

Роль межтеоретических связей в системе наук (на примере применения информационного подхода к теории эволюции)

А. Ю. Сторожук✉

Институт философии и права Сибирского отделения РАН, Новосибирск, Россия

✉ stor71@mail.ru

Введение. Рассматривается процесс межтеоретического заимствования концептуального аппарата на примере переноса терминологии теории информации и термодинамики в область теории эволюции. Анализируются вопросы оснований для подобного заимствования, его обоснованность и эпистемологическая оправданность.

Методология и источники. Методологически работа базируется на логическом анализе первоисточников и исследовательской литературы, а также на применении философской рефлексии.

Результаты и обсуждение. Показано, что концептуальный перенос является видом эвристики, позволяющей продвинуться в понимании проблем, изначально не разрешимых в рамках отдельной дисциплины. Переформулировка научных задач на другом языке позволяет объяснить особенности ряда явлений и лучше понять их механизмы. Концептуальный перенос в ходе межтеоретического заимствования не является полным: некоторые понятия не находят прямой аналогии, другие меняют свой первоначальный смысл и имеют ограниченную область применения. Недостатком концептуального заимствования является теоретическая слабость его основ, поскольку их часто составляют неформализованные методы научного познания, такие как аналогия, моделирование и т. п.

Заключение. В случае стагнации зрелой научной теории концептуальное заимствование способно поставить новые проблемы и дать новые методологические подходы, что служит новым стимулом развития сложившейся теории.

Ключевые слова: информационный подход в биологии, межтеоретические связи, парадигма, контекст открытия.

Для цитирования: Сторожук А. Ю. Роль межтеоретических связей в системе наук (на примере применения информационного подхода к теории эволюции) // ДИСКУРС. 2019. Т. 5, № 5. С. 20–27. DOI: 10.32603/2412-8562-2019-5-5-20-27

Конфликт интересов. О конфликте интересов, связанном с данной публикацией, не сообщалось.

Поступила 14.06.2019; принята после рецензирования 16.09.2019; опубликована онлайн 25.11.2019

The Role of Intertheoretical Connections in the System of Sciences (by the Example of Applying the Information Approach to the Theory of Evolution)

Anna Yu. Storozhuk✉

Institute of Philosophy and Law of the Siberian Branch of the RAS, Novosibirsk, Russia

✉ stor71@mail.ru

Introduction. The process of intertheoretical adaptation of the conceptual apparatus is considered on the example of transferring the terminology of information theory and

© Сторожук А. Ю., 2019

Контент доступен по лицензии Creative Commons Attribution 4.0 License.

This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 License.



thermodynamics to the field of evolution theory. The author analyzes the grounds for such adaptation, its validity and epistemological justification.

Methodology and sources. Methodologically, the work is based on a logical analysis of primary sources and research literature, as well as on the application of philosophical reflection.

Results and discussion. The paper shows that conceptual transfer is a type of heuristic that allows one to advance in understanding problems that are not initially solvable within a separate discipline. Reformulation of scientific problems in another language allows us to explain the features of a number of phenomena and better understand their mechanisms.

The conceptual transference in the course of intertheoretic adaptation is not complete: some concepts do not find a direct analogy, others change their original meaning and have a limited scope. The disadvantage of conceptual adaptation is the insufficient validity of its foundations, since it is often based on informal methods of scientific knowledge, such as analogy, modeling, etc.

Conclusion. In the case of stagnation of a mature scientific theory, conceptual can pose new problems and give new methodological approaches, which serves as a new incentive for the development of the established theory

Key words: informational approach in biology, intertheoretical connections, paradigm, context of discovery.

For citation: Storozhuk A. Yu. The Role of Intertheoretical Connections in the System of Sciences (by the Example of Applying the Information Approach to the Theory of Evolution). DISCOURSE. 2019. vol. 5, no. 5, pp. 20–27. DOI: 10.32603/2412-8562-2019-5-5-20-27 (Russia).

Conflict of interest. No conflicts of interest related to this publication were reported.

