

# ИНФОРМАЦИОННАЯ И ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ БИОЛОГИЯ В СИСТЕМЕ НАУЧНЫХ ЗНАНИЙ

А.К. Черкашин

Институт географии им. В.Б.Сочавы СО РАН, Иркутск

e-mail: <cherk@mail.icc.ru>

## Аннотация

Становление информационной и теоретической биологии (ИТБ) рассматривается с общих позиций систематизации научной информации (знаний) в составе единой науки. Выделяются уровни иерархии биологических знаний, в которой ИТБ соответствуют метатеоретическому подходу, разрабатывающему правила оперирования специальной информацией и нацеленному на индукцию новых аксиоматических теорий и математических моделей описания биологических явлений. Предложена структура метатеоретического знания, которая используется как базовая схема для создания и анализа научных теорий.

В 1950-70-е годы с большим интересом обсуждалась проблема создания теоретической биологии, определялись ее задачи и предмет исследования [1,2]. До настоящего времени эта тема является актуальной в науке и, несмотря на интенсивное развитие биологии в целом, проблема остается нерешенной. В связи с развитием вычислительной техники и информатики многие вопросы теоретической биологии переместились в сферу информационной биологии [3], о чем можно судить по содержанию публикаций в журналах и выступлениях на конференциях по теоретической биологии. Если абстрагироваться от чисто технических вопросов информатики, относящихся к применению компьютеров, разработке и использованию программного и математического обеспечения, собственное содержание информационной биологии посвящено анализу биологических данных и знаний, в том числе знаний об информационном обмене в иерархии частей живых организмов и сообществ. В этом смысле нет существенной разницы между теоретической и информационной биологией в той форме, в которой они существуют в настоящее время. Информационная биология, если к ней добавить еще и методы получения информации, становится равнозначной биологической науке в целом – творческой деятельности по получению и анализу информации о живых объектах. Выделить из информационной биологии области приложения теоретической и других биологий возможно лишь, определив разные уровни и типы обобщения научной биологической информации и сопоставив им соответствующие задачи и методы исследования.

Предлагаемая методология [4, 5] решения таких проблем разрабатывалась на стыке с географией, соприкасающейся практически со всеми науками, в том числе с биологией, из которой она черпает многочисленные примеры закономерностей строения и развития природы. Для географии характерен сквозной, трансдисциплинарный взгляд на изучаемые процессы и явления как результат взаимодействия природы, хозяйства и населения территорий на разных уровнях их организации вплоть до глобального. В этом аспекте биология хорошо дополняет географические знания, продолжая иерархию объектов исследований на уровень сообществ, популяций, организмов, органов, тканей, клеток и биомолекул. Это позволяет рассматривать биологическую проблематику в широком контексте развития научного знания, полагая, что теоретическая биология является неотъемлемой частью всего теоретического знания науки.

**Иерархия научного знания.** В основу понимания иерархии научной информации положена схема (рис.1), отражающая известную последовательность обобщения информации от данных и эмпирических знаний к моделям, теориям и метатеориям. Математика рассматривается как система метанаучной информации со своими уровнями обобщения формализмов, поставленных в соответствие уровням научной информации (знаниям в широком смысле). Перечисление начинается от значений и переменных величин к функциям величин,

<i>Биологическое содержание</i>	<i>Уровни информации</i>	<i>Уровни формализма</i>	<i>Типы информации</i>
Математическая биология	Математика	Категории	Тип метатеории (операторов)
Теоретическая биология	Метатеория	Операторы	Тип теорий (функционалов)
Теории биологических систем	Теории	Функционалы	Тип моделей (функций)
Модели биосистем	Модели	Функции	Тип знаний (величины)
Типы биосистем	Знания	Величины	Тип данных (значений)
Биоданные	Данные	Значения	

Рис. 1. Иерархия научных знаний в сопоставлении с иерархией математических формализмов.

функционалам, сопоставляющим функциям значения, и операторам, переводящим функции в функции. Верхний уровень формализма, обобщающий предшествующие формы отображения, соответствует математической категории, состоящей из абстрактных объектов и морфизмов, их связывающих.

Из математической части схемы (рис.1) видно, что всякий следующий уровень упорядочивает элементы предыдущего, например, величина выражает линейную последовательность значений, а функция увязывает разные величины. Аналогично можно считать, что более высокий уровень научной информации является структурой, или типом информации меньшего уровня. Например, биологический вид идентифицируется по области изменчивости признаков отдельных особей, характеризующихся конкретными значениями. Шкала значений, например температур, является обобщением конкретных значений температуры организма. Конкретные знания состоят из перечисления всех возможных значений (состояний) биологических объектов и закономерностей их изменения (интервалы, скорости, направления). С использованием таких знаний обычно делаются экспертные заключения, основанные на наблюдениях поведения сходных биологических объектов и закономерностях их изменчивости, например, в сезонном биотическом цикле животных или в процессе восстанови-

тельно-возрастной динамики растительного покрова. В моделях концентрируются такие знания в виде различных схем (графиков и графов) и с помощью функций взаимосвязи показателей.

