшествующего примерно в φ_n раз, например, обратную последовательность Фибоначчи: $1; 1; 0,5; 0,33; 0,2; 0,125; \dots$

Итак, последовательности ОЗС и Фибоначчи отражают один из законов природы, касающийся структурирования различных систем Мироздания, регламентирующий организацию пространственно-временных элементов в единое целое, и являются эффективными инструментами анализа экогеосистем. Члены первой из них (ОЗС) соответствуют количеству элементов экогеосистем, вторые, по-видимому, – числу циклов развития. Первые более фундаментальны, первичны, поскольку вторые составляются на их основе. В совместном выражении (формула (6)) они являются важным звеном расчетно-аналитической модели редуccionно-передаточного механизма, распространяющего вращательные колебания

Земли на все идущие на ней процессы и синхронизирующего их.

Несмотря на некоторый мистический шлейф, тянущийся за этим законом с древних времен, когда открывшие его жрецы и монахи, очевидно, использовали его в эзотеристических практиках, он нисколько не таинственней и удивительней других существующих независимо от нашего сознания законов природы. И также до конца не познаваем (собственно, именно он и указывает на невозможность полного познания Мира), но, в общем, поддается материалистическому истолкованию.

Глава 7. ОБОБЩЕНИЕ ДАННЫХ

*При изучении наук примеры
важнее правил.*

Исаак Ньютон

ФОРМУЛА ОБОБЩЕНИЯ

Эффективным способом обобщения результатов наблюдений за параметрами различных систем является приведение их к относительному (нормализованному) виду с помощью приведенной выше деформационной формулы (1.1), которую для этого случая запишем в виде

$$j = (x - x_{\min}) / (x_{\max} - x_{\min}), \quad (7.1)$$

где x , $x_{\max}$ и $x_{\min}$ – текущее, максимальное и минимальное размерное значение наблюдаемого показателя, причем часто $x_{\min} \approx 0$; j – его текущее значение в относительном виде.

При таком обобщении все множество возможных показателей заключается в наглядно представимый интервал $0 \dots 1$. Это резко сокращает объем фактических данных, необходимый для установления количественных связей между ними и, что особенно важно, позволяет корректно сравнивать разнородные и разноразмерные величины и делает решение, полученное для какихнибудь одних условий, универсальным, пригодным для всех. При этом раскрываются их общие

закономерности.

Выражение (7.1) широко применяется в технических дисциплинах, в частности, в теплофизике и механике твердого (мерзлого) тела в качестве критерия подобия симплексного типа. Но при этом нормализуются (центрируются по единице) только ординаты (функции). Абсциссы (аргументы) обычно обобщаются путем группирования их в комплексные критерии подобия, изменяющиеся от нуля до бесконечности. В приведенных ниже примерах показана полезность нормализации и функции, и аргумента.

Эта глава посвящена реализации предлагаемого метода при аппроксимации двухсторонних связей параметров развивающихся систем разной природы. Рассмотрены основные типы сглаженных эволюционных кривых – циклический и монотонный.

ЦИКЛИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ

Выше отмечалось, что жизненный цикл земных систем складывается из циклов меньших периодов. Наиболее заметную (реально наблюдаемую) роль в их формировании играют вращательные циклы в системе Солнце–Земля–Луна: годовой, суточный и месячный (лунный). Их основной константой (инвариантом) является число 12: год состоит из 12 месяцев, месяц – из $30=12 \cdot 2\frac{1}{2}$ сут, сутки из $12 \cdot 2$ ч. С некоторым допущением

в этот ряд можно включить 11...12-летний цикл Вольфа, наиболее отчетливый цикл солнечной активности. Лунный (логарифмический) инвариант ($\ln 12$) прослеживается до микроуровня: период тепловых колебаний атомов $\tau_a \approx 10^{13} \text{ с} \approx 12^{12} \text{ с}$, тогда $\ln \tau_a \approx 12 \ln 12 \approx 30$.

В сглаженном виде графическое изображение жизненного цикла имеет куполообразную (параболическую) форму, составленную из двух более или менее симметричных монотонных кривых, отображающих подъем (расцвет, молодость) и спад (закат, деградацию, старость).

Способ обобщения параметров циклических структур выше уже демонстрировался на примерах годового и суточного хода температуры воздуха, продолжительности солнечного сияния и жизненного цикла моллюсков. Судя по соответствующим иллюстрациям (см. рис. 1.1 и 2.3), графики временного хода безразмерных параметров одной природы (одной размерности) примерно идентичны для циклов любой периодичности, а с разной размерностью – примерно (качественно, по форме) подобны.

Здесь для большей убедительности приведем еще один аналогичный пример (рис. 7.1) и сделаем некоторые обобщения.

ГОДОВОЙ ЦИКЛ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА

В умеренном и холодном поясах он состоит из двух меньших циклов – теплого и холодного – разделенных весенним и осенним нулями ($^{\circ}\text{C}$). В табл. 7.1 приведены размерные t и безразмерные j_t среднемесячные температуры воздуха на подъеме и спаде теплого периода года, а также времени, размерного τ (месяцы от начала года) и безразмерного j_τ на юге (Тобольск) и севере (пос. Нумто) Тюменской области по данным [65]. Безразмерные параметры вычислены по формуле (7.1). Отметим, что продолжительность теплого периода – около 6 месяцев в Нумто и 7,5 месяцев в г. Тобольске соотносится с продолжительностью года ($6/12 = 0,5$ и $7,5/12 \approx 0,62$) как 1-й и 2-й члены ОЗС.

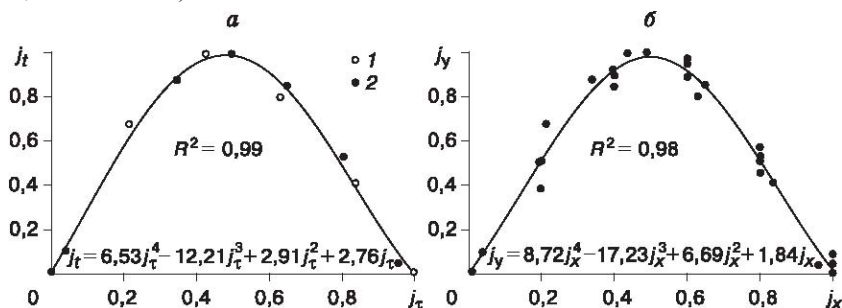


Рис. 7.1. Зависимость j_t от j_τ (а): в Нумто (1) и в Тобольске (2); объединенный (для всех рассмотренных систем) график зависимости j_y от j_x (б).

На рис. 7.1, а приведены: график хода температуры воздуха в г. Тобольске и в пос. Нумто в теплый период года, его аппроксимация полиномом 4-й степени и ее

достоверность R^2 .

На рис. 7.1, б дан объединенный график всех рассмотренных ранее циклов (см. рис. 1.1, 2.3, 7.1, а). Несмотря на разные числовые коэффициенты в их

Таблица 7.1

Значения τ (мес), t ($^{\circ}\text{C}$), j_{τ} , j_t в Тобольске и Нумто (курсив) на подъеме (верхняя половина таблицы) и спаде (нижняя половина) в теплое время года

τ	3,75	4	5	6	7	4,95	5	6	7
t	0	1,8	9,1	15,8	18	<i>0</i>	<i>0,2</i>	<i>10,5</i>	<i>15,5</i>
j_{τ}	0	0,08	0,38	0,69	1	<i>0</i>	<i>0,02</i>	<i>0,51</i>	<i>1</i>
j_t	0	0,07	0,51	0,88	1	<i>0</i>	<i>0,01</i>	<i>0,68</i>	<i>1</i>
τ	7	8	9	10	10,3	7	8	9	9,8
t	18	15,4	9,5	0,8	0	<i>15,5</i>	<i>12,4</i>	<i>6,4</i>	<i>0</i>
τ	0	0,30	0,61	0,91	1	<i>0</i>	<i>0,36</i>	<i>0,71</i>	<i>1</i>
j_t	0	0,14	0,47	0,91	1	<i>0</i>	<i>0,20</i>	<i>0,59</i>	<i>1</i>

уравнениях, точки на графиках располагаются довольно близко друг к другу. Формула этого графика также представляет собой полином 4-й степени. Учитывая разнородность ее оснований, этой формулой в первом приближении можно описать любые циклы, выраженные

через нормализованные переменные. Общей особенностью полиномов, описывающих циклы, является приблизительное равенство нулю суммы их положительных и отрицательных коэффициентов. Так, в формулах всех пяти рассмотренных циклов, в том числе на рис. 7.1, эти суммы по порядку перечисления составляют: 35,7 и $-35,6$; 33,88 и $-33,83$; 20,65 и $-20,62$; 12,2 и $-12,21$; 17,25 и $-17,23$. Небольшая разница между положительными и отрицательными коэффициентами характеризует асимметрию цикла. Ниже показано, что в уравнениях монотонных кривых, образующих циклические кривые, алгебраическая сумма подобных коэффициентов всегда равна *единице*.