Received 14.06.2019; adopted after review 16.09.2019; published online 25.11.2019

Введение. Традиционно в философии науки принято рассматривать отдельную научную теорию как изолированный самодостаточный объект, развивающийся либо согласно внутренней логике (интернализм [1]), либо под влиянием социальных факторов (экстернализм [2]). Однако ни тот, ни другой подходы не учитывают сложившихся в науке межтеоретических связей, из-за чего некоторые важные аспекты развития науки оказываются упущенными.

В частности, к таким аспектам относится аспект открытия, на который мало обращают внимания, считая его недостаточно формализованным. Заметим, что открытие нового выглядит случайным, только если не принимать во внимание интеллектуальное окружение теории, часто являющееся донором новых идей. Если учитывать межтеоретические связи, то возникают новые вопросы: как взаимодействуют теории? какими способами переносится знание от теории к теории? с какой целью ученые пытаются переинтерпретировать свою теорию в новых терминах? как возможен перенос концептуального аппарата в свете учения Фейерабенда о несоизмеримости значений? как происходит рецепция новых понятий в сложившуюся систему представлений? насколько методологически оправдан подобный прием? какие результаты дает подобное заимствование?

Методология и источники. Новый подход к старому. Сосредоточимся на рассмотрении переноса концептуального аппарата информационного подхода в теорию эволюции. На этом примере постараемся проследить взаимодействие старых и новых понятий и формирование новой объединенной нормативной системы. Также важной задачей является выделение факторов, обеспечивающих применимость информационного подхода в новой области.

Согласно общепринятым взглядам научная теория проходит в начале своего пути этап быстрого роста, разработку основных принципов, после чего ее развитие замедляется, а решаемые задачи делаются не столь масштабными. Эти представления соответствуют идеям Т. Куна [3] о допарадигмальном периоде и этапе зрелой парадигмы, когда исследователи решают задачи-головоломки, не стремясь сделать новые открытия. Согласно парадигмальному подходу сложившаяся теория не формулирует принципиально новых задач, несмотря на существование открытых проблем. Получается, что сравнительно короткий период бурного роста научной теории сменяется продолжительным периодом стагнации.

Что в этом случае может дать заимствование нового концептуального аппарата из другой области? Рассмотрим заимствование как новых идей, так и методологии. К последней могут быть отнесены аналогия, моделирование и прочие плохо формализованные методы, которые принято относить к «контексту открытия». Поскольку процесс открытия новых идей слабо изучен в виду своей неформализованности, эта тема заслуживает более пристального внимания.

Что касается заимствования новых идей, то перенос из других областей часто осуществляется интуитивно, по аналогии, и позволяет зрелым теориям заимствовать новую терминологию и переформулировать нерешенные проблемы на новом языке. Появляется новый стимул для развития стагнирующей теории, так как новый язык позволяет формулировать новые проблемы. К тому же часто новые понятия являются нечеткими, недоопределенными, смысл, приписанный им в новой области, не совпадает с исходным. Более того, не всем понятиям области-донора можно найти прямую аналогию в области-акцепторе. Сама по себе недоопределенность языка и методологии также является стимулом для углубленной разработки теории.

Информационный подход к теории эволюции. Эволюционная теория со времен Дарвина развивалась в рамках биологии. Новыми этапами ее развития были открытие генетики, позволившей на химическом уровне описать законы Менделя и случаи, когда они не выполняются; и нейтралистская теория Кимуры [4], переоценившая отношения между естественным отбором и изменчивостью. Уже в XX в. появляются попытки рассматривать генетическую информацию в более широком смысле, как один из многих видов информации, и развить кибернетические представления об управлении и связи. В конце XX в. появляются попытки интерпретировать генетическую информацию термодинамически, на языке, подчеркивающим ее связь с энтропией [5]. Исходными пунктами обоснования применимости информационного подхода служат очевидное понимание организма как открытой неравновесной системы и важность понятия энтропии для объяснения как функционирования организма, так и принципов его работы.

