



## *Из истории науки*

УДК 168.521

DOI:

10.15372/PS20180414

**Н.В. Жульева<sup>1</sup>**

### **РАЗВИТИЕ КОНЦЕПТУАЛЬНОГО БАЗИСА БИОФИЗИКИ В РОССИИ ВО ВТОРОЙ ПОЛОВИНЕ XX ВЕКА**

Статья посвящена функционированию понятий «энтропия» и «самоорганизация» в ходе развития концептуального базиса биофизики. На основе различения между «наукой переднего края», «журнальной наукой» и «наукой учебника» (Л. Флек) рассматривается развитие теоретических оснований в учебниках по биофизике Б.Н. Тарусова, М.В. Волькенштейна и А.Б. Рубина. Функционирование базисных концептов исследуется с точки зрения концепции А.И. Липкина о первичных и вторичных идеальных объектах, различение уровней смысла понятий проводится с опорой на В.С. Степина, что позволяет соотнести уровни декларации и модельной реализации. В обоих учебниках нет строгой теоретической системы. Учебник Волькенштейна имеет более «модельный» характер. Воспроизводимая в нем теоретическая схема Шредингера выполняет некоторые функции парадигмы (Т. Кун) и может быть названа протопарадигмальной. Понятие энтропии здесь – центральное, вводится на математическом уровне и используется на физическом и биологическом уровнях в связи с его натурфилософским смыслом. В учебнике Рубина явно присутствует стремление к большей теоретизации, биофизические модели основаны на понятии самоорганизации, понятие энтропии употребляется ограниченно, основной становится схема пригожинской школы неравновесной термодинамики. Различия концептуальных структур этих учебников можно трактовать как смену протопарадигмальных теоретических схем и их онтологий. Индивидуальность учебников биофизики, их теоретическая неконсистентность и проблемность свидетельствуют об отсутствии фундаментальной биофизической теории. Стремление к ее созданию связано с общей для ученых мечтой о «единой теории».

*Ключевые слова:* биофизика; термодинамика; энтропия; организация; самоорганизация; парадигма; дисциплина; Шредингер; Волькенштейн; Рубин

---

<sup>1</sup> Публикуется в авторской редакции

N.V. Zhuleva

## DEVELOPMENT OF BIOPHYSIC CONCEPTUAL BASIS IN RUSSIA IN THE SECOND HALF OF THE XX CENTURY

The article discusses the functioning of the concepts “entropy” and “self-organization” during the development of conceptual basis of biophysics. Relying on the distinction between “cutting edge science”, “journal science” and “textbook science” (L. Fleck), we consider the development of theoretical foundations in the textbooks on biophysics by B.N. Tarusov, M.V. Volkenshtein and A.B. Rubin. The functioning of basic concepts is examined on the base of A.I. Lipkin’s conception of primary and secondary ideal objects, and the distinction between levels of meaning of concepts is made building on V.S. Stepin’s ideas, which allows correlating the levels of declaration and model implementation. Both textbooks produce no strict theoretical system. Volkenshtein’s textbook is of more “model” character. It reproduces Schrodinger’s theoretical scheme which performs certain functions of a paradigm (T. Kuhn) and may be termed as protoparadigmatic. Here, the concept of entropy is central, it is introduced at the mathematical level and applied at the physical and biological levels owing to its natural philosophy sense. In Rubin’s textbook, there is an obvious tendency to a larger theorization, biophysical models are based on the concept of self-organization, the notion of entropy is used in a limited way, and the scheme of Prigogine’s school of nonequilibrium thermodynamics becomes main. The difference between conceptual structures of these textbooks may be considered as a change of protoparadigmatic theoretical schemes and their ontologies. The fact that the textbooks on biophysics differ, are theoretically inconsistent and problematic tells that there is no fundamental biophysical theory. The desire to create it is concerned with scientists’ common “dream of a unified theory”.

*Keywords:* biophysics; thermodynamics; entropy; organization; self-organization; paradigm; discipline; Schrodinger; Volkenshtein, Rubin

После работы Шредингера 1943 г. «Жизнь с точки зрения физики» формируются основания для развития собственно биофизической проблематики. Можно говорить о возникновении концептуального базиса биофизики. В опоре на это когнитивное ядро происходит разделение социальных ролей на учителей и учеников, создаются кафедры биофизики, начинают появляться учебники. Биофизика становится дисциплиной [12].

Заданная Шредингером концептуальная схема фундаментальна, но не является собственно биофизической теорией. Несколько видоизменяя исследовательский подход Т.Куна [8], мы рассматриваем ее как протопарадигмальную, так как она позволяет формально согласовать феномен жизни с классической термодинамикой, статистической физикой и квантовой механикой, но сохраняет несоответствие между стремлением к организации у биологи-

ческих объектов и стремлением к неупорядоченности физического мира. И биофизика развивается по типу прикладной дисциплины, решающей конкретные частные задачи, вроде поиска физических механизмов мембранного транспорта или фотосинтеза.