Особенностью иерархии информации является возможность генерации системами знаний верхнего уровня знаний нижележащего уровня, например, модели можно использовать для расчета прогнозных величин, а с помощью теорий создавать новые модели данного типа теории. Метатеоретический уровень необходим для генерации новых теорий, а, следовательно, моделей и знаний соответствующего типа. Метанаучный, математический уровень регламентирует правила создания и функционирования метатеорий и их производной информации. На собственно математическом уровне связь с реальностью полностью утрачивается, и действия осуществляются с абстрактными понятиями. Метатеоретический уровень является переходным между математикой и конкретными теориями, в структуре которых отображаются знания о действительных биологических процессах, которые конкретизируются в моделях объектов и в знаниях о них. В итоге, метатеоретический уровень является связующим, обеспечивающим переход от абстрактного знания к конкретному знанию. Предметом исследования на этом уровне являются знания науки вне их связи с реальными процессами и явлениями. В таком контексте теоретическая биология – это метатеоретический уровень организации биологических знаний, на котором обобщаются и генерируются знания биологической науки, прежде всего, через алгоритмы синтеза теоретических конструкций систематизации знаний (онтологий), т.е. отнесения их к определенной предметной области, для которой создается специальная системная теория. Иными словами, теоретическая биология – это не универсальная теория жизни (теория теорий), а метатеория или методология создания теорий, по которым распределяются наличные знания и из которых новые знания выводятся.

Согласно иерархии научных знаний, метатеоретический уровень для обоснования выводов использует операторы преобразования некоторой универсальной системы (многообразия) связи знаний в специальные теории, являющиеся касательными слоями к этому многообразию, т.е. изучающие мир знаний в специальном приближении [6]. Теориям сопоставляются функционалы, что выражает тот факт, что знание, например, функционала действия (лагранжиана) позволяет вариационными методами вывести законы физики с помощью уравнения Эйлера-Лагранжа. В зависимости от вида функционала действия получаются разные функции связи, описывающие, например, поля различных физических взаимодействий. Предполагается, что самая высшая математика использует аппарат теории категорий, функторов и топосов для развертывания всего математического знания [7].

Все информационные уровни связаны с соответствующими верхними и нижними уровнями, которые оказывают влияние на совершенство решения поставленных задач. Так, могут возникать эмпирические знания, модели и теории, основанные на обобщении данных, а также математические теории и модели, использующие для описания своих закономерностей математические понятия. Это значит, что элементы метатеоретического знания всегда присутствуют в научном анализе, и их необходимо заметить и выделить. В истории науки математика как высший уровень познавательной абстракции появилась раньше многих наук и развилась на примере эмпирического счета и измерения. Речь, прежде всего, идет об арифметике и геометрии - образцах эмпирической математики древнего мира, уже тогда получивших аксиоматический статус. Способ познания через анализ геометрических форм разно-

образных пространств (проективных, топологических, функциональных, фазовых, признаковых) широко распространен в современной науке, и признание возможности геометрической интерпретации любой научной информации можно считать утверждением эмпирической метатеории. Математическая метатеория исходит из признания связности геометрий различных пространств, сведения их, например, к проективной геометрии [8], и с использованием операторов дифференциальной геометрии и топологии строит расслоенное пространство знаний, где всякое знание находится на своем месте.

**Методология теоретической биологии.** Методология здесь рассматривается как система методов и высший, метатеоретический уровень генерации научного знания. Именно на этом уровне формируется теоретическая биология как наука о биологическом знании в составе теоретической науки в целом. С этих позиций имеет смысл провести краткий аннотированный анализ ключевых публикаций для выделения главных идей, раскрывающих содержание данного подхода, иллюстрирующих связи знаний в иерархии научной информации.

А.А.Ляпунов совместно с Г.П. Багриновской опубликовал статью [9], в которой освещаются вопросы связи математической и теоретической биологии. В ней подчеркивается, что каждая естественная наука состоит из трех частей: эмпирической, теоретической и математической. В математической части создаются математические модели для проверки основных теоретических положений и первичной обработки экспериментальных данных. Задача теоретической биологии - объяснить с единых позиций комплекс фактов о строении и развитии живой природы, поэтому наиболее общей теоретической концепцией биологии является теория эволюции, но она не исчерпывает материалы теоретической биологии. Теоретические концепции развиваются в молекулярной биологии, в учении о биосфере и ее подразделениях, в частности, в биогеоценологии и экологии, при решении кибернетических проблем биологии, связанных с процессами кодирования, передачи, переработки и хранения информации в живых системах, воздействием потоков информации на процессы жизнедеятельности. В итоге проблематика теоретической биологии распадается на две части: молекулярно-биологическую и математико-кибернетическую. Последнее направление используется для решения задач не только биологии, но и экономики и техники, для чего разрабатываются новые разделы математики (теории информации, управляющих систем, автоматов, игр и т.п.). Общей чертой новых областей математики является дискретность. Большое значение в этом направлении уделяется методу моделирования – созданию математических моделей как абстрактных систем. Математические модели биологических систем систематизируются и классифицируются по естественнонаучным задачам и используемым математическим средствам. Формирующаяся на этой основе математическая биология рассматривается как вспомогательное средство теоретической биологии для систематизации математико-биологического материала через строгую естественнонаучную постановку задачи и ее формализацию до уровня математической постановки и ее решения с постоянным совершенствованием математической модели. На этом пути по разделам теоретической биологии создаются иерархический набор связанных математических моделей и правила их применения в зависимости от конкретной задачи. Такая иерархическая система математических моделей должна представлять основное содержание математической биологии как особой ветви биологических наук. Существенным для построения математических моделей является принцип полноты описания моделируемых ситуаций, когда при описании реального процесса не воз-

никает неопределенности, сохраняется ясное представление о том, что произойдет в каждом случае. Требование полноты относится в первую очередь к эмпирическому изучению процесса, чтобы точнее отразить полученные сведения при построении его замкнутой математической модели, для чего необходимо планировать эксперименты.