МОНОТОННЫЕ КРИВЫЕ

Теперь продемонстрируем предлагаемый способ обобщения и его аналитические возможности на примерах с *монотонно изменяющимися параметрами* систем разной природы: температуры воздуха, древесных растений, нагруженных мерзлых грунтов и других систем, графики которых составными участками входят в циклические кривые. Математическое описание монотонного изменения проще циклического, но оно, как рассмотрено ниже, выводит на важное фундаментальное следствие – закон Золотого сечения. В предыдущих разделах показано в основном прямое выражение этого

закона, когда пропорциям ЗС соответствуют непосредственно параметры системы. В примерах, приведенных ниже, пропорции ОЗС проявляются через посредство численных коэффициентов уравнений, которыми описывается взаимодействие обобщенных параметров системы.

В качестве исходного материала использованы данные о связях сложно определяемых размерных показателей со сравнительно легко рассчитываемыми. Например, у древесных растений – таких показателей, как фитомасса и фитопродукция, определение которых требует больших объемов работ, с относительно простыми – диаметром, высотой, возрастом и густотой насаждений.

Проведем анализ температур воздуха на участках подъема (повышения температуры) и спада (понижения температуры) в теплый период года в г. Тобольске и пос. Нумто. Исходные параметры те же, что и при описании всего теплого цикла, даны в табл. 7.1. По ним построены графики зависимости j_t от j_τ в периоды подъема и спада и найдены их аппроксимации (рис. 7.2). Аппроксимирующая формула выбрана по наибольшей достоверности ($R^2 > 0,99$), которая оказалась у квадратичного полинома:

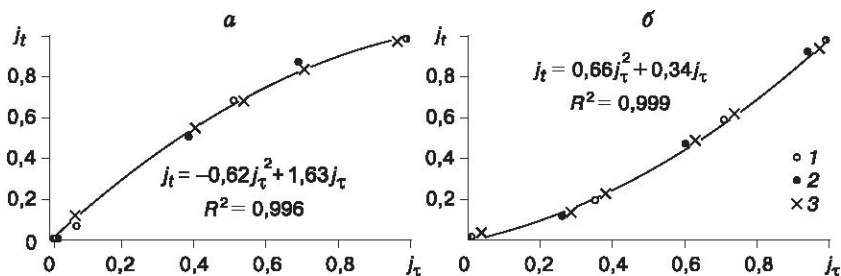


Рис. 7.2. Зависимость j_t от j_τ в г. Тобольске (1) и пос. Нумто (2) на подъеме (а) и спаде (б) в теплое время года (3 – расчет по формуле (7.2) при $A = -0,62$ в варианте а и $A = 0,62$ в варианте б).

$$j_t \approx A j_\tau^2 + B j_\tau \approx A j_\tau^2 + (1 - A) j_\tau, \quad (7.2)$$

где A и B – постоянные, для выпуклой кривой $A \approx -\Phi_2$, для вогнутой $A \approx \Phi_2$; в обоих случаях $B \approx 1 - A$.

Причем и на подъеме (выпуклая кривая) и на спаде (вогнутая кривая) коэффициент A примерно равен константе Золотого сечения Φ_2 : минус 0,62 на подъеме и 0,62 на спаде. Основная формула ОЗС (6.3) является частным, предельным случаем (7.2) при равенстве нормализованных значений аргумента и функции единице (в данном случае $j_\tau = j_t = 1$). Согласно более общей формуле (7.2), они изменяются от 0 до 1.

Для вогнутой кривой при $n = 2$ (собственно Золотое сечение) решение симметрично относительно Φ и j_τ :

$$j_t = \Phi j_\tau^2 + \Phi^2 j_\tau.$$

Судя по рассмотренным примерам, в большинстве

процессов закон ЗС проявляется именно через эту формулу. Анализ и расчеты также показали, что полиномиальные формулы с положительным и отрицательным коэффициентами (Φ_2 и $-\Phi_2$) с приемлемой погрешностью можно заменить степенными вида

$$j_y = j_x^z \quad (7.3)$$

с показателем степени z , равным 1,618 для вогнутых кривых, отображающих “ускоряющийся” характер связи, или 0,618 для выпуклых – “замедляющийся” характер связи.

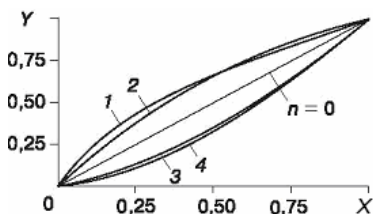


Рис. 7.3. Графики полиномиальной и степенной формул выпуклой (1, 2) и вогнутой (3, 4) кривых произвольной функции Y от X .

Степенные формулы типа (7.3) сводятся к линейным общего вида $Y' = zX'$, где $Y' = \ln(y)$, $X' = \ln(x)$. Поэтому, несмотря на меньшую точность по сравнению с полиномиальными, они удобней для расчетов и экономичней, поскольку для определения неизвестного коэффициента z нужно знать всего одну пару

соответственных x и y и тогда $z = \ln(y)/\ln(x)$.

МАССА ЗЕЛЕНИ И ДИАМЕТР

В [9] установлен количественный вид зависимости массы (m) древесной зелени (хвои и неодеревеневших побегов) и отдельно хвои сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris*) от ее диаметра (d) в северной и средней тайге на территории Республики Коми для всех встречающихся в ней типов леса. Это крупное, весьма репрезентативное исследование, базирующееся на обобщении сотен определений характеристик деревьев. Для выражения результатов в размерном виде авторам [9] понадобилось более десятка формул. Покажем, что весь этот обширный материал можно обобщить одной формулой.

Максимальные и минимальные значения размерных параметров по данным [9], необходимые для расчетов по формуле (7.1), сведены в табл. 7.2.

Таблица 7.2

Максимальные и минимальные величины диаметра ствола ($d_{\max}$, $d_{\min}$), массы зелени (z) и хвои (x) сосны ($m_{\max}$, $m_{\min}$) в северной (СТ) и средней (СрТ) тайге

Под- зона	$d_{\min}$	$m_{\min}$	$d_{\max}$ (z)	$m_{\max}$ (z)	$d_{\max}$ (x)	$m_{\max}$ (x)
СТ	0	0	40	91	40	63
СрТ	0	0	40	76	40	46

На рис. 7.4 приведены построенные нами по этим данным графики зависимости безразмерной массы древесной зелени и хвои $j_m = m/m_{\max}$ сосны от безразмерного диаметра ствола $j_d = d/d_{\max}$ в северной и средней тайге и найдены их аппроксимации, как и выше, в виде полинома 2-й степени и степенной функции. Значения коэффициентов A и B в формуле (7.2), а также z в формуле (7.3) для массы зелени и хвои в северной (1з, 1х) и средней (2з, 2х) тайге даны в табл. 7.3.