Стремление найти единые основания требует разрешения внутреннего противоречия между физикой и биологией. Так, исследования Пригожина и его последователей с 60-х гг. XX в. меняют картину взаимоотношений физики и биологии [13]. Признается, что упорядоченность и самоорганизация, определяющие специфику биологических объектов, могут быть концептуализированы методами нового раздела физики – неравновесной термодинамики. Используя это как новую протопарадигмальную теоретическую схему, биофизика стремится распространить биофизические подходы и методы, успешно применяемые «в изучении структуры и функций живой материи на молекулярном, клеточном и организменном уровне, на макроскопический уровень биосферы, включая новейшие представления о ее эволюции» [17, с. 11], расширяя тем самым свое предметное поле.

На этом пути биофизика сталкивается с проблемой принципиальной несводимости макроуровня к микроуровню. О невозможности прямого переноса классической физической модели на биологический уровень говорил еще Шредингер [20, с. 45]. А Л.А. Блюменфельд считает проблему связи генотипа (молекулярного уровня) и фенотипа (организменного уровня) нерешаемой с точки зрения современной физики [1, с. 135].

Отдельным маркером этой несводимости является различие математических средств и моделей, ведь математика задает базовый уровень онтологии [19, с. 66]. В частности, математика неравновесной термодинамики существенно отличается от математики классической термодинамики и статистической физики, что сказывается на различии онтологий и теоретических схем в биофизике<sup>2</sup>.

Установление связи между уровнями требует нахождения единых оснований. И целью оказывается построение единой фун-

---

<sup>2</sup> Проблема перехода между уровнями характерна для современной физики вообще. Так, в космологии нет прямого перехода от микроуровня (задача двух тел), к макроуровню (Солнечная система). Это доказал еще Пуанкаре при решении задачи n-тел [5, с. 39-50]. Аналогично, квантовая теория позволяет определять те феноменологические параметры, которые «классические физики могли получать только из эксперимента как подгоночные» [6, с. 22].

даментальной теории, так как «в глазах ученого мира столь разная по своим физическим и химическим структурным основам материальная Вселенная оказалась удивительно универсальной в пространственно-временных проявлениях своего развития как проточной диссипативной системы» [17, с. 10]. Так импульсом для теоретического развития оказывается мечта о единой теории, завязанная на представление о единстве мира<sup>3</sup>. Это и становится тем основанием, которое определяет общие контуры стиля мышления специалистов [18, с. 137]. «Именно физика внесла основной вклад в естественнонаучное обоснование единства мира» [7, с. 57], а биофизика призвана завершить единую теорию о мире, концептуализировать связь живого и неживого как компонентов единого мира.

Биофизика как дисциплина оформляется институционально, и выделение ее как дисциплины уже устоялось [22]. Ее становление и развитие прослеживается по учебникам, ведь именно этот тип работ предполагает иерархию «учитель – ученик». В учебниках происходит необходимое для развития концептуального базиса теоретическое обобщение, упорядочение системы понятий: «специальное знание требует для своего оформления в учебнике критического объединения в согласованной системе» [18, с. 141]. Предметом нашей статьи является «наука учебника» в случае биофизики.

Для анализа функционирования понятий и концептов в учебниках будем использовать концептуальные средства, разработанные А.И. Липкиным и В.С. Степиным. Опираясь на Липкина, будем отличать первичные идеальные объекты (ПИО), существующие как предельные идеализации, от вторичных идеальных объектов (ВИО), являющих отдельные конкретные модели [9, с. 20-21]. Следуя логике Степина [15, с. 114-127], будем различать выражение существования ПИО и ВИО в понятиях на уровнях: математики (структура математических выражений), физики (измеримая величина, обладающая физическим смыслом) и натурфилософии (осмысление, интерпретация модели с универсальными характеристиками). Обозначим их соответственно индексами  $m$ ,  $f$ ,  $n$  (например, энтропия- $m$ , энтропия- $f$ , энтропия- $n$ ). В случае биологических и биофизических теорий, в дополнение к названным уровням следует выделять био-

---

<sup>3</sup> В космологии и квантовой механике, в которых также имеется проблема несводимости уровней и, как следствие, принципиальной неполноты их фундаментальных теорий, также можно проследить стремление к единой теории, опирающейся на единую реальность [11].

логический и биофизический смыслы понятий, обозначая их индексами  $b$  и  $bf$  (напр., ПИО- $b$  и ВИО- $bf$ ). Данные средства позволяют анализировать процесс развития концептуального базиса как изменения соотношения между идеальными объектами, что может свидетельствовать о тенденции смены теоретических схем.

Рассмотрим русскоязычный сегмент биофизики.

### **Институциональное становление биофизики в аспекте создания учебных курсов**

С 1953 г. на биолого-почвенном факультете МГУ Б.Н. Тарусовым создается кафедра биофизики и начинается преподавание биофизики как самостоятельной дисциплины. С 1959 г. Л.А. Блюменфельд открывает кафедру биофизики и на физическом факультете МГУ. Но только в 1968 г. Тарусов издает первый в России учебник по биофизике [16].

