

## ГРАНИЦЫ ЖИВОГО: К ПРОБЛЕМЕ ОНТОЛОГИЧЕСКИХ ОСНОВАНИЙ ИСКУССТВЕННОЙ ЖИЗНИ\*

*Д.В. Галкин*

Рассматривается философская проблематика исследований искусственной жизни. Анализируются основные научные предпосылки (в математике, кибернетике, биологии, теории сложных адаптивных систем, исследованиях искусственного интеллекта и робототехнике, лингвистике), основные гипотезы искусственной жизни и проблемы ее определения. Показано, что открытость и подвижность границ биологической жизни являются фундаментальным основанием искусственной жизни.

**Ключевые слова:** искусственная жизнь, эволюция, технологии

Среди глубочайших проблем, сближающих современную науку и философские исследования, можно смело назвать проблему определения жизни, ее онтологического статуса и эпистемологических инструментов ее познания. Вместе с физиками, биологами, химиками, математиками философы ищут пути, чтобы приблизиться к истине живого. Одним из таких путей стала междисциплинарная методология искусственной жизни (ИЖ, англ. artificial life), оформившаяся как самостоятельное научное направление в конце 1980-х – начале 1990-х годов на площадке одного из самобытнейших научных центров США – Института Санта-Фе. Совместно с математиками, биологами, химиками, системными теоретиками над проблематикой ИЖ работали философы М. Бедо и Д. Дэннетт, которых можно вполне обоснованно назвать первыми философами искусственной жизни.

Сегодня в Международном сообществе исследователей искусственной жизни (International Society of Artificial Life) голос философов

---

\* Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства образования и науки РФ на проведение научных исследований (тематический план НИР Томского государственного университета) № 6.4832.2011, а также при финансовой поддержке НОЦ «Социально-политические исследования технологий».

и гуманитариев слышен вполне отчетливо, наравне с голосом специалистов в области синтетической биологии, биохимиков, специалистов по искусственному интеллекту и робототехнике и др. Это научное направление представлено несколькими масштабными международными конференциями («Artificial Life: International Conference on Simulation and Synthesis of Living Systems», «European Conference on Artificial Life») и журналами («The Journal of Artificial Life», MIT Press; «Artificial Life and Robotics», Springer; «International Journal of Artificial Life Research», IGI Global).

За последние 20 лет область исследований искусственной жизни расширилась. Она включает исследования искусственного интеллекта, эволюционное программирование, когнитивные науки, робототехнику, биоинформатику, исследования хаоса, исследования в области интеллектуального и нечеткого контроля, многоагентных систем, молекулярную и синтетическую биологию, распознавание образов, философию искусственной жизни и другие области междисциплинарных исследований.

Философская проблематика искусственной жизни сосредоточена вокруг целого ряда вопросов. Можем ли мы сформулировать необходимые и достаточные свойства живого, конструируя искусственную жизнь? Дают ли модели ИЖ нам шанс открыть некое новое, еще не известное особое свойство живого? Каков онтологический статус искусственной жизни относительно жизни натуральной: должны ли мы уравнивать и на каких основаниях природное и искусственное? Возможно ли на формальных моделях ИЖ получить новые функциональные структуры ИЖ и их эволюцию с открытым финалом, включая порождение различных вариантов когнитивных структур? Возможно ли на тех же формальных моделях построить полную, завершенную симуляцию простейшего живого организма? Существует ли жесткая граница между естественной жизнью и искусственной? Какими могут быть интерфейсы между ними? Можем ли мы как наблюдатели сделать адекватные теоретические описания динамики живых искусственных систем и предсказывать ее?

Подходы к поиску ответов на эти вопросы мы можем сформулировать в виде нескольких гипотез. Первая заключается в том, что существенные основания и фундаментальные принципы жизни (например, главные функции живого – саморепродукция, метаболизм, адаптация и т.д.) могут быть представлены в относительно простых моделях: компьютерных, математических, робототехнических [1]. Эта гипотеза получает

развитие в идее так называемой «сильной» искусственной жизни, отчужденной от материальной субстанции ИЖ. Как заметил один из пионеров и апологетов искусственной жизни американский биолог-эволюционист Т. Рэй, мы не можем ограничить мощь эволюции только известными нам химическими соединениями на основе углерода. Эволюция вполне может продолжаться и на кремниевых носителях – *in silico* [2].

Вторая гипотеза предполагает неразрывную связь между живым организмом и его биохимическим воплощением: искусственная жизнь может быть определена как синтетический организм, сконструированный из молекулярного материала. Материалом для конструктора являются химические вещества, синтез которых дает необходимые для формирования жизни соединения (прежде всего аминокислоты).

Третья гипотеза (над которой работает автор данной статьи) предполагает возможность гибридных форм искусственной жизни, сочетающих биохимические процессы организмов (клеток, тканей, бактерий, живых существ) и технологические структуры.