Рис. 7.4. Зависимость $j_m(j_d)$ и формулы кривых (значки – экспериментальные точки, для разных вариантов они почти сливаются).

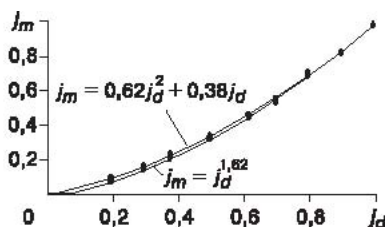


Таблица 7.3

Значения коэффициентов в формулах (7.2) и (7.3)

Индекс	1з	1х	2з	2х	3С
A	0,610	0,648	0,651	0,673	0,618
B	0,393	0,357	0,340	0,329	0,382
z	1,61	1,647	0,652	0,672	0,618

Достоверность аппроксимации для всех вариантов высокая – $R^2 \geq 0,998$. Экспериментальные точки на рис.

7.4 при всех вариантах условий практически сливаются друг с другом, т. е. зависимость $j_m(j_d)$ инвариантна. Численные коэффициенты формул практически равны константам ЗС. Максимальное отличие A от Φ_2 составляет 8 %.

График на рис. 7.4 или формулы (7.2), (7.3) можно использовать для приближенного определения обобщенной массы древесной зелени хвойных деревьев в пределах всей таежной зоны. Порода дерева и условия произрастания будут отражены в величинах соответственных пар $d_{\max}$ и $m_{\max}$. Например, нужно определить массу хвои у сосны с диаметром ствола 0,32 м; максимальные диаметр и масса хвои известны: 0,45 м и 65 кг. Вычисляем $j_d = 0,32/0,45 = 0,71$. По формуле (7.2) при $A = 0,618$ находим безразмерную массу хвои: $j_m = 0,618 \cdot 0,5 + 0,382 \cdot 0,71 = 0,58$, а затем и размерную: $m = 65 \cdot 0,58 = 37,7$ кг. Аналогично по формуле (7.3): $j_m = 0,71^{1,618} = 0,574$; $m = 65 \cdot 0,574 = 37,4$ кг.

МНОГОЛЕТНИЙ И СЕЗОННЫЙ ПРИРОСТ ДИАМЕТРА ДЕРЕВА

На рис. 7.5 приведены примеры зависимости относительного диаметра j_d от относительного возраста j_τ = $\tau/\tau_{\max}$ (τ – текущее время, годы; $\tau_{\max}$ – возраст дерева) в

двух возможных модификациях формы кривой этой зависимости: вогнутой и выпуклой. Первая представлена теневыносливой пихтой на Аляске, вторая – теплолюбивой сосной на севере (пос. Нумто) и юге (пос. Караганда) Тюменской области [30]. Начало отсчета на рис. 7.5, *a* – 1578 год, на *б* – 1579 год, на *в* – 1777 год. Кривыми показан многолетний ход j_d по данным наблюдений – жирные линии, и его аппроксимации – тонкие линии. Из-за высокой достоверности аппроксимирующих формул ($R^2 > 0,99$) и те и другие почти сливаются. Как и в предыдущих случаях, формулы аппроксимации представляют собой полином 2-й степени с коэффициентами, близкими к ЗС. Величина j_d (см. кружки на рис. 7.5) рассчитана по формуле (7.2), численный коэффициент которой равен 0,618 для вогнутой кривой и –0,618 для выпуклой. Несмотря на то что численные коэффициенты в аппроксимирующих формулах несколько отличаются от констант ЗС, на величину j_d это почти не влияет – вычисленные по формуле (7.2) при коэффициентах, равных константам ЗС, значения j_d ложатся на кривую, построенную по фактическим данным.

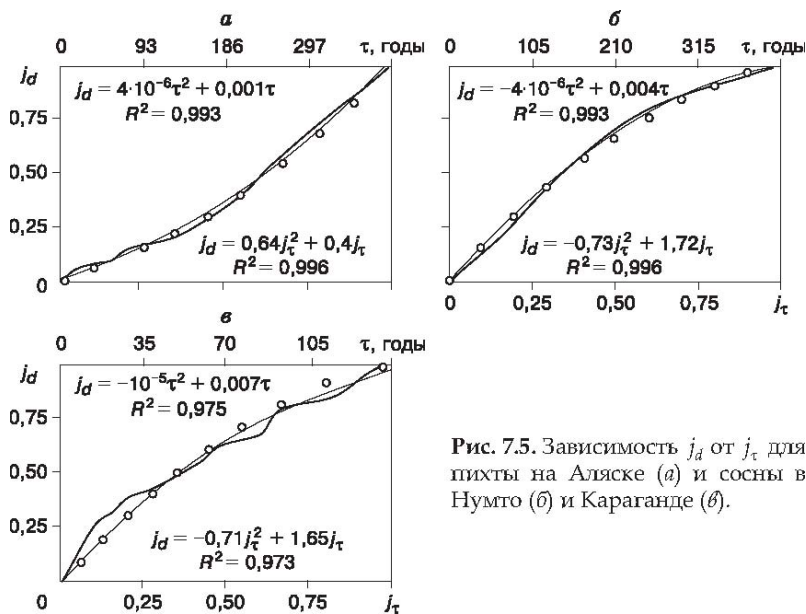


Рис. 7.5. Зависимость j_d от j_τ для пихты на Аляске (а) и сосны в Нуммо (б) и Караганде (в).

График роста относительного диаметра j_d сосны в Московской области в теплый период года, построенный по данным рис. 5.11, б, приведен на рис. 7.6. Он отличается тем, что время на нем выражено также и в относительном виде j_τ . Сглаженная кривая (тонкая) на графике – аппроксимация функций $j_d(j_\tau)$ и $j_d(\tau)$, кружками обозначены j_d , вычисленные по формуле (7.2) при $A = -0,62$. Как видим из рис. 7.6, и в сезонном ходе значения j_d , рассчитанные по этой же формуле при $A = -0,62$, ложатся на кривую фактических данных. Внешне графики на рис. 7.5, б и 7.6 очень похожи. Разница

только в том, что размерное время во втором случае измеряется не в годах, а в сутках [13].

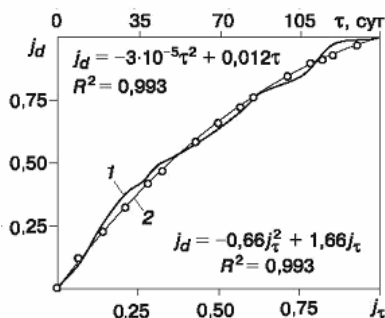


Рис. 7.6. Сезонный ход (j_d) по данным наблюдений (1) и аппроксимация функций $j_d(j_\tau)$ и $j_d(\tau)$ (2).

Кружки – j_d , вычисленные по формуле (7.2) при $A = -0,62$.

УДЕЛЬНАЯ ПРОДУКТИВНОСТЬ И ВОЗРАСТ

В табл. 7.4 показана зависимость удельной продуктивности сосны (Pr) от ее возраста (τ) в Приангарье [4]. Введем термин *износ дерева*, под которым будем понимать разность между максимальной и текущей продуктивностью ($8,6 - Pr$). Нормализованные значения износа дерева $j_i = (8,6 - Pr)/(8,6 - 0,8)$ и возраста $j_\tau = (\tau - 15)/(115 - 15)$ приведены в табл. 7.4. Как и ранее, строим график зависимости $j_i(j_\tau)$ и находим его аппроксимацию (рис. 7.7). С достоверностью $R^2 = 0,98$ она имеет вид (7.2) при $A = -0,79$.