Этот учебник напоминает систему биологической классификации. Он представляет собой собрание экспериментальных фактов, где отдельным феноменам и типам феноменов даны соответствующие различающие названия. Все это собрано в некоторую описательную онтологическую схему, в которой различены типы существования. Например, в главе «Кинетика биологических систем» перечисляются типы реакций, а способы их описания заданы через определение понятий вроде активированного комплекса или эквивалентности системы. Аналогично изложена и теоретическая, термодинамическая часть, в рамках которой заданы определения открытой и закрытой системы, энтропии, свободной энергии. Математический уровень используется для определений, а не для получения математических выводов. Таким образом, учебник Тарусова представляет собой замкнутую дескриптивную (не дедуктивную) систему. Как учебник он оказывается не вполне эффективным, ведь определения не дают представления о специфике исследования.

Следующим этапом является публикация монографии М.В. Волькенштейна в 2-х томах: «Молекулярная биофизика» (1975 г.) и «Общая биофизика» (1978 г.), которые затем перерабатываются автором в учебное пособие «Биофизика» (1981 и 1988 гг. издания). А в 1999 г. заведующий кафедрой биофизики биологического факультета (с 1976 г.) А.Б. Рубин издает новый учебник, который включает в себя новые теоретические и экспериментальные разра-

ботки. Но работы Волькенштейна до сих пор являются наиболее употребительными и каноническими.

### **Понятия энтропии и самоорганизации в составе концептуального базиса биофизики в работах М.В. Волькенштейна**

Обратимся к монографии М.В. Волькенштейна («Молекулярная биофизика» 1975 г. и «Общая биофизика» 1978 г.). Она была переработана автором в учебное пособие «Биофизика», выдержавшее два издания (1981 г. и 1988 г.). В пособии совмещены два тома монографии, сокращен объем, но сохранены последовательность изложения материала и, в большинстве случаев, названия глав [2]. При едином стиле написания монография более развернута. В целях установления моментов становления концептуального базиса биофизики обратимся к монографии.

Первый том «Молекулярная биофизика» содержит вводную первую главу, посвященную общим вопросам взаимодействия физики и биологии. Остальные главы посвящены разным функционально-структурным молекулярным частям клетки: белкам, ферментам, нуклеиновым кислотам и пр. Второй том «Общая биофизика» посвящен биофизике клетки и сложных систем и содержит главы, посвященные биофизике мембран, нервному импульсу, фотосинтезу и т.д. Во второй главе излагается теоретическая подложка – термодинамика неравновесных систем. Последняя глава посвящена проблеме развития и эволюции, что в очередной раз показывает наличие мечты о единой теории.

Расположение глав свидетельствует о равном весе таких проблем как физика белка, биофизика мембран и неравновесная термодинамика. Структура монографии задает ряд вопросов, вокруг которых концентрируются биофизические исследования, и не представляет собой замкнутую дедуктивную систему, на которую обычно нацелена наука учебника [18, с. 143].

В первом томе молекулярный уровень определен как базовый для биофизики, на нем основаны единство мира и сама возможность построения биофизики, так как «тела неживой и живой природы равно построены из атомов и молекул» [3, с. 11]. Молекулярная биофизика основывается на разработанных разделах – на физике биополимеров и биохимии. При этом ее базисные теоретические

объекты суть понятия, концептуально развитые на уровне химии. Они еще не имеют биофизической специфики.

Любая глава второго тома «Общая биофизика» излагается «модельным», а не дедуктивным образом. К примеру, глава «Мембранный транспорт» начинается с биологического уровня описания: что такое мембрана, какова ее роль в жизни клетки. Далее следует констатация биофизической проблемы: «Изучение мембран – одна из центральных проблем биофизики. Раскрытие структуры и функциональности мембран позволит решить комплекс основных задач биофизики, относящихся к поведению клеток и организмов как открытых систем (транспорт вещества), к биоэнергетике, регуляции биосинтетических и структурообразующих процессов, к действию ферментных систем, к механохимии» [4, с. 98]. Целью становится построение феноменологической теории исследуемого явления как «раскрытие молекулярной природы пассивного и активного транспорта и функциональности строения мембраны, определяющей транспорт» [4, с. 99].

Далее рассматриваются различные физико-химические модели исследуемого явления, они сравниваются между собой и оцениваются на адекватность данным экспериментов. Например, модель пассивного транспорта оказывается более адекватной, если в качестве переменных величин берется не разность химических потенциалов, а разность давлений и осмотических давлений – модель физической химии. Но те же величины недостаточны для моделирования явления активного транспорта (вроде натриевого насоса), для которого более адекватной будет модель с «переносчиком», который выполняет искомую функцию за счет системы химических реакций – химическая модель.

В основе любой модели действует некоторая аналогия между объектами биологии (клетка и организм) и объектами физики (вещество и поле). В сущности, эта аналогия и является редукцией к физике. Но живой организм нельзя представить как однородную статистическую систему. Живой организм явно неоднороден, в нем огромную роль будут играть малые группы атомов и характер взаимодействия между элементами. На основе общей теорией систем и неравновесной термодинамикой строится аналогия между живым организмом и открытой химической системой – химической машиной, «функционирующей в результате протекания химических реакций и переноса вещества между клеткой и окружающей средой»

[4, с. 67]. Это можно считать приготовлением биофизического объекта [9, с. 21]. Выбор модели определяется прагматически: через успешность в описании, объяснении и предсказании по отношению к исследуемому явлению: «Сравнение с опытом дает возможность выбора модели» [4, с. 130]. Например, кинетические модели, использующие математический уровень в виде системы дифференциальных уравнений, применяются тогда, когда термодинамические модели не оказываются эвристичными.