Отметим, что в этом изложении поддерживается схема информационной иерархии научных исследований от сбора эмпирических данных к созданию моделей и теорий процессов и далее к математическим задачам. Эти уровни четко очерчены, и продемонстрирована их взаимосвязь. Правда, теоретическая биология трактуется как средство объяснения конкретных биологических фактов, т.е. как биоинформация теоретического уровня; метатеоретический вопрос о происхождении теорий не рассматривается. В теоретической биологии выделяется математико-кибернетическая часть, которая по задачам совпадает с информационной биологией в современном понимании. Обращается внимание, что математико-кибернетическое направление имеет сквозной, трансдисциплинарный характер, и свойственен не только биологии. В нем основное внимание уделяется математическому моделированию, а формируемая при этом математическая биология является средством решения задач в теоретической биологии, т.е. в заданном контексте – средством создания математических моделей биологических систем. Модели должны отражать иерархию биосистем и дифференцироваться в зависимости от выбранного научного направления исследований, т.е. для описания биологических явлений необходима полисистема моделей разного типа. Каждый тип модельного описания должен удовлетворять требованиям полноты и адекватности отражения описываемых процессов.

В 1960-70-е годы многим казалось, что создание математических моделей на основе математических формализмов и эмпирических данных, так называемое имитационное моделирование, позволит существенно продвинуть научное познание в области наук, не имеющих развитых теорий. Вместе с тем критическим был вопрос: как создаются и идентифицируются модели под поставленную задачу? По этой причине в 80-е годы часть специалистов в области моделирования обратились к конкретным исследованиям биологических процессов и построению простых эмпирических моделей, другая часть занялась поиском теоретических основ моделирования, но большинство остались в поле имитационного моделирования. Как результат, теоретическая биология как теория биологических объектов не сформировалась, не появилась она и как метатеория биологических знаний, и решение этих задач остается актуальным для создания методологии осознанного, теоретически обоснованного моделирования.

Проблемы теоретической биологии в 1960-70-е годы широко обсуждались на философском уровне. В декабре 1971 г. был проведен круглый стол по вопросам предмета, основным задачам и принципам построения теоретической биологии. Докладчиками были сформулированы несколько интересных эмпирических обобщений, выделенных в процессе аннотированного анализа текста.

Философ И.Т. Фролов охарактеризовал основные методологические принципы теоретической биологии и ее построения как теории жизни и ее познания. Биолог М.С. Гиляров отметил, что главная задача теоретической биологии – анализ понятий и принципов биологических исследований. Основное понятие, на котором базируются представления о развитии органического мира, – это понятие гомологии, разного рода подобия объектов и процессов. Для формирования теоретической биологии важна разработка принципов систематики,

которая рассматривается как временная проекция на современный филогенетический процесс исторической дифференциации организмов. С.М. Гершензон, признавая важность развития теории биологии, выступает против понятия «теоретической биологии». Он обращает внимание (с.103), что «...теоретическая физика – это чисто условное название, совсем не означающее существование какой-то особой науки, имеющие иные цели и задачи, чем физика экспериментальная. В теоретическую физику входят все те довольно разнородные физические теории, которые требуют для своего обоснования и формулирования применения сложного математического аппарата или построения сложных логических моделей». Существует разделение труда на физиков-теоретиков и физиков-экспериментаторов, что произойдет и в биологии, но особой теоретической биологии, стоящей над биологией вообще, быть не может. В процессе теоретизации биологии главное значение будет иметь направляющее влияние математики и философии, т. е. наук, определяющих методологию построения научных теорий. А.В.Яблоков также не уверен в целесообразности выделения теоретической биологии как самостоятельного направления. Ее современное состояние связываются с развитием теории систем и приравниваются к теории эволюции. Теоретическая биология не может быть «теорией жизни», потому что изучением жизни занимаются все биологические науки. Теоретическая биология должна заниматься формализацией основных биологических понятий, уточнением основных биологических принципов.

По мнению А.А.Малиновского теоретическая биология существует со времен Ч.Дарвина и выделяется не объектом, а методом исследования, поэтому сейчас необходимы конкретные рекомендации по ее развитию. Он выступает против того, что теоретическая биология должна создавать общее представление о живых объектах, давать целостную картину, объединяющую все области биологии. Но она должна с математической точностью выражать общебиологические принципы. Математическая биология является одним из разделов теоретической биологии, который со временем будет самым главным. Артемьев Г.В. считает, что при формировании теоретической биологии для познания самых общих биологических свойств и законов жизни следует определить особенности проникновения биологических явлений в сопредельные физико-химические и социальные сферы. А.Я.Ильин и В.А.Шуков постулируют, что определение исходных понятий теории детерминирует содержание самой научной теории, поэтому отсутствие адекватного определения жизни тормозит разработку теоретических проблем биологии. Г.А. Югай обращает внимание, что многие вопросы теоретической биологии рассматриваются в общей биологии - механической сумме знаний, добытыми частными теориями, и в ней нет обратных связей от общих принципов организации жизни к знаниям частных теорий. Ю.Н. Полянский считает, что концепция известной «Теоретической биологии» Э.С.Бауэра в своих исходных моментах является сугубо термодинамической теорией. Н.П. Депенчук обратила внимание, что ни одна отрасль естествознания в теоретическом отношении не стала однородной по методу исследования, ни по языку, ни по степени формализации и совершенства теоретических способов интерпретации явлений, которые входят в компетенцию данной науки. Редукционизм, т.е. сведение закономерностей жизни к физическим или химическим законам, не может быть основой построения теоретической биологии. Теоретическая система физики обеспечивается не однородностью теоретической физики, а определенными связями разнородных теоретических элементов этой системы через преобразования одной теоретической системы в другую, чего нет в

биологии. Таким образом, речь должна идти о соотношении различных способов и языков описания, об условиях преобразования одной теоретической системы в другую.