Из теории измерений известна связь между энтропией и информацией [6]. Энтропия связывает информацию с актуальным состоянием системы. Однако для применения теории информации к биологии требуется расширить понятия энтропии так, чтобы оно включало возможность применения к физическим системам. В то же время классическое понятие информации по Шенону [7] является чисто синтаксической моделью коммуникации. Кроме того, оно не отражает внутреннего состояния системы. «Нефизичность» определения Шенона следует из того, что оно допускает убывание энтропии, а это противоречит второму началу термодинамики.

Физическая информационная система содержит скрытую сохраняемую информацию, чьи свойства зависят только от внутренних свойств системы. Другим видом информации является граничная информация, проявляющаяся при измерениях системы. Суммарная информация системы определяется как сумма информационных вкладов всех ее элементов.

Основоположники информационного подхода в теории эволюции Брукс и Вилей [8] предложили по аналогии рассматривать два вида информации в биологических системах. Соответственно ими была выделена информация воплощенная (*canalized* – воплощенная в структуре и функциях организма) и потенциальная (не выраженная в настоящее время, но хранящаяся в рецессивных аллелях, управляющих активацией генов).

Однако уже на этом этапе заимствования понятий из других областей возникает проблема, состоящая в невозможности четко разделить эти два вида информации, так как форма организма может определять его функции, а информация определяет форму «строительных блоков» организма, формирующих основу для более сложных структур. Нижней структурной единицей являются структуры, состоящие из аминокислот и белков. Получается, что регуляторная информация функционирует на определенной структуре, поэтому разделение нечеткое. Кроме того, регуляторная функция зависит как от внутренних, так и от внешних для организма факторов. Поэтому перенос терминологии из одной области в другую уже на ранних этапах сопровождается неопределенности терминологии и требует уточнения.

Воплощенная информация обеспечивает производство альтернатив и новых возможностей. Потенциальная скрытая информация создает новую структуру. Хотя два вида информации различны, но поскольку разнообразие вариаций верхних уровней, зависит от стабильности нижних, все информационные уровни могут быть сравнимы друг с другом. В биологии можно выделять следующие уровни информационного содержания: 1) самый нижний – химический уровень (ДНК, РНК, белки), 2) генетическая информация, хранящаяся в макромолекулах (хотя не каждая макромолекула вовлечена в сохранение генетической информации, так как некоторые из них осуществляют регуляторные функции), 3) фенотипический уровень, информационное содержание которого определяется генетической информацией (хотя не вся генетическая информация является воплощенной, рецессивные аллели хранят скрытую информацию), 4) генотип популяции в целом, представляющий собой совокупность геномов отдельных особей.

Информация, закодированная на разных уровнях, соотносится с понятием энтропии. На химическом уровне с помощью понятия энтропии оценивается степень несовершенства копирования ДНК, а на уровне популяций эволюционный процесс рассматривается с точки зрения возрастания энтропии при выборе альтернатив. Увеличение количества эволюционных изменений в процессе воспроизводства себе подобных имеют два следствия: рост числа видов и уменьшение их близкородственных связей. Таким образом, понятие энтропии используется в данном случае для объяснения ненаправленного и неадаптивного характера биологической изменчивости [9].

На языке информационного подхода эволюция рассматривается как результат роста энтропии системы, сложенной из энтропии информации и энтропии связей. Чем больше вариаций внутри вида, тем более высокую энтропию имеет система. Было доказано, что сложность системы приводит к росту энтропии связи и информации одновременно. Ланд-

сберг [10] показал, что определение энтропии как меры максимальной неупорядоченности системы зависит от количества ее микросостояний. И хотя при усложнении системы в нее добавляется новая информация, внутренняя энтропия также может возрастать. Увеличение информации добавляет новые компоненты в систему, число комбинаций которых повышают суммарную энтропию.

Результаты и обсуждение. Философская рефлексия процесса переноса концептуального аппарата в другую область. При рассмотрении данного примера выделяются следующие особенности переноса концептуального аппарата в новую область:

- 1) выработка нового общего языка часто происходит интуитивно, по аналогии;
- 2) не все понятия оказываются переносимыми в новую область;
- 3) перенесенные понятия не всегда хорошо определены.