Таблица 7.4

Удельная продуктивность сосны (Pr) разного возраста (τ)

τ , лет	15	35	55	75	95	115
P , %	8,6	6,1	3,9	2,5	1,4	0,8
j_τ	0	0,2	0,4	0,6	0,8	1
j_i	0	0,32	0,6	0,78	0,92	1

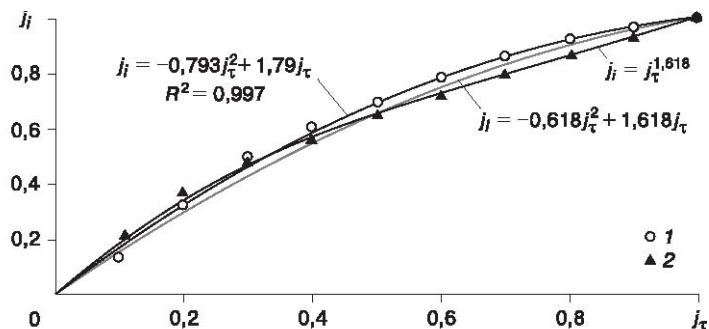


Рис. 7.7. Зависимость j_i от j_τ :

1 – фактические данные; 2 – расчет по степенной формуле.

Выражения возрастной зависимости относительного износа и диаметра ствола практически совпадают (ср. с рис. 7.5, б, в), т. е. с увеличением размеров дерева его относительная продуктивность (количество массы на единицу времени) уменьшается, а относительный износ увеличивается.

Степени упорядоченности (количество условных частиц) n и устойчивости системы $\eta = 1/n$ вычисляются по формуле (6.6). Но при $A = -\Phi$ она не работает, поскольку под логарифмом появляется отрицательное число. Эта формальная трудность устраняется приведением констант ОЗС к стандартному виду, как суммы двух долей единицы. Разделив численные коэффициенты в левой и правой частях аппроксимации (см. рис. 7.7) на 1,79, получаем их новые значения: $0,56 = -0,44 + 1$, тогда $\Phi = 0,56$, а $1 - \Phi = 0,44$. Подставив $\Phi = 0,56$ в (6.6), имеем $n = 1,41$; $\eta = 0,71$.

ГУСТОТА НАСАЖДЕНИЙ, ФИТОМАССА И ДИАМЕТР СТВОЛА

Связи между размерными величинами фитомассы, диаметра ствола и густоты насаждений в сосновых молодняках Приангарья детально рассмотрены в [54]. Получены количественные выражения связей, в частности фитомассы (кг) и диаметра (см) в степенном и квадратичном виде, найдены численные коэффициенты в этих выражениях для дерева в целом и его фракций (ствола, ветвей, хвои, корней) при разной густоте насаждений ($G = 100, 180, 400, 700, 900$ тыс. стволов на гектар). Установлено [54], что при любой густоте фитомасса (в отличие от продуктивности) с увеличением диаметра растет; максимальный запас фитомассы

(оптимум) наблюдается при густоте насаждений 700 тыс. стволов на гектар (G_{700}), с понижением и повышением густоты относительно этой величины фитомасса убывает. Относительные величины фитомассы j_m разных фракций дерева и дерева в целом при одинаковых значениях относительного диаметра ствола j_d незначительно отличаются друг от друга. Примеры графиков зависимости j_m от j_d , рассчитанных по размерным данным [54] при G_{700} (кружки) и совокупности G ($G_{\text{сов}}$, залитые прямоугольники) с помощью формулы (7.1), для хвойной фракции (a) и дерева в целом (b), представлены на рис. 7.8. Как и ранее, кривые с высокой достоверностью аппроксимированы как полиномиальными ($R^2 > 0,99$), так и степенными ($R^2 > 0,93$) формулами, дающими идентичные результаты. Найденные полиномиальные формулы даны на рис. 7.8, их численные коэффициенты в сумме составляют единицу, т. е. равны константам ОЗС. Значения g в степенных формулах, а также рассчитанные с помощью (6.6) номера ОЗС – n и степени устойчивости – η для хвойной фракции (x) и всего дерева ($др$), т. е. для четырех вариантов условий, скомбинированных по этим индексам и символам вариантов a и b : a_x , $a_{др}$, b_x , $b_{др}$, приведены в табл. 7.5.

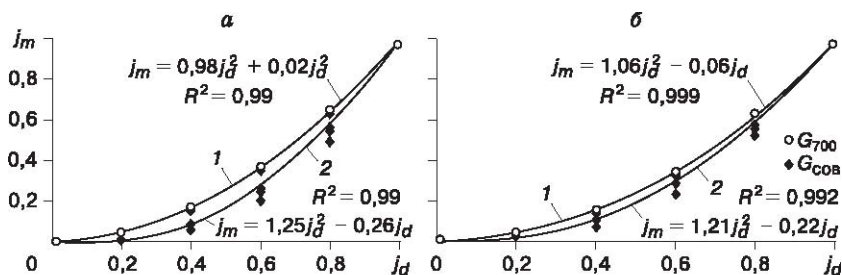


Рис. 7.8. Зависимость j_m от j_d при $G = 700$ (1) и $G = 100...900$ (2) для хвойной фракции (а) и всего дерева (б):

Численные коэффициенты в правой части полиномиальных уравнений для последних трех вариантов $a_{др}$, b_x , $b_{др}$ в сумме равны единице, но сами они

Таблица 7.5

Значения Φ , $\Phi' = 1/\Phi$, γ , n и η для вариантов a_x , $a_{др}$, b_x , $b_{др}$

Символ	a_x	$a_{др}$	b_x	$b_{др}$
Φ	0,98	1,25	1,06	1,21
Φ'	-	0,8	0,94	0,83
γ	1,98	2,53	2,1	2,44
n	49	7,14	45,4	8,9
η	0,02	0,14	0,022	0,11

отличаются от стандартной формы ОЗС: в них $\Phi > 1$. Разделив обе части уравнений на Φ , получаем стандартное соотношение констант в ОЗС. Например, для констант в варианте $a_{др}$ (нижний график на рис. 7.8, а) имеем $1 \approx 1,25 - 0,24$. Делим обе части этого

выражения на $\Phi = 1,25$ и получаем $0,8 \approx 1 - 0,18$, или $1 \approx 0,8 + 0,18$. Это стандартная структура ОЗС, в которой основной (бóльшей) константой является $\Phi' = 1/\Phi = 0,8$. Константа степенных уравнений, полученных в этих же трех вариантах, также отличается от стандартного вида, в котором $\varepsilon = 1 + \Phi$. В вариантах $a_{\text{др}}$, $b_{\text{х}}$ и $b_{\text{др}}$ величина $\varepsilon \approx 2\Phi$ (см. табл. 7.7): $2,53 \approx 1,25 \cdot 2 = 2,5$; $2,1 \approx 1,06 \cdot 2 = 2,12$ и $2,44 \approx 1,21 \cdot 2 = 2,42$.

ДИАМЕТР, ВЫСОТА И ОБЪЕМ СТВОЛА

В [36] найдены формулы связи между относительной высотой распространенных древесных пород $j_h = h/h_{\text{max}}$ (h и h_{max} – текущая и максимальная высота дерева) и их относительными диаметрами $j_d = d/d_{\text{max}}$ для условий Ленинградской области. Анализ результатов расчетов по этим формулам показал, что их можно заменить одной обобщенной формулой. На рис. 7.9, а дана кривая зависимости j_h от j_d (фактические данные [36] обозначены кружками, сверху вниз – для сосны, ели, березы и осины) и формула, аппроксимирующая эту зависимость (полином 3-й степени).

Этот пример показывает, что связь параметров системы может описываться и полиномом степени, большей чем 2, но это не умаляет ни полезности использования для ее обобщения формулы (7.1), ни универсальности ОЗС.

Представим сумму трех чисел в правой части полинома на рис. 7.8 суммой двух, положительного и отрицательного: $5,41 - 4,38 \approx 1$. Разделив все на 5,41, получим выражение дихотомии $1 \approx 0,81 + 0,18$ с константой $\Phi = 0,81$, соответствующей уровню упорядоченности $n = 8$ (табл. 6.1).