Г.А. Заварзин считал, что теоретическая биология – это не математическая биология и в то же время это не универсальная теория биологии. Теоретическая биология – это метод, на основании которого делаются правильные заключения относительно неизвестных биологических фактов путем изучения фактов известных. Древнейшим элементом теоретической биологии является классификация и систематизация живых существ, сложившаяся под сильным влиянием философии и логики. Ставится вопрос: не является ли древовидная структура классификации выражением других более общих структур, поскольку запись генетического кода линейна. В.А. Геодакян обращал внимание на мнение физика В.Гейзенберга, который считал, что теоретическая и математическая физика – разные вещи. Теоретики наблюдают не за системой непосредственно, а за результатами других исследователей. Он должен уметь увидеть среди множества деталей главное: по В.Гиббсу одной из основных задач теоретического исследования в любой области знания является установление такой точки зрения, с которой объект исследования представлялся бы максимально просто.

Из сказанного важно подчеркнуть методологический статус теоретической биологии, регламентирующей операции с частными биологическими знаниями, прежде всего по связанным вопросам эволюции, гомологии и систематики. Теоретическая биология не может быть просто набором теорий о разных проявлениях жизни, но должна быть системой функционально обусловленных теорий, в которых помимо чисто биологических проблем решаются задачи объяснения взаимодействия с небологической областью знаний (физикой, химией, общественными и техническими науками). В процессе формирования теоретической биологии основная роль отводится математике и философии, определяющих методологию создания научных теорий, а также - общей теории систем. Теоретическая биология не изучает живые объекты непосредственно, а опосредованно через анализ результатов других исследователей, т.е. существующие биологические знания. Ее основной метод – формализация знаний путем формирования концептуальных и математических моделей разного уровня обобщения биоинформации. Теоретическая биология обеспечивает метатеоретический уровень обобщения и анализа информации, который не только декларирует методы создания и связи теорий, но предлагается способы построения моделей, систематики знаний и расчета неизвестных параметров, т.е. представляет собой конус высвечивания всех содержательных знаний, входящий, в свою очередь, в конус информационной биологии в целом (общей биологии). То, что часто трактуется как теоретическая биология, оказывается частной теорией определенного аспекта биологических явлений. На теоретическом уровне теоретическая биология многопланова, т.е. для объяснения этих явлений должна использовать разные теории, отражающие на своем системном языке с помощью специальных законов соответствующие аспекты существования жизни. Математическая теоретическая биология – это информационная биология в полном объеме, и ее функции не ограничиваются вопросами создания математических моделей биосистем, но распространяются на математические методы решения проблем синтеза аксиоматических теорий, что является высшим уровнем анализа биологической информации.

Характерно, что теоретическая биология обычно рассматривается вне контекста развития всего теоретического знания, но постоянно указывается на существование общих проблем такого рода для всех наук, и прежде всего, развитых в теоретическом отношении. Сей-

час признается существование сквозных закономерностей формирования теоретического знания в разных областях исследования [11], но рассматривается это не в аспекте фундаментального единства знания, а как факт, требующий философского осмысления. Необходимо осознать, что решение задач создания теоретических направлений в разных отраслях науки, генерация объяснительных теорий и адекватных моделей сейчас зависит от формирования единой методологии теоретического знания, выражающего в математических понятиях главные истины развития научной информации. Теоретическая биология также должна создаваться в структуре единой системы научного знания.

**Метатеоретическое знание.** Изложенные мнения частично отражают главные закономерности метатеоретического подхода, выявленные при разработке методов индукции сквозных теорий [4-5]. Такой подход еще можно назвать системологией – системным выражением методологии исследования знаний, целью которой является изучение и упорядочивание моделей систем знаний разного уровня. К обобщениям метатеоретического уровня [6] можно отнести положения о: 1) расслоении пространства связи знаний на полисистему сквозных теорий, а биологических объектов – на полисистему моделей, сформулированных на языке соответствующих системных теорий; 2) подобии всех теорий через интерпретацию их базовых понятий и законов (аксиом); 3) существовании геометрической трактовки системных знаний каждой теории и адекватного ему раздела математики; 4) распространении и использовании знаний каждой теории в пространстве других теорий; 5) сквозном характере знаний любой теории, т.е. о возможности описать на одном системном языке явления и процессы, происходящие в живой и неживой природе, в природе и в обществе в форме специфических закономерностей.

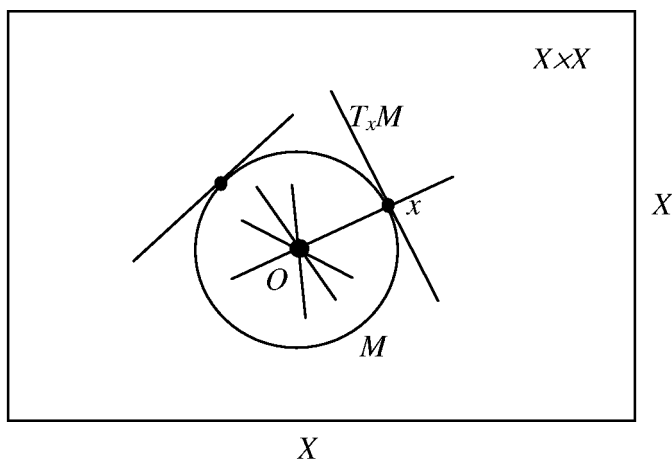


Рис. 2. Схема расслоения и связи знаний (пояснения в тексте).