Некоторые понятия термодинамики, например, температура или свободная энергия, не имеют очевидного коррелята в теории эволюции. Для организмов важнее умение использовать свободную энергию, которая часто имеется в изобилии, чем ее абсолютная величина. Вероятностные аспекты понятия энтропии и информации используются в биологической теории, но смысл понятия биологической энтропии не совпадает со смыслом термодинамического понятия энтропии.

Так, в биологической системе понятие энтропии понимается как энтропия связей и энтропия информации. Энтропия связи является мерой беспорядочности биологической сущности, происходящей из сегрегации ее частей. Энтропия информации является мерой безразличия системы к случайным флуктуациям или ее возможностью противостоять случайным флуктуациям, т. е. помехоустойчивостью. Организация системы является источником ее избыточности. Энтропия связей и количество информации растут вместе.

Как виды, так и организмы могут пониматься на языке их информационного содержания. На этом языке биологическая эволюция является результатом роста энтропии информации и энтропии связи. Чем больше вариаций возникает внутри биологических видов, тем выше энтропия информации. Онтогенез определяется как опытом, так и историей вида. Прошлые события являются источником организации индивидуального развития, а также они могут быть источником неравновесности системы генетической информации.

Общим следствием переноса концептуального аппарата является постепенное создание универсальной единой картины мира. Каждая теория, имевшая изначально свою собственную онтологию, получает извне новые понятия, которые она вынуждена согласовать с уже существующими. Перенос терминологии сопровождается переносом значений и ведет к выработке универсального языка. В итоге каждая теория уже имеет не свою отдельную область исследований, но может продуктивно коммуницировать с другими областями, становясь в свою очередь донором идей. При достаточно долгом продолжении процесса заимствования получается некоторый вид холизма, в основе которого лежат общие представления о структуре мира, об эпистемологических правилах исследования, корректной методологии. В этом смысле мультидисциплинарность играет положительную роль для поиска единой теории и создании новой парадигмы.

Заключение. Какую роль играет междисциплинарное заимствование? Отметим ряд особенностей, одна из которых состоит в том, что перенос термодинамических понятий в область теории эволюции увеличивает объяснительную силу теории. В частности,

рост энтропии объясняет ненаправленный и неадаптивный характер изменчивости живых организмов и примерно постоянную скорость эволюционных изменений, которые инициируются неточностями копирования ДНК на молекулярном уровне.

Другой особенностью является фактическое создание новой парадигмы посредством переноса научной терминологии в другую область науки и введения нового языка для решения новых задач, новых методов их решения. Новая парадигма является источником вопросов, поиск ответов на которые служит стимулом для развития обеих объединенных теорий. Так, если традиционная термодинамика должна предсказать наиболее вероятное состояние системы, которым является состояние с максимальной энтропией, то для применения к биологическим системам требуется ее расширение для применения к системам, удерживаемым вдали от равновесия притоком энергии, что характерно для живых организмов [11]. Важный признак живых систем – метаболизм, сложность живых организмов является следствием термодинамических свойств, существование которых необходимо согласовать со вторым началом термодинамики.

Взаимодействие научных теорий влечет изменения общей картины мира. Так, если с XVII до середины XX в. доминировал механицизм, и биологи применяли механическое описание белков (макромолекул), то в последнее время более характерным стал статистический подход, характерный для теории информации [12]. Понятие вероятности и статистический подход термодинамики также по-новому позиционируют понятие причинности в эволюции, рассматривая эволюционно значимые события, такие как изменение аллельных частот, или действие естественного отбора не как случайные, а как происходящие под действием различных эволюционных сил, вклад которых можно достаточно точно оценить [13].

Межтеоретические связи дают толчок развитию целого комплекса дисциплин и поднимают целый ряд вопросов: как можно объединить химические и биологические исследования? каковы методологические сходства и различия познавательных процедур в разных науках? С точки зрения изучения контекста открытия, рассмотрение научной теории в «окружающей среде» позволяет объяснить появление новых идей в рамках давно сложившейся теории. Аналогия, моделирование, интуиция и другие неформальные методы используются для построения качественных моделей, которые служат отправной точкой рассуждений в новой области. На следующих этапах происходит уточнение понятий, доведение до числа. Хотя, как правило, перенос концептуального аппарата в новую область, не является полным, исходные понятия меняют смысл и не идентичны новым. Тем не менее концептуальное заимствование поднимает новые вопросы, ставит новые проблемы, дает возможность применения новых подходов. Ранее стагнировавшая область науки получает толчок для развития в виде плодотворных идей.