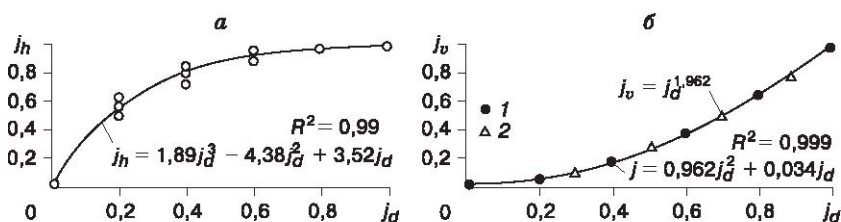


Рис. 7.9. Зависимость j_h от j_d (а) и j_v от j_d (б):

1 – расчет по полиномиальной формуле; 2 – то же, по степенной.

При известных диаметре j_d и высоте j_h ствола несложно вычислить его объем j_v и найти зависимость $j_v(j_d)$. Эта зависимость (кривая) и ее аппроксимация полиномиальной и степенной формулами показаны на рис. 7.9, б. Они совпадают – величины j_v , рассчитанные по обеим формулам, лежат на одной кривой. Коэффициенты полиномиальной формулы в сумме равны единице, т. е. являются константами ОЗС, уровень (номер – n) которого, а также степень устойчивости определяем по формуле (6.6): $n = 78,8 \approx 80$, $\eta \approx 0,013$. Малая величина η свидетельствует о низком уровне

устойчивости связи j_v и j_d , повидимому, из-за того, что зависимость j_v от j_d не является для j_v определяющей. Необходимо отметить, что смысловая интерпретация абстрагированной формулы (6.6) в случаях с неявным делением системы на составные части затруднительна.

ПЕРЕХОД К РАЗМЕРНЫМ ВЕЛИЧИНАМ

Для перехода от безразмерной величины, например, массы какойлибо фракции дерева, к размерной теоретически достаточно знать хотя бы одно ее размерное значение для конкретной породы дерева в конкретных биотопических условиях (для обеспечения надежности инструментально нужно определить не менее трех значений массы при одинаковых условиях; в расчет берется одно – *среднее* значение) и умножить его на безразмерную массу j_m . Здесь мы располагаем в репрезентативном объеме только для сосны (см. табл. 7.3–7.5).

Покажем, что при известной массе одной древесной породы, в нашем случае сосны, можно найти массу любой другой породы по соотношению их плотностей. Ранее отмечалось, что свойства древесных пород, как и всех физических тел, в большой степени, часто почти однозначно, определяются их плотностью ρ . Плотность 1 см³ ствола равна $m/(\pi(d/2)^2 \cdot 1 \text{ см})$. Расписав это выражение для плотностей сосны ρ_c и какого-либо другого дерева,

например ели (ρ_e), и разделив их друг на друга при одинаковом значении диаметра ствола d , после простого преобразования (при этом d сокращается) получаем формулу перехода от массы сосны к массе ели (или массе любой другой породы):

$$m_e = m_c \rho_e / \rho_c = m_c k_c. \quad (7.4)$$

Формулы и коэффициенты перехода типа k_c можно получить и в случае, когда известны параметры любой другой (не только сосны) древесной породы.

Таблица 7.6

Отношения средних плотностей древесных пород друг к другу: $k_{л} \dots k_o$ (выделены их отношения к плотности сосны k_c)

Породы	$k_{л}$	k_c	$k_{к}$	k_e	$k_{п}$	k_6	k_o
Лиственница	1	1,32	1,52	1,47	1,8	1,05	1,33
Сосна	0,76	1	1,16	1,13	1,38	0,81	1,02
Кедр	0,68	0,87	1	0,98	1,2	0,7	0,89
Ель	0,68	0,89	1,01	1	1,22	0,71	0,9
Пихта	0,37	0,73	0,83	0,82	1	0,58	0,74
Береза	0,64	1,25	1,42	1,4	1,71	1	1,26
Осина	0,75	0,98	1,14	1,1	1,36	0,79	1

В табл. 7.6 приведены средние величины переходного коэффициента $k_{л} \dots k_o$ в формуле (7.4) для разных древесных пород, рассчитанные по данным табл. 5.1 с

подстановкой в знаменатель выражения этого коэффициента плотности породы, параметры которой известны. Символ коэффициента соответствует первой букве названия породы по порядку ее перечисления в таблице (л – лиственница, с – сосна и т. д.).

Из рис. 7.8 следует, что связь относительных величин массы и диаметра ствола у древесных фракций и всего дерева примерно одинакова. Поэтому по формуле (7.4) в первом приближении можно рассчитать массу любой фракции хвойного дерева. Например, требуется определить массу хвой ели диаметром 0,32 м. Плотность ели относится к плотности сосны как $k_e = 0,89$ (см. табл. 7.8). Масса хвой сосны тех же размеров составляет 37,3 кг, а масса хвой ели – $37,3 \cdot 0,89 = 33,2$ кг. Аналогично масса хвой лиственницы, у которой $k_{л} = 1,32$ (см. табл. 7.8), равна $37,3 \cdot 1,32 = 49,2$ кг.

Теперь приведем примеры обобщения параметров системы совсем другой (неживой) природы – криогенных образований.

ДЕФОРМАЦИЯ И ПРОЧНОСТЬ МЕРЗЛЫХ ГРУНТОВ

График хода относительной деформации мерзлой супеси при одноосном сжатии показан на рис. 7.10. Исходные данные для его построения – результаты испытаний мерзлой супеси на одноосное сжатие при разных

температурах (t , °C) и давлениях (P , МПа): $t = -20$, $P_1 = 6,8$, $P_2 = 6$ [17] – вариант *a* и $t = -4,5$, $P_3 = 0,7$, $P_4 = 0,6$ [58, 59] – вариант *б* (в размерном виде они представлены на рис. 4.4), обобщены с помощью формулы (7.1). В качестве максимума и минимума деформации (j_c , доли ед.), которые подставлялись в формулу (7.1), приняты: 1) $12,5 \cdot 10^{-2}$ и $7,4 \cdot 10^{-2}$ – при $P_1 = 6,8$ МПа; 2) $8 \cdot 10^{-2}$ и $4,8 \cdot 10^{-2}$ – при $P_2 = 6$ МПа; 3) $2,48 \cdot 10^{-3}$ и $1,9 \cdot 10^{-3}$ – при $P_3 = 0,7$ МПа; 4) $1,8 \cdot 10^{-3}$ и $1,5 \cdot 10^{-3}$ – при $P_4 = 0,6$ МПа; максимум и минимум времени (τ , ч) – 12 и 1. Таким образом, все опыты можно разбить на перечисленные четыре серии: 1 и 2 в варианте *a*; 3 и 4 в варианте *б*. Результаты расчетов представлены на рис. 7.10 в виде кривых хода относительной деформации j_c в относительном времени j_τ . Величины j_c и j_τ рассчитывались по формуле (7.1); кривая *a* построена по формуле (7.3) при $\varepsilon=0,62$), кривая *б*–по формуле (7.2) при $A=0,62$. График показывает хорошую сходимость фактических значений j_c с вычисленными по обеим формулам.

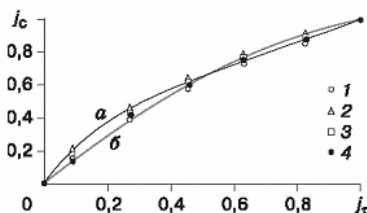
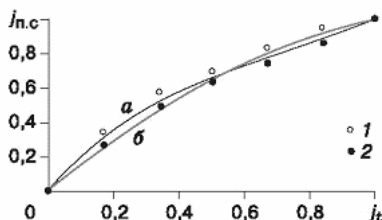


Рис. 7.10. Ход относительной деформации мерзлой супеси при одноосном сжатии (j_c) в относительном времени (j_t) при разных температурах и давлениях.