Математическая формулировка основных принципов метатеории организации знаний следующая: рассматривается многообразие  $M \subset X \times X$  связи знаний  $X$ , задаваемой в общем случае декартовым произведением  $X \times X$  (рис.2). Структура пространства знаний задается расслоением-

произведением  $X \times X \rightarrow X$ , сопоставляющим каждой связи знаний из  $X \times X$  конкретное знание из  $X$ , с учетом которого эта связь реализуется. Расслоение  $X \times X \rightarrow X$  - это формулировка методологического закона конкретности знаний, когда из всего множества связей выбирается только те, что соответствуют конкретному элементу из  $X$ , например, знанию о свойствах вида, к которому принадлежит данная особь. К многообразию  $M$  из вариантов  $X \times X$  относится только часть связей  $X \times X \rightarrow M$ . Иллюстрацией  $M$  может быть окружность в плоскости  $X \times X$ , а  $X \times X \rightarrow M$  соответствует множеству касательных линий  $T_x M$  к окружности  $M$  в точке  $x \in M$  (рис.2). Слой знаний  $T_x M$  – это знание нижележащего уровня (см. рис.1), так, если  $M$  – метатеоретическая конструкция, то  $T_x M$  выделяет разные теории, если  $M$  – теория, то  $T_x M$  соответствует разным типам моделей реальности, сформулированным на языке этой теории. По



правилам расслоения разные слои не пересекаются, т.е. образуют систему независимых координат  $TM = \{T_x M\}$ , в которой связи знаний представимы  $X \times X \rightarrow TM$ . Точка  $x \in M$  является инвариантом слоя  $x \in T_x M$ , т.е. знанием, с которым как варианты связаны другие знания из  $T_x M$ . Например,  $x$  соответствует типу покрытосеменных растений, а  $T_x M$  включает все виды этого типа, а также системное описание всех возможных представителей таких видов.

Множество всех слоев, возникших как касательные пространства к многообразию  $M$ , не покрывает всего пространства возможностей  $X \times X$  (см. рис.2), поскольку выпуклая область, ограниченная многообразием  $M$  не закрывается слоями  $T_x M$ . Чем шире эта область, тем больше фундаментальных знаний скрыто от исследователей. В пределе окружность  $M$  вырождается в точку  $M \rightarrow O$ , в которой сконцентрированы все точки  $x \in M$ , а слои  $T_x$  образуют конгруэнтный пучок, проходящий через центр  $O$ . В этом центре слои не пересекаются, т.е. также образуют систему независимых координат  $T = \{T_x\}$ . Система слоев  $T_x$  покрывает уже все пространство связи знаний  $X \times X$ . Символ  $x$  при  $T_x$  в данном случае означает произвольное знание  $x \in X \times X$ , относящееся к данному слою  $x \in T_x$ , т.е. знание определенного типа. Множество слоев  $T_x$  расслаивает пространство  $X \times X$  на его элементах  $x$ , т.е.  $X \times X \rightarrow X \times X$ . Иными словами, всякое знание  $x \in X \times X$  относится к одной и только одной теории  $x \in T_x$ .

Отображение  $T_x \rightarrow M$  соответствует точке  $x$ , принадлежащей  $x \in T_x$  и  $x \in M$ . Такое отображение индуцирует в  $M$  точку, касательная в которой порождает новое пространство знаний слоя  $T_x M$ . Очевидно, точка  $O$  может рассматриваться как точка касания (инвариант) в пространстве организации знаний более высокого порядка, а в частном слое  $T_x M$  формируется аналогичная полярная структура из центра, пучка линий  $T_x$  и окружностей  $M_x$  разного размера. Это своеобразная онтологическая модель знаний, образующаяся вокруг инвариантного центра. Таким образом, система знаний обладает иерархией вложения и дифференцируется по метаровням научной информации (см. рис.1).

Пучок слоев  $T_x$  обладает конгруэнтными свойствами, т.е. каждый слой путем поворота отображается в другой слой. Если  $T_x$  - теории, то это означает возможность интерпретации одной теории в терминах другой теории. Инвариантный центр  $O$  соответствует множеству аксиом разных теорий  $T_x$ ; эти аксиомы также взаимно интерпретируемы, т.е. взяв за основу аксиомы одной теории путем замены понятий можно получить аксиомы другой теории. Этот метатеоретический вывод положен в основу правил индукции аксиоматических

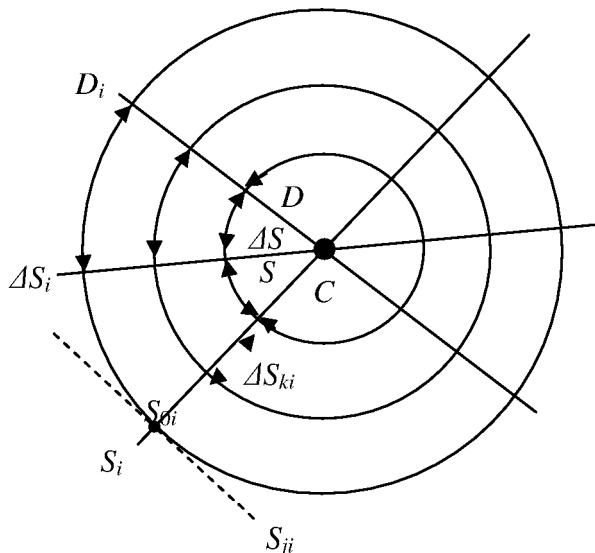


Рис. 3. Модель-представление аксиоматической системы теории. Стрелки передают отношение тождества.

теорий разного содержания.

В качестве образца для индукции теорий удобно взять общую теорию систем, в общих понятиях отражающую основные законы мироздания. Структура теории представлена на рис.3 в стандартном виде как наложение системы концентрических окружностей на пучок линий, где каждая линия соответствует определенному понятию. Здесь выделяется

инвариантный центр  $C$ , его ближайшее окружение и разно удаленная на расстояние  $r_i$  от центра периферия теории.