«Модельный» характер изложения характеризует биофизику как развивающийся раздел науки без фундаментальной теории. Усвоение типичных задач и типичных решений в рамках конкретных моделей позволяет определить предметное поле биофизического исследования, что свидетельствует о наличии протопарадигмальных структур.

Понятие энтропии вводится во введении в «Молекулярной биологии» как понятие теоретической схемы Шредингера [3, с. 16], далее кратко задается его математический и физический смысл [3, с. 22-29]. Более подробно этот вопрос рассмотрен в «Общей биофизике», где энтропия вводится сразу после начала разговора о термодинамике и задается математически: «Изменение энтропии в открытой системе складывается из продукции энтропии внутри системы  $d_i S$  и из потока энтропии  $d_e S$ , т.е. из выделения энтропии в окружающую среду и поступления энтропии в систему из окружающей среды» [4, с. 51]. Введение символического выражения энтропии и производных величин позволяет вести дальнейшее рассуждение на математическом уровне. Энтропия используется как энтропия- $m$ , как ПИО – базовое понятие для термодинамики и, следовательно, для биофизики. Но в том классе задач, где объектом выступает вещество как механическая система очень большого числа независимых частиц, энтропия используется как ВИО, как действующая физическая величина, энтропия- $f$ . При этом она не может быть измерена непосредственно. Являясь функцией температуры или статистической величиной термодинамической вероятности, она обладает «производным» физическим смыслом [4, с. 90]. Это настолько устоялось, что величину принято называть физической, пропуская скачок к натурфилософскому уровню. Хотя Волькенштейн сохраняет за энтропией ее натурфилософский смысл меры беспорядка [4, с. 83], уровень энтропии- $n$ , но практически не производит рассуждений на этом уровне, хотя часто подразумевает его.



По отношению к биологическому объекту мы не можем считать энтропию классическими способами через температуру или вероятность: «Мейкснер утверждает, однако, что однозначное определение энтропии для неравновесных процессов на основе макроскопического рассмотрения невозможно» [4, с. 90]. Остается вариант подсчета энтропии через количество информации. Но, несмотря на неоднократные попытки оценки количества информации в клетке, в геноме и т.д., эти подсчеты недостаточно конкретны и не имеют прямого отношения к организации и упорядоченности живых систем. Так, энтропия- $F$  при переходе к биологическому уровню недоопределена.

С целью разрешения этой проблемы вводится понятие «ценность информации», которое «определяется результатами рецепции этого сообщения некоторой системой» [4, с. 514]. Если информация позволяет перейти рецепторной системе из неустойчивого в одно из устойчивых состояний, то эта информация обладает ценностью. Ценность информации предполагает принципиальную взаимосвязь элементов системы и потому несет в себе организующий смысл. На основе этого понятия строится ряд моделей, касающихся биологической эволюции (М. Эйген, Х. Кун) или биофизики клетки (Е.А. Либерман). Ценность информации вводится как ПИО, но обозначает скорее границы термодинамики, чем новую рабочую концептуальную схему: «термодинамика оказывается недостаточной с того момента, когда для процесса становится существенным не количество, но ценность информации» [4, с. 521].

Понятие самоорганизации употребляется исключительно в последней главе «Проблемы развития» в контекстах, аналогичных следующим: «В работах Фокса экспериментально исследовалась самоорганизация в полипептидных цепях» [4, с. 481] или «сходные проблемы фигурируют и в теории биологической эволюции – самоорганизация клеток и многоклеточных организмов и необходимое их эволюционное развитие в результате естественного отбора» [4, с. 484]. Самоорганизация не несет в себе функций ПИО или ВИО, является исключительно термином, описывающим характер процесса.

Концептуальный базис биофизики 70-х гг. воспроизводит теоретическую схему Шредингера: «развитие организма ... оплачивается возрастанием энтропии в окружающей среде», что признается «безусловно правильным» [4, с. 91]. В данной схеме энтропия играет роль ПИО, постулируется отсутствие «противоречия между

существованием и развитием жизни и вторым началом термодинамики» [4, с. 521]. Неравновесная термодинамика Пригожина и его школы полноценно входят в концептуальный базис, но не меняют устоявшуюся теоретическую схему. Но обсуждаемые проблемы ограниченности термодинамического подхода, введения понятия ценности информации создают теоретическую «напряженность» вокруг понятия энтропии. Нерешенность проблемы развития демонстрирует и неполноту теории, и мечту о построении единой полной теории, что предполагает дальнейшее развитие концептуального базиса биофизики.

### **Понятия энтропии и самоорганизации в составе концептуального базиса биофизики в учебнике А.Б. Рубина.**

Исследования в области биофизики, намеченные в рамках теоретической схемы Шредингера, но ориентированные в сторону новой тенденции (как у Волькенштейна), в течение десятилетия приводят к созданию в 1999 г. нового учебника, написанного А.Б. Рубиным.