С нашей точки зрения, основная эпистемологическая и онтологическая проблематика, объединяющая все три гипотезы, касается определения границ живого относительно неживой материи и искусственной жизни. Эти гипотезы, несмотря на их далеко не одинаковую разработанность в литературе, послужат отправной точкой наших рассуждений. Гипотеза номер три и ее возможное развитие в направлении интеграции первых двух гипотез в значительной мере является оригинальным вкладом автора настоящей статьи в философские исследования искусственной жизни.

### **«Сильная» искусственная жизнь: эволюция и отчужденное живое**

Начнем с обсуждения базовых положений гипотезы номер один: существенные основания и фундаментальные принципы жизни могут быть представлены в относительно простых моделях [3]. Далее на этих моделях мы можем конструировать любые инварианты возможной жизни. Кроме теоретических построений и моделей, которые мы рассмотрим ниже, ничто не гарантирует, что эта гипотеза верна, однако ее продуктивность и сила заключаются в следующем:

1) модели ИЖ базируются на максимально общих основах всех форм живого;

2) эксперименты на моделях ИЖ позволяют решить проблему времени биологических процессов, длительность которых измеряется сотнями и миллионами лет;

3) на этих простых моделях мы можем получить бесконечно сложные варианты структур и поведения, которые заранее не известны и проявляются в наблюдении;

4) все концептуальные основания модели должны быть эксплицитны в структуре самой модели.

Содержательная основа моделей ИЖ весьма спорная, как мы еще увидим далее, и то, как в них соотносятся модельное упрощение и реальная сложность живого, зависит от уровня абстракции, который в данном случае имеет решающее значение: модели должны базироваться на функциях живых систем – самоорганизации и создании спонтанного порядка, самовоспроизводстве, метаболизме, обучении, адаптации и эволюции [4]. Это позволяет нам наполнять модели содержанием «жизни, какой мы ее знаем», однако оставляет возможность двигаться в направлении искусственной «жизни, какой она могла бы быть». Основная проблема в данном случае заключается в следующем: можем ли мы в искусственном процессе на модели получить некую «жизнь»?

Американский философ М. Бедо справедливо указывает на согласие большинства исследователей относительно того, что начало работам по этой проблематике (однако без использования самого термина «artificial life») было положено Дж. фон Нейманом при создании принципов самореплицирующихся машин (роботов) на основе так называемых клеточных автоматов. Эта модель реализована на матрице клеток, конечный набор состояний которых изменяется в зависимости от состояния соседних клеток. Общий абстрактный принцип был заимствован фон Нейманом из принципов работы универсальной машины Тьюринга, которая может быть эмулирована на любой другой машине Тьюринга на основе ее описания (пленка с описанием автомата как генетический код используется в клеточном автомате фон Неймана). Далее фон Нейман, осознав масштабы проблемы искусственной саморепликации (как робот из большого количества деталей соберет себе подобного?), ввел простые абстрактные математические основания репликации, благодаря которым возможны порождение сложных структур и их устойчивое воспроизводство [5].

Последователи фон Неймана – Дж. Конуэй, Ст. Вольфрам, К. Лэнгтон считают модель клеточного автомата универсальной абстракцией

для описания живых систем. Специфика этой модели в том, что будучи простой функцией, клеточный автомат может генерировать сложные структуры с автономным поведением. Это прекрасно показано Дж. Конуэем в знаменитой игре «Жизнь» («The Game of Life»), где зависимость состояния клетки матрицы от количества и состояния соседей порождает бесконечные, малопредсказуемые, однако обладающие определенными паттернами формы «жизни». Подобным образом ведет себя «муравей Лэнгтона», который на основе столь же простых правил (смена цвета клетки и направления поворота) начинает демонстрировать сложную динамику поведения. В 1980-х годах американский математик К. Лэнгтон использовал клеточные автоматы для моделирования деления клеток (воспроизводимости ДНК) [6], а Ст. Вольфрам (еще одно очень важное имя в современной математике) показал, что простейшие клеточные автоматы могут генерировать бесконечное множество сложных вариантов поведения и в этом отношении являются аналогом живого [7].

Прекрасной иллюстрацией такого подхода в изучении и моделировании жизнеподобного поведения являются знаменитые «птицоиды» (Boids) К. Рейнольдса [8]. Его графические «птицы» спонтанно формировали стаю на экране компьютера и очень натурально демонстрировали организованное поведение. Модель показала, что сложные формы поведения живых существ, такие как слаженный полет стаи птиц, можно описать простым набором правил (избегать столкновений с соседом, уравнивать скорость с соседом, держаться ближе к соседу) и реализовать на знаковой модели.