В нашем варианте общей теории систем в качестве базовых выбраны понятия «система»  $S_i$ , «изменение системы»  $\Delta S_i$  и «действие»  $D_i$  [4,5,12]. Эти понятия в окрестности инварианта приобретают смысл универсальной системы  $S$ , изменения  $\Delta S$  и действия  $D$ . Универсальность здесь в первую очередь передается всеобъемлемостью понятий, например, система  $S$  объединяет всевозможные в Мире системы и соответствует Миру в целом в его реальном и потенциальном содержании. Кроме того, универсальными являются системы, во всем подобные Миру, но охватывающие только системы определенного рода. В этом случае это непересекающиеся слои, например, различные виды организмов или различные теории, описывающие специальный вид систем. Обычно такие системные слои выступают в качестве элементов систем более высокого уровня – универсальных и неуниверсальных.

Второй аспект универсальности определяется аксиоматическими свойствами систем. В центре пучка понятия сливаются, и имеет место тождество универсальных понятий через инвариант  $C$ :

$$\Delta S = S = D = C. \quad (1)$$

В общей теории систем инвариант трактуется как свойство объективного существования, независимое от внешнего окружения. В специальных научных интерпретациях существование соответствует качеству сохранения или постоянства величин, например сохранения вещества или постоянство скорости света во всех системах отсчета.

Утверждение (1) в этом контексте обладает внутренним противоречием, поскольку универсальная система, с одной стороны, существует  $S = C$ , т.е. не изменяется, а с другой, - существует изменение этой системы  $\Delta S = C$ . Кроме того, комбинация  $\Delta S = S$  определяет тенденцию ускоренного изменения универсальных систем на своей собственной основе, когда действие  $D$  системы полностью совпадает с системой  $S = D$ . Возможен также вариант связи изменения системы с действием:  $\Delta S = D$ . Разные понятия и их сочетания соответствуют независимым суждениям, на каждом из которых формируется непротиворечивая система знания, являющаяся частью общей теории систем, которая таким образом расслаивается на множество направлений. Наглядным примером может служить разбиение форм общественного сознания (видов культуры) на религию ( $S = C$ ), искусство ( $\Delta S = C$ ), управление ( $S = D$ ), политику ( $\Delta S = D$ ) и науку ( $\Delta S = S$ ) в зависимости от источников познания [4]. Так, религия базируется на системе догм (инвариантов), а наука в развитой форме самодостаточна в своих исследованиях и может черпать новые знания из старых, т.е. способна теоретизировать. Аналогичные закономерности появляются в других областях знания, что означает: теории неоднородны по своим базовым аксиоматическим основам, а подразделяются на подтеории, каждая из которых в рамках данной теории на том же языке описывает конкретный набор явлений. Это ключ к пониманию особенности жизни, а именно, в каждой теории должны быть специальные аксиомы, отражающие специфику биологических объектов. Прежде всего, конечно, это процессы самоорганизации и самоуправления ( $\Delta S = S = D$ ). Они обеспечивают экспоненциальные тенденции  $y = \exp(x)$  и логарифмический масштаб  $x = \ln y$  изменения переменных  $x$  и  $y$ , характерные для биосистем.

Например, в физике и биологии исследуются динамические процессы, выраженные в смене своих состояний элементами систем во времени под воздействием внешних и внутренних факторов. В физике состояния обычно связаны с пространственным положением, и

уравнения описывают разного рода потоки. В биологии понятие «состояние» расширено, и в качестве состояния биосистемы можно рассматривать ее возраст, вес и даже степень эволюционного совершенства. Направленные физические потоки относительно однородны, т.е. осуществляются поступательно, тогда как биологическая смена состояния происходит скачкообразно, по принципу «все или ничего», когда воздействия, например температурные, сначала накапливаются, а потом реализуются в изменениях. Этот эффект объясняется наличием собственного времени биосистем, когда биологическое время растет экспоненциально по сравнению с ходом физического времени [4]. Примером реализации такой закономерности может быть уравнение Гомпертца [13], в котором относительная скорость  $\mu(t)$  изменения численности  $N(t)$  одновозрастной популяции (смертность) со временем  $t$  описывается соотношением  $\mu(t) = -\frac{dN}{dt} \frac{1}{N(t)} = B \exp(\alpha t)$ , где  $B$ ,  $\alpha$  – видоспецифические коэффициенты, или  $\frac{dX}{d\tau} = B$ ,  $X = -\ln N(t)$ ,  $\tau = \frac{1}{\alpha} \exp(\alpha t)$ . В итоге уравнение упрощается за счет введения логарифмического масштаба и биологического времени  $\tau$ .

Учет закономерности Стрелера - Милдвана [13] связи коэффициентов  $\ln B = k\alpha + k_0$  в уравнении Гомпертца приводит к тому, что зависимость  $\mu(t)$  в логарифмическом масштабе образует пучок линий [13]  $\ln \mu(t) = k_0 + \alpha(t + k)$  с инвариантным центром  $(k_0, -k)$ . Это дает более фундаментальное выражение  $\frac{dX}{d\tau} = e^{k_0} = const$ ,  $\tau = \frac{1}{\alpha} \exp(\alpha(t + k))$ , которое можно рассматривать в качестве одного из вариантов простой аксиомы  $\Delta S = C$ , хотя в исходных переменных зависимость выглядит достаточно сложно. Коррелированность коэффициентов уравнений и смещение переменных – также характерная особенность живых систем, связанная с полярной моделью знания.

Биологическая составляющая в специальных теориях всегда присутствует, хотя часто для объяснения явлений жизни приходится создавать новые теории, аналогов которых в физике пока нет. Например, факториальная экология описывает влияние различных экологических факторов  $u$  на реакцию организмов  $Y$ . Одна из интересных закономерностей такого плана – закон Жирмунского-Кузьмина [14] о количественном соотношении значений критических уровней в аллометрических кривых зависимости характеристик биосистем  $Y_j$  от фактора возраста  $u$ :  $Y_{j+1}/Y_j = K$  – константа, примерно равная  $e^e \approx 15,15$ . В общей теории систем это выражение также соответствует аксиоме  $\Delta S = C$ , и попытки авторов обосновать такой результат аналитически были неоправданны и неубедительны. В целом эта аксиома отражает свойства дискретности, квантованности изменения  $\Delta S$  систем  $S$ , т.е. существование нескольких уровней или слоев, добавление которых скачкообразно изменяет универсальную систему  $S$ . Например, таким квантом является теория в науке, возникающая как самостоятельная независимая единица высокоорганизованного знания.