Остается отметить роль философии в междисциплинарных взаимодействиях. Для взаимодействия теорий должна быть установлена единая исследовательская программа в химии и биологии. Научные методологические принципы, играющие нормативную роль, должны опираться на онтологические модельные представления. Таким образом, нормативность имеет источником качественные модели, воплощенные в предмете исследования. Метафизические представления, будучи ненаучными, допускают применение нестрогих методов, ведущих к появлению новых онтологических представлений и изменению первоначальных взглядов. Благодаря допустимости применения нестрогих способов познания (интуиции,

анalogии и пр.) становятся возможными межтеоретические связи в системе наук. В дальнейшем место философии занимают математика и эксперимент, и качественные модели уступают место экспериментальным исследованиям и компьютерному моделированию.

Уточнение модельных представлений и применение математических методов снижают значимость методов наблюдений и усиливает важность вычислений: «Новые вычислительные науки ломают традиционные образцы построения наглядных, по преимуществу, моделей. Идеи инженерии, математики, методов вычислений и новые масштабные методы отбора данных, комбинируясь с биологией, образуют новые междисциплинарные и трансдисциплинарные вычислительные биологические области [14, с. 554]. Происходит унификация картины мира как в методологическом отношении, так и в эпистемологическом, стандарты достоверности точных наук все шире распространяются в менее строгие области подобные наукам о жизни.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Goldman A. A. Causal Theory of Knowing // *The Journal of Philosophy*. 1967. Vol. 64, no. 2. P. 357–372.
2. Bloor D., Barnes B., Henry J. *Scientific knowledge: a sociological analysis*. London, Chicago: Athlone, Chicago Univ. Press, 1996.
3. Кун Т. Структура научных революций / пер. И. З. Налетова. М.: Прогресс, 1977.
4. Kimura M. Evolutionary rate at the molecular level // *Nature*. 1968. Vol. 217. P. 624–626.
5. Brooks D. R., Leblon P. H., Cumming D. D. Information and Entropy in a Simple Evolution Model // *Journal of Theoretical Biology*. 1984. Vol. 109. Iss. 1. P. 77–93.
6. Brooks D. R., Wiley E. O. *Evolution as an Entropic Phenomenon // Evolutionary Theory: Paths to the Future*. New York: John Wiley & Sons, 1984.
7. Шеннон К. Э. Работы по теории информации и кибернетике / пер. с англ.; под ред. Р. Л. Добрушина, О. Б. Лупанова. М.: Изд-во иностранной литературы, 1963.
8. Brooks D. R., Wiley E. O. *Evolution as Entropy: Toward a Unified Theory of Biology*. Chicago: Univ. of Chicago Press, 1986.
9. Wicken J. S. Entropy, Information, and Non-equilibrium Evolution // *Systematic Zoology*. 1983. Vol. 32, no. 4. P. 438–443. DOI: 10.2307/2413170.
10. Landsberg P. T. Can Entropy and “Order” Increase Together? // *Physics Letter A*. 1984. Vol. 102. Iss. 4. P. 171–173.
11. Corominas-Murtra B. Thermodynamics of Duplication Thresholds in Synthetic Protocell Systems // *Life*. 2019. Vol. 9, no 9. DOI: 10.3390/life9010009. URL: <https://www.mdpi.com/2075-1729/9/1/9/htm> (дата обращения: 10.06.2019).
12. First international Conference on Bridging the Philosophies of Biology and Chemistry 25–27 June 2019, Univ. of Paris Diderot, France. URL: <https://phil-bio-chem.sciencesconf.org/> (дата обращения: 10.06.2019).
13. Abrams M. Implications of Use of Wright’s FST for the Role of Probability and Causation in Evolution // *Philosophy of Science*. 2012. Vol. 79, no. 5. P. 596–608.
14. Macleod M., Nersessian N. J. Building Simulations from the Ground Up: Modeling and Theory in Systems Biology // *Philosophy of Science*. 2013. Vol. 80, no. 4. P. 533–556.