В [18] помещен объединенный график зависимости предельно-длительной прочности смерзания глинистых пылеватых грунтов с фундаментом от температуры по результатам экспериментов российских и американских исследователей, выполненных в разных условиях (разные грунты, температуры, материал фундамента, способы его погружения). Диапазоны изменения температуры $0 \dots -6$ °С, прочности смерзания $0 \dots 0,3$ МПа. Все экспериментальные точки на этом графике располагаются достаточно плотно. На рис. 7.11 приведена зависимость значений максимальной (1) и минимальной (2) относительной длительной прочности смерзания $j_{пс}$ от относительной температуры j_t . Величины $j_{пс}$ и j_t вычислены по формуле (7.1). Кривая *a* построена по формуле (7.3) при $\varepsilon = 0,62$, кривая *б* – по формуле (7.2) при $A = -0,62$. Как видим, безразмерные формулы зависимостей j_c от j_t и $j_{пс}$ от j_t практически идентичны. Их специфика отражается в величинах любых соответственных парх функции и аргумента (j_c и j_t или

$j_{пс}$ и j_t). В обоих случаях численные коэффициенты формул равны ЗС.

Рис. 7.11. Зависимость прочности смерзания глинистых грунтов ($j_{п.с}$) от температуры (j_t) в безразмерном виде.



ТЕМПЕРАТУРЫ КРИСТАЛЛИЗАЦИИ И ДАВЛЕНИЕ

Ранее показана идентичность зависимости относительной температуры кристаллизации воды $j_t = t/t_э$ от относительных давления $j_p = P/P_э$ и концентрации солей в поровом растворе $j_k = K/K_э$ [28], где $t_э$, $P_э$ и $K_э$ – эвтектические значения температуры, давления и концентрации солей, имеющие смысл максимальных величин в формуле (7.1). На основе этих данных построен рис. 7.12.

Согласно пояснениям к формулам (7.2) и (7.3), показатель степени 1,2 в формуле на рис. 7.12 является членом ряда ОЗС, величина которого $\Phi = 0,2$, а зависимость j_t от j_p или от j_k можно записать как в степенном, так и в полиномиальном виде:

$$j_t = j_p^{1,2}, \quad (7.5)$$

$$j_t = 0,2 j_p^2 + 08 j_p. \quad (7.6)$$

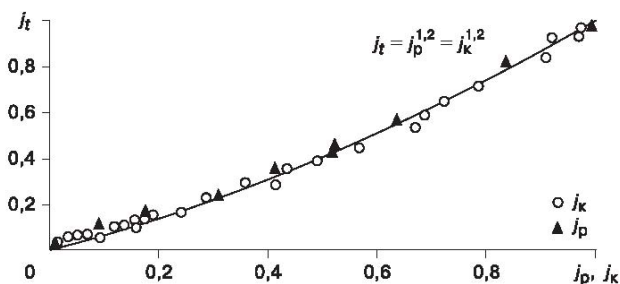


Рис. 7.12. Зависимость j_t от j_p и j_k .

Графики обоих уравнений практически сливаются.

ДАВЛЕНИЕ И ТЕМПЕРАТУРЫ ПЕРЕОХЛАЖДЕНИЯ ГАЗОГИДРАТОВ

Газогидраты – льдоподобные образования, широко распространенные в холодных зонах Земли: в толще вечной мерзлоты и под океаническим дном. При понижении давления они разлагаются на газ и воду. Если температура среды $T < 273$ К, то вода начинает замерзать, но сначала она должна пройти стадию переохлаждения. В [57] опытным путем найдена количественная связь равновесных (метастабильных) значений температуры и давления переохлажденной воды на поверхности газогидратов. Температура в опытах изменялась от 253,2 до 272,3 К у газогидрата

метана и от 264,3 до 272,2 К у газогидрата пропана; давление (P): от 0,39 до 2,34 МПа у газогидрата метана и от 0,025 до 1,41 МПа у газогидрата пропана. По этим данным с помощью формулы (7.1) размерные температуры (К) и давления переведены в относительные j_P и j_t . На рис. 7.13 показана связь между j_P и j_t ; a – аппроксимация вида (7.2) с $A = \Phi = 0,8$, кривая b – расчет по степенной формуле ОЗС вида (7.3). Обе формулы дают сходные результаты. По формуле (6.6) можно определить уровень упорядоченности этой системы (порядковый номер ОЗС), он дробный – $n = 7,2$.

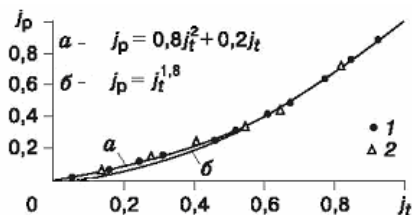


Рис. 7.13. Зависимость j_P от j_t

Таким образом, в рассмотренных механических системах характер связей между нормализованными параметрами в общем такой же, как и у биологических систем.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В монографии исследован широкий круг вопросов, связанных с устойчивостью природных комплексов, сходством (подобием) их структуры, свойств и закономерностей развития. Предложена общая модель развития экогеосистемы, понимаемой как область взаимодействия косной и живой природы, включая человека, которая позволяет рассматривать природные системы, традиционно относящиеся к разным отраслям знаний – естественным, техническим и гуманитарным, с существенно различающимся методологическим аппаратом, под одним углом зрения, “как единоутробных сродственников”. Модель основывается на следующих положениях.

1. Экогеосистемы представляют собой сложные иерархии взаимосвязанных гео, био и антропосистем разного ранга в пределах биосферы. Каждый последующий член иерархии, более подвижный и сложно организованный, появился и развивается за счет вещества и энергии предыдущих, наследуя определенную общность признаков и поведения. Основными чертами этой общности являются: спиралеобразная цикличность с повторяемостью в каждом цикле участков подъема (становления, созревания), зрелости и спада (старения); составной

характер циклов; их затухание со временем и по мере дробления. Из-за множественности и разнонаправленности колебаний траектория развития экогеосистем представляет собой сложную кривую, образованную наложением циклов разной природы и с разными параметрами. Простой (элементарный) цикл состоит из двух ветвей – восходящей и нисходящей. При определенной генерализации полную траекторию эволюции экогеосистемы от ее рождения и до кончины – *жизненный* цикл – также можно представить в виде простого, включающего указанные возрастные стадии: становление (детство), зрелость и старость, а также скрытого (утробного, эмбрионального) периодов развития.

2. По положению Земли относительно Солнца выделяются четыре стадии развития – явные (светлые, теплые): весна, лето, осень в годовом цикле и утро, день, вечер – в суточном; и “скрытые” (темные, холодные): зима в годовом и ночь в суточном циклах. Эволюционный (жизненный) цикл экогеосистем, представляющий собой генерализованную совокупность ее разнородных и разнопериодных колебаний, подобен основным вращательным циклам Земли – годовому, суточному и месячному, и инициируется ими. Он включает в себя аналогичные возрастные стадии: три явные (светлые) и одну неявную, скрытую (темную).

Первая стадия ассоциируется с весной или утром (расцветом, рассветом, юностью, ювенальной фазой), вторая – с летом или днем (зрелостью), третья – с осенью или вечером (старостью) и четвертая – с зимой или ночью (“сном”). В каждом цикле можно также выделить полупериоды подъема (уплотнения) и спада (разуплотнения) и четыре монотонных такта – два возрастающих и два затухающих. Годовой, месячный и суточный циклы играют главную роль в жизни экогеосистем, определяя ритмический (волновой) характер как их взаимодействия с внешним миром: приход и расход лучистой энергии Солнца в годовом и суточном циклах; приливы (поднятия) и отливы (опускания) массы, в первую очередь, жидкой, вызывающие ее регулярное перемешивание, в лунном цикле; так и собственного функционирования: рождение, расцвет, затем угасание и гибель.