Особое место в системе аксиом (1) занимает утверждение  $\Delta S = D$ , связывающее изменение и действие. Это тождество напрямую не связано с инвариантом, поэтому может быть распространено на изменения всех систем  $\Delta S_i = D_i$ . Отсутствие действия приводит к равновесному состоянию  $S_{0i}$  системы без изменений  $\Delta S_i = \Delta S_{0i} = 0$ . Для равновесных систем  $S_{0i}$  справедлива расширенная подобным же образом аксиома  $S = D$ :  $S_{0i} = D_{0i}$ . Биологический смысл такого утверждения выражается в соответствии равновесного состояния организма

или сообщества  $S_{0i}$  характеристикам окружающей среды  $D_{0i}$ . Действие  $D_i$  в аксиоме  $\Delta S_i = D_i$  должно рассматриваться как сумма действия системы и ее среды  $D_i = D_{si} + D_{0i}$ . Равновесие наступает при прямой противоположности этих двух действий  $D_{si} = -D_{0i}$ , а изменения возникают при активном противодействии организма среде или доминировании среды над организмом.

Таким образом, все системы строго делятся на равновесные и неравновесные, или системы, соответствующие некоторой норме и отклоняющиеся от нее. Эта мысль хорошо интерпретируется в терминах расслоения (см. рис.3). На каждом уровне отклонения  $r_i$  понятию «система  $S_i$ » на линии этого понятия соответствует равновесная система  $S_{0i}$  – точка на окружности  $r_i$ , касательный слой к которой включает все системы  $S_{ji}$ , связанные с инвариантом  $S_{0i}$  этого локального слоя. Различие  $\Delta S_{0ji} = S_{ji} - S_{0i}$  определяет степень видоизменения нормы  $S_{0i}$  в каждой точке производного слоя.

Не связана напрямую с инвариантом  $C$  также аксиома саморазвития  $\Delta S = S$ . Тривиальное решение этого соотношения  $S = 0$  соответствует центру системы знаний (см. рис.3) и в этом случае противоречит другой аксиоме  $S = C$  универсального центра. Нетривиальное решение  $\Delta S \neq 0$  обеспечивается в окрестности этого центра, где выражение (1) справедливо без участия  $C$ :  $\Delta S = S = D$ . Тождество  $\Delta S = S$  можно распространить на множество только саморазвивающихся и саморегулируемых систем, изменение которых не зависит от действия среды:  $\Delta S_{ki} = S_{ki}$ . Они возникают среди систем, когда  $S_i = D_{si} + D_{0i} = D_{si} + S_{0i}$ , или  $S_{ki} - S_{0i} = D_{ski}$  – отклонение саморазвивающихся систем от нормы определяется только величиной их внутреннего действия и не зависит от среды. Следовательно, для саморазвивающихся систем  $\Delta(S_{ki} - S_{0i}) = S_{ki} - S_{0i}$ , и состояние  $S_{ki}$  либо приближается к равновесному состоянию  $S_{0i}$  (гомеостатическое регулирование), либо отдаляется от него (эволюционные изменения). Причем, эти перемещения происходят не в плоскости касательного слоя производных от  $S_{0i}$  систем  $S_{ji}$ , а в ортогональном направлении по линии представления о системах в целом, что обеспечивает межуровневые связи различных норм, расстояние между которыми декларируется аксиомой  $\Delta S = C$ , например, как в периодических закономерностях Жирмунского-Кузьмина [14] или Численко [15]. Аксиома  $S = C$  определяет пределы изменчивости систем разного рода в целом и по элементарным уровням.

Перечисленные аксиомы и следствия справедливы для всех систем, а значит, систем определенного рода, что обычно используется для иллюстрации обобщенных суждений. По этой причине от базовой аксиоматики общей теории систем (1) можно перейти к созданию теорий других типов систем, заменив общесистемные понятия специальными терминами. Например, в теории единой науки  $S$  рассматриваются системы знаний  $S_i$ , а изменения трактуются как получение новых знаний [4]. Научное действие  $D_i$  – экспериментальные исследования от наблюдений до высокотехнологичных опытов. Инвариантом научных знаний  $C$  является их полнота. Тогда система аксиом (1) утверждает, что единая наука полна ( $S = C$ ), ее существенные изменения (новые теории) полны ( $\Delta S = C$ ), единый эксперимент этой науки также полон ( $D=C$ ). Последнее утверждение перекликается с упомянутым выше суждением А.А.Ляпунова и Г.П.Багриновской [9] о необходимости полноты научного эксперимента, что согласно аксиомам справедливо лишь для науки в целом и ее специальных теорий.

Всякое новое знание эмпирически обусловлено, т.е. обосновывается и проверяется на опыте ( $\Delta S_i = D_i$ ). Выделяются фундаментальное знание  $S_{0i} = D_{0i}$ , эмпирически доказанное, и теоретическое знание  $\Delta S_{ki} = S_{ki}$ , выводимое из существующего знания. Объем теоретического

знания складывается из внутреннего действия науки (дедуктивного анализа) и фундаментального знания, на котором базируется вывод ( $S_{ki} = D_{ski} + S_{0i}$ ). Основная задача теоретического знания – обоснование фундаментального знания, что обеспечивается поэтапным созданием новых аксиоматических теорий ( $\Delta S = C$ ) и единой науки в целом ( $S = C$ ), соответствующей инварианту научного знания – требованию полноты.