Само построение данного учебника свидетельствует о стремлении к полноте концептуального базиса биофизики. Автор стремится оформить «последовательное изложение основ биофизики как самостоятельной науки, имеющей свой предмет и методы исследования, собственную теоретическую базу и области приложения» [14, с. 5], уходя от характерной для Волькенштейна проблемности изложения в сторону обобщенного описания явлений.

Для этого текста характерны обобщающие утверждения вроде: «Белковые глобулы претерпевают переходы типа порядок – беспорядок и в этом смысле напоминают фазовые переходы первого рода» [14, с. 178]. Рассуждения идут не о конкретных моделях некоего явления, которые можно оценивать на адекватность, а в установке на теорию явлений, которую можно было бы оценить на истинность. Это заметно в утверждениях о возможности каких-то явлений – «явление возможно», «можно наблюдать следующие эффекты» – без привязки к конкретным экспериментам или исследованиям. При этом в большинстве случаев отсутствует «приготовление объекта» через конкретную схему характерных величин. Так, описание состояния характеризуется в примечании набором «реально измеряемых параметров, характеризующих определенные свой-

ства организма (например, размеры, вес тела или отдельных органов)» [14, с. 164]. Использование термодинамики как базовой физической области по отношению к биофизике обосновывается тем, что трансформация энергии в процессах метаболизма является одним из важнейших свойств живых систем [14, с. 116].

Характер употребления понятий «самоорганизация» и «энтропия» также меняется. Понятие самоорганизации употребляется намного чаще, чем в учебнике Волькенштейна. Уже во введении утверждается, что различные «стороны самоорганизации биологических систем в пространстве и времени» отражены в определенных «базовых моделях» [14, с. 10]. Принципы самоорганизации в отношении к открытым динамическим системам вводятся посредством дифференциальных уравнений. То, что у Волькенштейна фигурировало в качестве определенной модели неравновесной термодинамики, созданной Пригожинской школой и удобной для описания открытых систем, переходит на теоретический уровень «как общие принципы процессов самоорганизации в живых системах» [14, с. 20]. При таком подходе понятие самоорганизации переходит в разряд ПИО как базовых понятий для данной области знания.

К примеру, в главе, названной «Процессы самоорганизации в распределенных биологических системах», изложены основы теории неравновесной термодинамики, а понятие самоорганизации употребляется мало, в форме замечаний на полях. Такая форма референции свидетельствует о натурфилософском уровне – это самоорганизация-п. Употребление понятия не переходит на уровень математического символизма – еще нет самоорганизации-т, так как нет собственного математического выражения самоорганизации, хотя в неравновесная термодинамика основана на использовании дифференциальных уравнений в качестве математических средств представления. Но самоорганизация не становится и величиной с физическим смыслом: ее нельзя измерить в эксперименте – и нет самоорганизации-ф. Таким образом, ПИО «самоорганизация» не переходит в ВИО. Самоорганизация употребляется как обозначение тенденции, обозначающей определенный класс процессов, происходящих в биологических системах. Эта тенденция задана через обобщение ряда конкретных процессов, таких как автоволновые процессы, процессы дифференциации тканей и других. Это только подтверждает функционирование самоорганизации как самоорганизации-п.

Уже после неоднократного употребления понятия самоорганизации происходит введение понятия энтропии: «согласно второму закону термодинамики вводят величину, называемую энтропией, которая в изолированной системе всегда возрастает при достижении равновесия до своего максимального значения» [14, с. 118]. Энтропия употребляется как ПИО, но сразу оценивается ограниченность понятия энтропии по отношению к биологическим объектам: «в открытой системе в равновесном состоянии не происходит никаких направленных процессов, кроме случайных флуктуаций около положения равновесия, что равносильно прекращению существования биологической системы» [14, с. 118]. С помощью энтропии нельзя описать те процессы, которые являются существенными для открытой системы – процессов самоорганизации: «неравновесные кинетические системы построены по принципу химических машин, так что для них понятие энтропии в отличие от равновесных систем не имеет решающего значения для предсказания поведения во времени» [14, с. 145]. Таким образом, энтропия вводится как энтропия- $f$  – ВИО. Но физический смысл энтропии неразрывно связан с его натурфилософским смыслом – с энтропией- $n$ , за счет которой состояние термодинамического равновесия связывается с состоянием смерти. Это тот же уровень, на котором употребляется и самоорганизация- $n$ . Характерно, что понятия информации, количества информации и ценности информации употребляются мимоходом, как дополнение к рассуждениям об энтропии. [14, с. 159-165].

Переход на математический уровень идет через введение математического символизма: употребления математических формул, в состав которых входит энтропия как особая величина, обозначаемая  $S$ . Математическое представление употребляется нечасто, при выводе некоторых частных случаев и/или как формализация рассуждений вроде: «скорость возникновения энтропии в открытой системе при постоянных температуре и давлении пропорциональна скорости уменьшения ее термодинамического потенциала» [14, с. 126]. Но в изложении Рубина энтропия- $m$  скорее подразумевается, чем активно используется. Видна тенденция к созданию физического и биологического смыслов на основе математических построений. Здесь проявляется стремление к теоретической полноте концептуального базиса, приводящее автора к натурфилософскому уровню рассуждений. Заметим, что натурфилософский стиль подачи материала оказывается сложным для восприятия учащихся, кото-

рым необходимо освоить исследовательские подходы через типичные задачи и типичные решения.