3. Любую систему можно представить совокупностью гибких связей ее элементов – условно неделимых и недеформируемых *частиц* (“атомов”), обладающих энергией, которой она обменивается со своим окружением. Обмен сопровождается работой по *деформации* связей и, соответственно, подвижками частиц, что приводит к качественному изменению структуры. Отвлекаясь от природы частиц (элементов) и механизмов их взаимодействия, эволюцию экогеосистем

можно трактовать как результат работы внешних сил и накопление *деформации* системы, подразумевая под деформацией изменение любых параметров, приводящее к подвижкам частиц. Такой (деформационный) подход удобен тем, что общие закономерности развития выявляются из опытов с относительно простыми моделями, поддающимися количественному анализу.

4. В качестве ключевой (экспериментальной) модели развития взят мерзлый грунт, деформирующийся под нагрузкой. Выбор этой модели продиктован ее доступностью, близостью реальных температур к точке плавления, т. е. малой (и регулируемой) длительностью “жизненного” цикла и наличием достаточно хорошей теоретической базы. Нагруженный мерзлый грунт (как и другие системы, “нагруженные” внешней средой) в конечном счете разрушается, проходя в своем развитии три явные стадии деформирования: 1) с убывающей, 2) примерно с постоянной и 3) с возрастающей скоростью, и одну скрытую (до начала наблюдений), или два периода – уплотнения и разуплотнения, со слагающими их четырем тактами. Отрезки деформационной кривой на этих участках повторяют форму таких же участков земной орбиты. Получены формулы для расчета деформации и прочности мерзлого грунта (любого материала с ледяными связями), которые в относительном (безразмерном) виде можно перенести и

на другие системы. Обнаружено уникальное свойство ледяных структур: примерное равенство относительных термодинамических и деформационных характеристик и их близость к коэффициентам подобия главных вращательных циклов Земли (12, 30 и 24).

5. Образующиеся и развивающиеся при постоянных колебаниях внешних (в основном климатических) условий природные системы разного генезиса и состава имеют слоистую структуру, отражающую эти колебания и их последовательность особенностями морфологии слоев и физико-химическими свойствами. Каждый слой можно рассматривать как единичную деформацию, материально воплощающий определенный заверченный цикл колебаний внешних условий. Очень четко такая слоистость проявляется на поперечных срезах деревьев в виде хорошо различимых концентрических кругов – годовых колец. Предложена деформационная модель радиального роста древесных растений, базирующаяся на многолетнем фактическом материале, и продемонстрированы ее аналитические возможности. В частности, разработаны методики определения биологического возраста дерева; плотности разных древесных пород по плотности одной из них, обобщения результатов наблюдений и др.

6. Экогеосистемы, их энергоемкость рассматриваются как результат взаимодействия их вещественной части и

“пустоты”, необходимой для нормального функционирования (“колебаний ”) элементов системы. Устойчивое равновесие между ними стремится к пропорции Золотого сечения. Обнаружена приблизительная идентичность формул обобщенного Золотого сечения и предельной длительной прочности мерзлого грунта, если текущее время представлять в форме геометрической прогрессии, инвариантом которой является четверть орбиты вращательных циклов Земли, примерно 90° , совпадающая с продолжительностью времен года.

При обобщении результатов экспериментальных исследований различных систем с изменяющимися параметрами установлено существование целого класса проявлений ЗС, ранее неизвестного. Он характеризуется тем, что взаимодействие параметров систем описывается полиномиальными квадратичными и степенными формулами, численными коэффициентами которых являются константы ОЗС.

Приведенные многочисленные примеры демонстрируют подобие систем разной природы при выражении их параметров в обобщенном виде и близость устойчивого распределения их структурных элементов к пропорции ЗС.

ЛИТЕРАТУРА

- 1 *Абдулатипов Р.Г.* В поисках “звездного” часа России // Звезда. 2001. № 3. С. 175–181.
- 2 *Ансельм А.А.* Что такое время // Звезда. 1998. № 9. С. 174–190.
- 3 *Арефьев С.П.* Гнилевые болезни сосны сибирской в лесах среднетаежного Прииртышья: Дис. ... канд. биол. наук. Свердловск, 1990. 154 с.
- 4 *Артемова А.В., Бузыкин А.И., Исмагилов А.М., Кофман Г.Б.* Оценка продуктивности древостоя // Факторы продуктивности леса. Новосибирск: Наука, 1989. С. 129–146.
- 5 *Базаров И.П.* Термодинамика. М.: Высш. шк., 1976. 445 с.
- 6 *Базилевич Н.И., Родин Л.Е., Розов Н.Н.* Географические аспекты изучения биологической продуктивности // Материалы V Съезда Геогр. ова СССР. Л.: Наука, 1970. С. 3–28.
- 7 *Бакумцев Н.И.* XVII Междунар. науч. симпоз. “Перестройка естествознания и экономики 2008”. СПб.: Академия Тринитаризма, 2008. М., Эл № 776567, публ. 14744, 21.03.2008.
- 8 *Берри Б.Л.* Управление климатом, его прошлое и будущее // Холод'Ок. 2008. № 1. С. 72–84.
- 9 *Бобкова К.С., Тужилкина В.В., Робакидзе Е.А.* Ресурсная характеристика древесной зелени *Pinus sylvestris* (*Pinaceae*) в лесах северо-востока Европейской России // Растит. ресурсы. 2008. Т. 44, вып. 1. С. 51–59.
- 10 *Бронштейн И.Н., Семендяев К.А.* Справочник по математике. М.: Наука, 1980. 976 с.
- 11 *Будыко М.И.* Климат и жизнь. Л.: Гидрометеиздат, 1971. 471 с.
- 12 *Букалов А.В.* О зависимости характерной температуры живых организмов от среднегеометрической температуры

вакуума Вселенной // Физика сознания и жизни, космология и астрофизика. 2006. № 1. С. 20–23.

13 Ваганов Е.А., Шашкин А.В., Сви́дeрская И.В., Высоцкая Л.Г. Гистометрический анализ роста древесных растений. Новосибирск: Наука, 1985. 102 с.

14 Ваганов Е.А., Ши́ряев С.Г, Мазепа В.С. Дендроклиматические исследования в УралоСибирской Субарктике. Новосибирск: Наука, 1996. 246 с.

15 Вернадский В.И. Химическое строение биосферы Земли и ее окружения. М.: Наука, 1974. 74 с.

16 Войцеховский А.И. Бермудский треугольник без чудес и загадок? // Знак вопроса. 1997. № 4. С. 3–55.

17 Вялов С.С. Реологические основы механики грунтов. М.: Высш. шк., 1978. 448 с.

18 Гречищев С.Е., Павлов А.В., О.В.Гречищева. Закономерности формирования переохлаждения поровой влаги при объемном замерзании дисперсных грунтов // Мат. Третьей конференции геокриологов России. М.: МГУ, 2005. Т.1. С. 38-45.

19 Горелик Г. Рождение дела // Знание – сила. 2003. № 4. С. 60–69.

20 Ершов Э.Д. Общая геокриология. М.: Недра, 1990. 559 с.

21 Исаченко А.Г. Ландшафтоведение и физикогеографическое районирование. М.: Высш. шк., 1991. 366 с.

22 Капица С.П., Курдюмов С.П., Малинецкий Г.Г. Синергетика и прогнозы будущего. М.: Наука, 1997. 285 с.

23 Карлстрем Т.В. История оледенения Аляски и ее значение для теории палеоклимата // Солнечная активность и изменения климата. Л.: Гидрометеиздат, 1966. С. 119–177.

24 Климишин И.А. Астрономия наших дней. М.: Наука, 1986. 560 с.

25 Комин Г.Е. Применение дендрохронологических методов в экологическом мониторинге лесов // Лесоведение.

1990. № 2. С. 3–11.

26 *Коммонер Б.* Замыкающийся круг. Л.:

Гидрометеоиздат, 1974. 279 с.

27 *Коновалов А.А.* Охлаждение мерзлых оснований для повышения их прочности. Красноярск: Изд-во Красн. унта, 1988. 204 с.