В единой науке речь идет о знании как объективной реальности, какой являются процессы научного познания и наука как элемент культуры. Это отличает теорию единой науки от метатеории, предметом которой являются не конкретные, а отвлеченные от реальности знания, но эти знания еще не настолько абстрактны, как в математике. В системе единой науки биологические знания распределены по различным теориям, поэтому построить теории чисто биологического содержания невозможно. Имеет смысл предположить, что биологические и тем более социальные знания размещены ближе к инвариантному центру, чем периферийные физические и химические, т.е. более универсальны.

Свойство полноты  $S = C$ , характерное для расслоенных знаний, обеспечивается многоплановостью науки, где явление, необъяснимое в одном слое, находит объяснение в другом, логически с ним не связанным. Поскольку число этих планов неограниченно, то их знания покрывают всевозможные результаты наблюдений, и важно только иметь алгоритм перехода из одного слоя знаний в другой. Э.С. Бауэр [16] полагал, что все специальные законы отдельных ветвей биологии должны оказаться специальными проявлениями всеобщих законов движения, свойственных живой материи. Однако попытка свести все знание биологии и других наук к одной объяснительной теории бесперспективна: необходим пучок, или полисистема теорий. Переход от теории к теории («отождествление» теорий) в единой науке обеспечивается методом интерпретации понятий, используемых при формулировке аксиом. Общей становится лишь метатеоретическая модель организации и генерации знаний.

**Основные выводы.** С позиции развиваемой информационной методологии многие ранее высказанные суждения оказались оправданы. Прежде всего, речь должна идти о формировании теоретической биологии на базе понятий общей теории систем в специальном исполнении. Подтверждается методологическая роль теоретической биологии как источника общих знаний о методах формирования информационных моделей. Важным также является признание разнообразия теорий для научного описания биологических объектов.

Создание теоретической биологии возможно только в контексте теоретического знания науки в целом, которое занимает метатеоретический уровень организации научной информации и нацелено на формулировку правил формирования аксиоматических теорий систем разного рода, и как следствие, специальных моделей объяснения реальности в отдельном аспекте. С позиции системологии теоретического знания, все познание является касательным, и научное знание расслаивается на независимые слои знаний разного уровня. Каждый слой содержит инвариант и связанные с ним варианты знаний, а переход из слоя в слой осуществляется в форме интерпретации знаний. Каждый теоретический слой имеет полярную структуру и разбивается на слои конкретных знаний, в одном из которых реализуются специфические законы жизни как инобытие физических законов. В этом смысле, появление жизни – квантованный скачек, связанный с проявлением определенного слоя законов, существование которых в другой природной ситуации не было обеспечено. Поэтому поиск специфических биологических законов в общем поле законов сквозных теорий становится важным направлением понимания живого. Во-вторых, существенным становится разработка по схеме мета-

теоретической модели новых теорий, законы которых в биологической форме проявляются в большей степени.

Информационная биология как часть информационной науки (информатики) – высшей формы организации научного знания – включает математическую и теоретическую биологию и формирует конус знаний, вершина которого соответствует математическому знанию, а на разных уровнях упорядочиваются метатеории, теории, модели, конкретные знания, эмпирические и расчетные данные. Теоретическая биология входит в состав информационной биологии, формируя систему системологического плюрализма сквозного расслоенного познания живых организмов.

## ЛИТЕРАТУРА

- [1] Теоретическая и математическая биология.- М.: Мир, 1968. – с. 448 С.
- [2] Лойт Т.В. Теоретическая биология как метатеория биологической науки // Вопросы философии. - 1974. - №6. - С. 83-89.
- [3] Каменская М.А. Информационная биология. – М.: Изд. центр «Академия», 2006. – 368 С.
- [4] Черкашин А.К. Полисистемный анализ и синтез. - Новосибирск: Наука, 1997. - 502 с.
- [5] Черкашин А.К. Полисистемное моделирование - Новосибирск: Наука, 2005. – 280с.
- [6] Черкашин А.К. Полисистемные исследования и развитие теоретической географии //География и природные ресурсы, №3,2007.-с. 27-37.
- [7] Lawvere F.W. , Schanuel S.H. Conceptual Mathematics. A first introduction to categories. – Cambridge: Cam. Univ. Press,1997.
- [8] Ефимов Н.В. Высшая геометрия. – 7-е изд. – М.: Физматлит, 2003. – 584 с.
- [9] Ляпунов А.А., Багриновская Г.П.О методологических вопросах математической биологии // Математическое моделирование в биологии - М. , 1975. - С.5-18.
- [10] Методологические аспекты и пути формирования теоретической биологии// Вопросы философии. - 1972. - №3. - С. 101-116.
- [11] Степин В. С. Теоретическое знание. – М.: Прогресс-Традиция, 2003. - 744 С.
- [12] Cherkashin A.K. Polysystem modelling of geographical processes and phenomena in nature and society // Mathematical modelling of natural phenomena, Vol. 4, No. 5, 2009. – p. 4-20.
- [13] Гаврилов Л.А., Гаврилова Н.С. Биология продолжительности жизни. – М.: Наука, 1991.- 280 с.
- [14] Жирмунский А.В., Кузьмин В.И. Критические уровни развития природных систем. – Л.: Наука. Ленингр. отд-ние, 1990. – 223 с.
- [15] Численко Л.Л. Структура флоры и фауны в связи с размерами организмов. – М.: Изд-во МГУ, 1981. – 208 С.
- [16] Бауэр Э.С. Теоретическая биология. - С.-Пб: ООО “Росток”, 2001. - 352 С.