Информация об авторе.

Сторожук Анна Юрьевна – доктор философских наук (2011), ведущий научный сотрудник института философии и права Сибирского отделения РАН, ул. Николаева, д. 8, Новосибирск, 630090, Россия. Автор 98 научных публикаций. Сфера научных интересов:

философия науки, методология, философия научного эксперимента, эмпиризм. ORCID:
<https://orcid.org/0000-0002-0893-6212>. E-mail: stor71@mail.ru

REFERENCES

1. Goldman, A. (1967), "A Causal Theory of Knowing", *The Journal of Philosophy*, vol. 64, no. 2, pp. 357–372.
2. Bloor, D., Barnes, B. and Henry, J. (1996), *Scientific knowledge: a sociological analysis*, Athlone, Chicago Univ. Press, London, Chicago, USA.
3. Kuhn, T.S. (1977), *The structure of scientific revolutions*, Transl. by Naletov, I.Z., Progress, Moscow, Russia.
4. Kimura, M. (1968), "Evolutionary rate at the molecular level", *Nature*, vol. 217, pp. 624–626.
5. Brooks, D.R., Leblon, P.H. and Cumming, D.D. (1984), "Information and Entropy in a Simple Evolution Model", *Journal of Theoretical Biology*, vol. 109, iss. 1, pp. 77–93.
6. Brooks, D.R. and Wiley, E.O. (1984), "Evolution as an Entropic Phenomenon", *Evolutionary Theory: Paths to the Future*. John Wiley & Sons, NY, USA.
7. Shannon, C.E. (1963), *Raboty po teorii informatsii i kibernetike* [Works on information theory and cybernetics], Transl., by Dobryushin, R. L. and Lupanov, O. V. Izd-vo inostrannoi literatury, Moscow, USSR.
8. Brooks, D.R. and Wiley, E.O. (1986), *Evolution as Entropy: Toward a Unified Theory of Biology*. Univ. of Chicago Press, Chicago, USA.
9. Wicken, J.S., (1983), "Entropy, Information, and Non-equilibrium Evolution", *Systematic Zoology*, vol. 32, no. 4, pp. 438–443. DOI: 10.2307/2413170.
10. Landsberg, P.T. (1984), "Can Entropy and "Order" Increase Together?", *Physics Letter A*, vol. 102, iss. 4, pp. 171–173.
11. Corominas-Murtra, B. (2019), "Thermodynamics of Duplication Thresholds in Synthetic Protocell Systems", *Life*, vol. 9, no. 9, DOI: 10.3390/life9010009, available at: <https://www.mdpi.com/2075-1729/9/1/9/htm> (accessed 10.06.2019).
12. First international Conference on Bridging the Philosophies of Biology and Chemistry 25–27 June 2019, Univ. of Paris Diderot, France, available at: <https://phil-bio-chem.sciencesconf.org/> (accessed 10.06.2019).
13. Abrams, M. (2012), "Implications of Use of Wright's FST for the Role of Probability and Causation in Evolution", *Philosophy of Science*, vol. 79, no. 5, pp. 596–608.
14. Macleod, M. and Nersessian, N.J. (2013), "Building Simulations from the Ground Up: Modeling and Theory in Systems Biology", *Philosophy of Science*, vol. 80, no. 4, pp. 533–556.

Information about the author.

Anna Yu. Storozhuk – Dr. Sci. (Philosophy) (2011), Leading Researcher, Institute of Philosophy and Law of the Siberian Branch of the RAS, 8 Nikolaeva str., Novosibirsk 630090, Russia. The author of 98 scientific publications. Area of expertise: philosophy of science, methodology, philosophy of the scientific experimentation, empiricism. ORCID:
<https://orcid.org/0000-0002-0893-6212>. E-mail: stor71@mail.ru