28 *Коновалов А.А.* Прочностные свойства мерзлых грунтов при переменной температуре. Новосибирск: Наука, 1991. 93 с.

29 *Коновалов А.А.* К теории прочности мерзлого грунта // Криосфера Земли. 2009. Т. XIII, № 1. С. 31–39.

30 *Коновалов А.А.* Золотое сечение как показатель устойчивости компонентов системы // Докл. на Первом междунар. конгрессе по “Математике Гармонии” (Одесса, октябрь 2010). <http://sites.google.com/site/harmonymathkongress/speeches>

31 *Коновалов А.А., Арефьев С.П.* Деформационная модель радиального роста древесных растений и ее аналитические возможности // СЭЖ. 2010. № 3. С. 22–35.

32 *Коновалов А.А., Иванов С.Н.* Климат, фитопродуктивность и палиноспектры: связи, распределение и методика палеореконструкций. Новосибирск: Академическое издво “Гео”, 2007. 130 с.

33 *Коновалов А.А., Казанцева М.Н.* К обобщению наблюдений за параметрами древесных растений // Вестн. ТГУ. 2009. Вып. 3. С. 200–208.

34 *Кошкин Н.И., Ширкевич М.Г.* Справочник по элементарной физике. М.: Наука, 1974. 255 с.

35 *Ландшейдт Т.* Космическая функция Золотого сечения // [http:// astrologic.ru/library/golden.htm](http://astrologic.ru/library/golden.htm)

36 *Ледяева А.С.* Обоснование оптимального раскрыя хлыстов методом линейного программирования: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. СПб., 2007. 29 с.

37 *Леонтьев К.Н.* Восток, Россия и Славянство. М.: Республика, 1996. 799 с.

- 38 *Ловчук В.В., Красс М.С.* К прогнозу эволюций термокарстовых озер // Инженерное мерзлотоведение. Новосибирск: Наука, 1979. С. 229–237.
- 39 *Маркин Б.М., Наумова Л.Г., Соломещ А.И.* Современная наука о растительности. М.: Логос, 2001. 253 с.
- 40 *Марков А.В.* Взлет и падение видов: новые данные подтверждают старую идею “эволюционного цикла”// <http://elementy.ru/news?discuss=430634>.
- 41 *Марков А.В., Наймарк Е.Б.* Динамика филогенетических процессов в надвидовых биосистемах // Палеонтол. журн. 1994. № 3. С. 3–12.
- 42 *Михайличенко А.Л., Сметанин И.С.* Практикум по древесиноведению и лесному товароведению. М.: Лесная промсть, 1989. 104 с.
- 43 *Михайлов В.* Индейцы из Азии // За пределами вероятного. 2002. № 10. С. 9.
- 44 *Моисеев Н.Н.* Алгоритмы развития. М.: Наука, 1987. 304 с.
- 45 *Моргунов Е.Б.* Модели жизненного цикла организации. М., 2004. <http://www.ecsocman.edu.ru/db/msg/198166.html>
- 46 *Орлова В.В.* Западная Сибирь. Л.: Гидрометеиздат, 1962. 360 с.
- 47 *Основы философии.* М.: Владос, 1997. 320 с
- 48 *Остеопороз* // <http://ru.wikipedia.org/wiki/остеопороз>
- 49 *Панарин А.* Стратегическая нестабильность XXI века // Москва. 2002. № 8. С. 172–186.
- 50 *Паундер Э.* Физика льда. М.: Мир, 1967. 189 с.
- 51 *Пелевин В.* Встроенный напоминатель // Повести и рассказы. М.: Вагриус, 2000. С. 432–438.
- 52 *Попов Л.С.* Фантастический шницель // Наука и жизнь. 2000. № 4. С. 28–32.
- 53 *Пригожин И., Стенгерс И.* Порядок из хаоса (Предисловие О. Тоффлера). М.: Прогресс, 1986. С. 432.
- 54 *Пшеничникова Л.С.* Продуктивность сосновых молодняков разной густоты // Факторы продуктивности леса.

Новосибирск: Наука, 1989. С. 36–52.

55 *Радищев Н.А.* О человеке, его смерти и бессмертии // Избр. филос. соч. М.: Госполитиздат, 1949. С. 271–399.

56 *Регель В.Р., Слуцкер А.И., Томашевский Э.Е.* Кинетическая природа прочности твердых тел. М.: Наука, 1974. 560 с.

57 *Решетников А.М.* Экспериментальное изучение метастабильных состояний при диссоциации газовых гидратов ниже температуры 273 К: Дис. ... канд. техн. наук. Тюмень: ИКЗ СО РАН, 2010. 23 с.

58 *Роман Л.Т.* Мерзлые торфяные грунты как основания инженерных сооружений. Новосибирск: Наука, 1987. 193 с.

59 *Роман Л.Т.* Механика мерзлых грунтов. М.: Наука, 2002. 426 с.

60 *Савельев Б.А.* Гляциология. М.: Издво МГУ, 1991. 288 с.

61 *Скляревский Е.* Божественные пропорции Золотого сечения // I:\Zolotoe_sechenie2.htm

62 *Солженицын А.И.* Угодило зернышко промеж двух жерновов // НМ. 1998. № 11. С. 93–153.

63 *Сороко Э.М.* Структурная гармония систем. Минск: Наука и техника, 1984. 264 с.

64 *Сочава В.Б.* Введение в учение о геосистемах. Новосибирск: Наука, 1978. 318 с.

65 *Справочник по климату СССР.* Л.: Гидрометеиздат, 1965. Вып. 17, ч. 1. 275 с.

66 *Стахов А.П.* Роль “Золотого сечения” и “Математики Гармонии” в преодолении “стратегических ошибок” в развитии математики // СПб.: Академия Тринитаризма, 2008. М., Эл № 776567, публ. 14688, 12.01.2008.

67 *Телевизионный курс сопротивления материалов.* Напряженное состояние и устойчивость. М.: Высш. шк., 1981. 168 с.

68 *Физико-географический атлас Мира.* Л.: Гидрометеиздат, 1964. 275 с.

- 69 *Философский словарь*. М.: Госполитиздат, 1981. 445 с.
- 70 *Флоренский П.А. pro et contra*. СПб.: РХГИ, 1996. 752 с.
- 71 *Фрадкин Б.З.* Белые пятна безбрежного океана. М.: Недра, 1983. 96 с.
- 72 *Хромов С.П., Мамонтова Л.И.* Метеорологический словарь. Л.: Гидрометеиздат, 1974. 568 с.
- 73 *Цытович Н.А.* Механика мерзлых грунтов. М.: Вышш. шк., 1973. 446 с.
- 74 *Человек в условиях ритмов Космоса* // <http://www.sadikova.ua/articles.htm>.
- 75 *Чижевский А.Л.* Земное эхо солнечных бурь. М.: Мир, 1976. 367 с.
- 76 *Шабельников В.К.* Социальнопсихологический феномен антиядерного движения и проблемы глобальной экологической безопасности // *Звезда*. 1994. № 5. С. 130–132.
- 77 *Шавлов А.В.* Лед при структурных превращениях. Новосибирск: Наука, 1996. 188 с.
- 78 *Шрёдингер Э.* Что такое жизнь с точки зрения физики? М.: Издво иностр. лит., 1947. 120 с.
- 79 *Яворский Б.М., Детлаф А.А.* Справочник по физике. М.: Наука, 1965. 847 с.
- 80 *Konovalov A.A.* Correlation between the supercooling parameters of a freezing moist material and the temperatures of transitions to the plastic and solid frozen state and its longevity // *J. Phys. and Thermophys.* 2010. V. 83, N 3.
- 81 *Lovelock J.E.* Gaia: A new look at life on Earth. Oxford, 1979. 252 p.
- 82 *Foote M., Crampton J.S. et al.* Rise and Fall of Species Occupancy in Cenozoic Fossil Mollusks // *Science*. 2007. V. 318. P. 1131–1134.