Важную роль в развитии этих идей сыграла классическая кибернетика, основу которой составляет перенос базовых принципов функционирования живых организмов (гомеостаз, обратная связь) на технические системы. Известно, что в ряде исследований Н. Винера использованы клеточные автоматы как математический аппарат для моделирования работы биологических систем – функционирования сердечно-сосудистой системы и сбоя сердечного ритма. Развитие кибернетики в направлении изучения особых свойств живых систем (Ф. Варела, У. Матурана), а также ее сближение с теорией систем стали одной из главных траекторий развития научных идей, вдохновивших исследования искусственной жизни.

С нашей точки зрения, кибернетическая эпистемология оказалась для своего времени избыточной, поскольку ее основные идеи – от моделирования нейронных сетей Д. МакКалохом до биокибернетики Х. фон Ферстера и Г. Паска – были связаны скорее с тем, что позднее

назовут «искусственной жизнью», чем, например, с созданием цифровых компьютерных технологий, которые в какой-то степени можно назвать побочным продуктом кибернетических идей. Х. фон Ферстер, стоявший у истоков разработки кибернетических концепций, активно работал над проблематикой функционального определения живого [9]. Сравнение машин и живых организмов всецело занимало Дж. фон Неймана. Биологи Ф. Варела (он в начале 1990-х годов был одним из лидеров научного сообщества и организаторов конференций по искусственной жизни [10] и У. Матурана внесли существенный вклад в корректировку кибернетической парадигмы с точки зрения анализа эволюционирующих биологических систем.

В российской кибернетике эта проблематика также активно разрабатывалась еще в 1960–70-х годах, но ее потенциал в полной мере также не был востребован. Сегодня это направление, берущее начало в работах М.Л. Цетлина, М.Н. Бонгарда, П.К. Анохина, В.Ф. Турчина, определяют как эволюционную кибернетику [11]. М.Л. Цетлин в своих статьях исследовал принципы и математический аппарат, позволяющий описывать и моделировать поведение автоматов и коллективов автоматов по аналогии с поведением животных [12]. Для этого он использовал различные варианты игрового поведения в борьбе за ресурсы (даваемые в награду средой), включая организацию коллективного взаимодействия автоматов в попытке добиться выигрыша.

В.Ф. Турчин в своей главной работе «Феномен науки. Кибернетический подход к эволюции» (1970 г.) [13] построил кибернетическую онтологию эволюции от химических форм жизни до социальной интеграции и культуры. Каждый этап эволюции, по Турчину, реализуется через метасистемный переход – кибернетический скачок от функции к управлению ею. Например, от простейших химических форм жизни к движению (управление поиском и потреблением энергии) и далее к раздражимости (простой рефлекс, формирование рецепторов для поиска). Идеи Турчина за несколько десятилетий предвосхитили проблематику искусственной жизни, а его последователи сегодня пытаются построить компьютерные модели, на которых можно получить метасистемные переходы эволюционной динамики. В частности, идея эволюции мышления и интеллекта на основе более простых форм биологической жизни и сейчас остается одной из наиболее интригующих в различных моделях искусственной жизни (см. ниже о работах Р. Брукса).

В 1970-х годах появилась теория, ставшая краеугольным камнем в исследованиях «искусственной жизни», – теория сложных адаптив-

ных систем. Ее наиболее глубокую разработку представил Дж. Холланд, активный участник исследований, проводившихся в Институте Санта-Фе, и разработчик генетических алгоритмов – математического аппарата, основанного на эволюционной генетике [14].

Суть теории Холланда заключается в том, что сложные формы живых систем возникают из адаптивного поведения простых. Адаптивное поведение можно свести к последовательностям микровзаимодействий со средой, из которых складывается динамика более сложных структур (например, муравейника или стаи птиц). Сложная адаптивная система обладает несколькими основными свойствами: 1) иерархией элементов; 2) нелинейностью; 3) потоками ресурсов; 4) разнообразием и стремлением к новизне. Холланд, как и в свое время считал Н. Винер применительно к кибернетическому контролю, полагает, что эти свойства приложимы к любой сложной системе. Их можно использовать как критерии оценки полноты системы и ее жизнеспособности. Кроме того, можно такую систему описать формально и построить формализованную модель, в которой эти свойства были бы комплексно реализованы в искусственном виде.

Здесь наша первая гипотеза приходит к своим наиболее важным основаниям в математике и информатике. Автор термина «artificial life» – К. Лэнгтон, математик и программист. Именно он предложил исходную интуицию для концепции ИЖ как «жизни, какой она могла бы быть» [15]. Большое влияние на развитие этих идей оказали математические модели клеточных автоматов, базовые принципы которых восходят к уже упомянутой концепции фон Неймана, а также успехи в применении так называемых генетических алгоритмов. О последних стоит сказать отдельно.