На этом этапе развития биофизики как дисциплины, во-первых, переходы между различными уровнями изложения и функционирования понятий энтропии и самоорганизации еще не построены теоретически. Во-вторых, наблюдается изменение протопарадигмальной теоретической схемы. Происходит переход от воспроизведенной в учебнике Волькенштейна схемы с отрицательной энтропией Шредингера – к схеме Пригожинской школы неравновесной термодинамики с самоорганизацией. Это выражается и в стиле изложения, в частоте употребления понятия самоорганизации, и в отсутствии прямой отсылки к теоретической схеме Шредингера.

Можно констатировать, что понятие энтропии продолжает играть важную роль для биофизики, которая опирается при этом на наличие как энтропии- $m$ , так и энтропии- $f$  (пусть и недоопределенной). Это делает энтропию более «подручным» научным понятием в процессе концептуализации организации, чем понятие самоорганизации, употребляемой только как самоорганизация- $n$ : «Одна из тенденций в использовании физических понятий энтропии и информации в биологии включает развитие с их помощью теоретических представлений о «порядке» и «организации» биологических систем» [14, с. 164]. Но в целом проблема концептуализации организации остается открытой.

### **Заключение**

Развитие концептуального базиса биофизики во второй половине XX в. прослеживается в изменениях концептуальных структур учебников. Красной нитью через них проходит идея точного и единого естествознания, стремление к единой фундаментальной теории: «Современная физика – единая наука о строении и свойствах вещества и полей, о строении и свойствах материи – должна служить теоретической основой любых областей естествознания» [4, с. 7]. Только на основании этой мечты о единой теории можно объяснить неудовлетворенность теоретической схемой, использующей понятие энтропии, вечные попытки перейти на уровень биосферы, объяснить происхождение жизни и эволюцию, зачастую переход на натурфилософский уровень изложения, заметный в исследуемых учебниках Волькенштейна и Рубина: «Либо будет найдено научное

истолкование онтогенеза и филогенеза на основе общих свойств **вещества и поля**, либо мы должны вернуться к витализму, к представлениям о «жизненной силе», о «высшем разуме», непознаваемом средствами точного и единого естествознания» [4, с. 476].

Данные учебники далеки от идеального замкнутого образа учебника, остаются индивидуальными, авторскими, что приближает их по стилю к журнальной науке притом, что обычно между этими уровнями существования науки наблюдается заметная дистанция, и учебники всегда отстают от науки переднего края [18, с. 147]. Учебники представляют собой максимально устойчивые формы фиксации знания, но неустойчивость учебников биофизики свидетельствует о динамично развивающемся разделе науки. Ее концептуальный базис далек от полноты в логическом смысле слова: «модельная теория имеет пока фрагментарный характер, не установлены внутренние связи между рядом направлений исследования» [4, с. 159].

Становление и развитие концептуального базиса биофизики неразрывно связано с функционированием понятий «энтропия» и «самоорганизация», что видно при сравнении концептуального строения учебников по биофизике. В учебнике Волькенштейна протопарадигмальную роль играет концептуальная схема Шредингера. Понятие энтропии в ней играет центральную роль, оно вводится на математическом уровне и используется как ПИО для физического и биологического уровней, при предположении натурфилософского смысла.

Но недоопределенность физического смысла энтропии статистических систем при переходе в область динамических систем дает основания для новой аналогии. Изначально производная величина переносится на другую область не на основе четкой физической модели, а через ряд слабо связанных друг с другом уравнений. Энтропия переносится с одной области на другую под натурфилософским флером: она является мерой беспорядка (энтропия-п), а, значит, решение любого вопроса организации необходимо должно ее включать.

Проблемность физического и биологического смысла энтропии прослеживается и в признании ограниченности термодинамического подхода для живых систем и введении понятия ценности информации. Отсутствие прямых способов подсчета энтропии в физике становится реальной проблемой в биологии: чтобы посчитать

энтропию системы, мы должны создавать эту систему, а мы не умеем создавать живой организм [21, с. 264-265].

Неравновесная термодинамика формально вписывается в теоретическую схему Шредингера, но ее использование и проблематизация энтропии свидетельствует о тенденции к изменению существующей теоретической ситуации.

В учебнике Рубина соотношение понятий энтропии и самоорганизации меняется. Активно используется понятие самоорганизации, оно становится базовым идеальным объектом. Энтропия употребляется ограниченно, больше на математическом уровне, который, однако, практически не раскрывается. Натурфилософский стиль учебника закрепляет смену теоретической схемы. Теперь протопарадигмальную роль играет концептуальная схема Пригожинской школы неравновесной термодинамики, которая использует качественный метод решения дифференциальных уравнений, несводимый к методам классической термодинамики. Использование новой математики для построения моделей являет смену онтологий теоретических моделей биофизики. В новой онтологии физика и биология не противоречат друг другу, биологическая специфика основывается на физических законах организации открытых систем.

Работа Э.Шредингера «Жизнь с точки зрения физики» завершила становление концептуального базиса биофизики, начатое в работах Р. Клаузиуса, Л. Больцмана, Н.А. Умова, Н.К. Кольцова, Н.В. Тимофеева-Ресовского и др. На этом этапе был сформирован минимально необходимый для концептуального базиса каркас понятий и понятийных схем, объяснительных принципов. Термодинамика выбирается как базовый для биофизики раздел физики, а понятия энтропии и организации задают условия построения базовых идеальных объектов биофизики. Вырабатывается формальная схема соотношения физики и биологии, позволяющая проводить биофизические исследования.

Дальнейшее развитие биофизики происходит уже в рамках научной и учебной дисциплины (Л.А. Блюменфельд, С.Э. Шноль, А.Б. Рубин, В.А. Твердислов и др.) Противоречивость концептуального базиса на основе теоретической схемы Шредингера начинает разрешаться на основе неравновесной термодинамики с кинетическими моделями и качественным методом решения дифференциальных уравнений. Намечается тенденция смены теоретической схемы, основанной на понятии энтропии, схемой, основанной на

понятии самоорганизации, разработанной Пригожинской школы. Новая онтология воспроизводится на уровне журнальной науки уже в XXI в. (В.А. Твердислов, А.Э. Сидорова и др.) Мечта о единой теории ведет биофизику к новым этапам физической концептуализации биологической специфики [10, с. 13-21].

## Литература

1. *Блюменфельд Л.А.* Решаемые и нерешаемые проблемы биологической физики. – М.: Едиториал УРСС, 2002. – 160 с.
2. *Волькенштейн М.В.* Биофизика. – М.: Наука, 1988. – 592 с.
3. *Волькенштейн М.В.* Молекулярная биофизика. – М.: Наука, 1975. – 616 с.
4. *Волькенштейн М.В.* Общая биофизика. – М.: Наука, 1978. – 592 с.
5. *Диаку Ф., Холмс Ф.* Небесные встречи: Истоки хаоса и устойчивости / Пер. с англ. Н.А. Зубченко. – Москва; Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2004. – 304 с.
6. *Иванов М.Г.* Как понимать квантовую механику. – Москва; Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2012. – 516 с.
7. *Карпинская Р.С.* Биология и мировоззрение. – М.: Мысль, 1980. – 207 с.
8. *Кун Т.* Структура научных революций / Пер. с англ. И.З. Налетова. – М.: Прогресс, 1977. – 300 с.
9. *Липкин А.И.* Основания физики: Взгляд из теоретической физики. – М.: Ленанд, 2014. – 208 с.
10. *Мирзоян Э.Н.* Этюды по истории теоретической биологии. – М.: Наука, 2006. – 371 с.
11. *Мудрагей Н.С.* Теория всего и теория познания (онто-гносеологические заметки) // Вопросы философии. – 2011. – № 6. – С. 82–92.
12. *Огурцов А.П.* Дисциплинарная структура науки. Ее генезис и обоснование. – М.: Наука, 1988. – 256 с.
13. *Пригожин И., Стенгерс И.* Порядок из хаоса: Новый диалог человека с природой / Пер. с англ. Ю.А. Данилова. – М.: Едиториал УРСС, 2014. – 304 с.
14. *Рубин А.Б.* Биофизика. – М.: КДУ, 1999. – Т. 1. – 448 с.
15. *Степин В.С.* Теоретическое знание. – М.: Прогресс-Традиция, 2003. – 744 с.
16. *Тарусов Б.Н.* Биофизика. – М.: Высшая школа, 1968. – 467 с.
17. *Твердислов В.А., Сидорова А.Э., Яковенко Л.В.* Биофизическая экология. – М.: КРАСАНД, 2012. – 544 с.
18. *Флек Л.* Возникновение и развитие научного факта: Введение в теорию стиля мышления и мыслительного коллектива / Пер. с англ. В.Н. Поруса. – М.: Идея-Пресс; Дом интеллектуальной книги, 1999. – 220 с.
19. *Чусов А.В.* Об изменении онтологии понимания пространства в XIX веке // Вестник Московского университета. Сер. 7: Философия. – 2010. – № 4. – С. 64–74.
20. *Шредингер Э.* Что такое жизнь с точки зрения физики? / Пер. с англ. А.А. Малиновского. – М.: РИМИС, 2009. – 176 с.
21. *Шамбадаль П.* Развитие и приложения понятия энтропии / Пер. с фр. В.Т. Хозяинова. – М.: Наука, 1967. – 279 с.



22. *Biophysics* // Encyclopedia Britannica. – URL: <https://www.britannica.com/science/biophysics> (дата обращения: 23.08.2018).

## References

1. *Blyumenfeld, L.A.* (2002). Reshaemye i nerreshaemye problemy biologicheskoy fiziki [Solvable and Unsolvable Problems of Biological Physics]. Moscow, Editorial URSS Publ., 160.
2. *Volkenshtein, M.V.* (1988). Biofizika [Biophysics]. Moscow, Nauka Publ., 592.
3. *Volkenstein, M.V.* (1975). Molekulyarnaya biofizika [Molecular Biophysics]. Moscow, Nauka Publ., 616.
4. *Volkenshtein, M.V.* (1978). Obshchaya biofizika [General Biophysics]. Moscow, Nauka Publ., 592.
5. *Diacu, F. & P. Holmes.* (2004). Nebesnye vstrechi: Istoki khaosa i ustoychivosti [Celestial Encounters: The Origins of Chaos and Stability]. Transl. by N.A. Zubchenko. Moscow & Izhevsk, Regulyarnaya i Khaoticheskaya Dinamika Publ., 304. (In Russ.).
6. *Ivanov, M.G.* (2012). Kak ponimat kvantovuyu mekhaniku [How to Understand Quantum Mechanics]. Moscow & Izhevsk, Regulyarnaya i Khaoticheskaya Dinamika Publ., 516.
7. *Karpinskaya, R.S.* (1980). Biologiya i mirovozzrenie [Biology and Worldview]. Moscow, Mysl Publ., 207.
8. *Kuhn, T.* (1977). Struktura nauchnykh revolutsiy [The Structure of Scientific Revolutions]. Moscow, Progress Publ., 300. (In Russ.).
9. *Lipkin, A.I.* (2014). Osnovaniya fiziki: Vzglyad iz teoreticheskoy fiziki [Foundations of Physics: Theoretical Physics View]. Moscow, Lenand Publ., 208.
10. *Mirzoyan, E.N.* (2006). Etyudy po istorii teoreticheskoy biologii [Studies in the History of Theoretical Biology]. Moscow, Nauka Publ., 371.
11. *Mudragey, N.S.* (2011). Teoriya vsego i teoriya poznaniya (ontognoseologicheskie zametki) [The theory of everything and the theory of knowledge (ontognoseological notes)]. Voprosy filosofii [Problems of Philosophy], 6, 82–92.
12. *Ogurtsov, A.P.* (1988). Distsiplinarnaya struktura nauki. Ee genesis i obosnovanie [Disciplinary Structure of Science. Its Genesis and Justification]. Moscow, Nauka Publ., 256.
13. *Prigogine, I. & I. Stengers.* (2014). Poryadok iz khaosa: Novyy dialog cheloveka s prirodoy [Order Out of Chaos: Man's New Dialogue with Nature]. Transl. by Yu.A. Danilov. Moscow, Editorial URSS Publ., 304. (In Russ.).
14. *Rubin, A.B.* (1999). Biofizika [Biophysics], Vol. 1. Moscow, KDU Publ., 448.
15. *Stepin, V.S.* (2003). Teoreticheskoe znanie [Theoretical Knowledge]. Moscow, Progress-Traditsiya Publ., 744.
16. *Tarusov, B.N.* (1968). Biofizika [Biophysics]. Moscow, Vysshaya Shkola Publ., 467.
17. *Tverdislov, V.A., A.E. Sidorova & L.V. Yakovenko.* (2012). Biofizicheskaya ekologiya [Biophysical Ecology]. Moscow, KRASAND Publ., 544.
18. *Fleck, L.* (1999). Vozniknovenie i razvitie nauchnogo fakta: Vvedenie v

teoriyu stilya myshleniya i myslitelnogo kolektiva [Genesis and Development of a Scientific Fact: An Introduction to the Theory of Thought Styles and Thought Collectives]. Transl. by V.N. Porus. Moscow., Ideya-Press Publ. & Dom Intellekualnoy Knigi Publ., 220. (In Russ.).

19. *Chusov, A.V.* (2010). Ob izmenenii ontologii ponimaniya prostranstva v XIX veke [On the change of the conception of space in the XIX century]. *Vestnik Moskovskogo universiteta. Ser. 7: Filosofiya* [Bulletin of Moscow University. Series 7: Philosophy], 4, 64–74.

20. *Schrodinger, E.* (2009). Chto takoe zhizn s tochki zreniya fiziki? [What is Life in Terms of Physics?]. Transl. by A.A. Malinovsky. Moscow, RIMIS Publ., 176. (In Russ.).

21. *Chambadal, P.* (1967). Razvitie i prilozheniya ponyatiya entropii [Evolution and Application of the Concept of Entropy]. Transl. by V.T. Khozainov. Moscow, Nauka Publ., 279. (In Russ.).

22. *Biophysics*. In: Encyclopedia Britannica. Available at: <https://www.britannica.com/science/biophysics> (date of access: 23.08.2018).

### **Информация об авторе**

*Жульева Нина Викторовна* – аспирант кафедры философии и методологии науки, старший преподаватель Центра дополнительного образования философского факультета. Московский государственный университет им. М.В.Ломоносова (119234, Москва, Ленинские горы, МГУ, учебно-научный корпус «Шуваловский», e-mail: [nina\\_rossia\\_mir@list.ru](mailto:nina_rossia_mir@list.ru)).

### **Information about the author**

*Zhuleva, Nina Viktorovna* – Postgraduate Student at the Chair of Philosophy and Methodology of Science, Senior Lecturer at the Center of Supplementary Education, Department of Philosophy. M.V. Lomonosov Moscow State University (MSU, Leninskie Gory, Moscow, 119234, Russia, e-mail: [nina\\_rossia\\_mir@list.ru](mailto:nina_rossia_mir@list.ru)).

Дата поступления 06.08.2018