В логико-математической лингвистике, восходящей к идеям А. Туэ и, позднее, Н. Хомского, была сформулирована знаменитая проблема выводимости любых «правильных слов» данного языка из букв его алфавита и простейшей грамматики – нескольких простых правил подстановки, благодаря которым можно осуществить преобразование одного данного слова в другое. Суть проблемы – в возможности определить метод или алгоритм, с помощью которого мы можем вывести или сгенерировать любое слово данного языка. Проблема была зачислена в разряд теоретически неразрешимых, однако решаемых эмпирическим пошаговым перебором. В конце 1960-х годов венгерский биолог А. Линденмайер изобрел «систему L» – алгоритмический метод для решения задачи Туэ, получивший название «генетический алгоритм».

В 1970-х годах уже упоминавшийся нами американский математик и теоретик сложных адаптивных систем Дж. Холланд продемонстрировал эволюционную механику генетических алгоритмов. В современной математике эти алгоритмы относятся к исследованиям оптимизации и работают, по сути, как эволюционный механизм решения задач поиска оптимального решения.

На основе генетических алгоритмов была создана вошедшая в историю науки и компьютерных технологий экосистема искусственной жизни «Тьерра» (Tierra), разработчиком которой является один из самых известных ученых в этой области – Т. Рэй, также один из участников команды Института Санта-Фе [16]. «Тьерра» – это виртуальный компьютер с «Дарвиновской операционной системой», которая населяет компьютерную память самореплицирующимися и эволюционирующими программами – «искусственными организмами» и правилами (инструкциями, или «генами»), задающими их поведение. При копировании программ происходят ошибки – мутации, благодаря которым свойства «организмов» меняются (мутируют) и начинается непредсказуемая эволюция всей системы – саморазвитие компьютерного кода. Физическое время работы процессора является в модели энергетическим ресурсом, а память компьютера – материальным ресурсом всей экосистемы. Кроме того, операционная система позволяет отслеживать и анализировать все параметры эволюционного процесса. Так, в одном из экспериментов на этой модели были получены интересные данные о формировании иммунной системы при активном размножении и мутациях паразитов.

«Тьерра» была и остается одной из самых заметных попыток реализовать процессы искусственной жизни на кремниевом носителе в духе нашей первой гипотезы. Модель Рэя вдохновила многих ученых, поскольку сочетала в себе все концептуальные достижения, касающиеся искусственной жизни, – генетические алгоритмы, модели сложного адаптивного поведения, биологическую теорию, компьютерное моделирование и демонстрировала очевидные эффекты порождения новой структуры и организации, малопредсказуемые результаты, которые не были запрограммированы изначально.

Однако ни «Тьерра», ни другие модели подобного рода не выходили за пределы исходных ограничений, связанных с невозможностью выйти за границы заданного уровня упрощений организмов, их взаимодействия и за границы экосистемы в целом. Остался нерешенным и вопрос об измерении продуктивности и результатов эволюции: если



мы не можем знать и предсказать, что породит искусственный эволюционный процесс, то по каким критериям мы сможем действительно оценить наличие или отсутствие эволюции? Тем не менее Т. Рэй считал, что с точки зрения эволюции ничто не мешает нам предположить возможность «Тьерры» быть новым видом жизни в кремнии – «сильной» искусственной жизнью, к которой подошла эволюция буквально на наших глазах, поскольку относительно критериев самовоспроизводства, метаболизма, адаптации, эволюции и других параметров сложных адаптивных систем «Тьерра» демонстрирует все признаки жизни. Таким образом, границы между эволюцией в компьютерной экосистеме и эволюцией в природе не существует, – это все один процесс, и эволюцию кода в кремниевом чипе следует признать искусственной жизнью.

В нашей первой гипотезе присутствует различие, очевидно, заимствованное из исследований искусственного интеллекта (ИИ), где (вслед за Дж. Серлем) различают «сильный» и «слабый» искусственный интеллект. Первый должен соответствовать критериям теста Тьюринга и продемонстрировать неотличимость от человеческого разума, тогда как второй может в технических системах выполнять частные интеллектуальные функции – логического вывода, решения задач, поиска данных и проч. «Слабый» ИИ широко применяется в различных технологиях – от поиска в Интернете до управления военными системами. Создание «сильного» ИИ до сих пор является нерешенным вопросом.

Аналогичным образом, «сильная» искусственная жизнь остается предметом философских изысканий, а «слабая» – уже стала важным элементом современных технологий. «Когда мы смотрим фильм, где толпы муравьев или пришельцев на экране – цифровой эффект, сгенерированный компьютером, мы смотрим на группы агентов, исполняющих свои роли на основе моделей искусственной жизни. Когда мы совершаем перелет на новейшем самолете, конструкция турбины вполне может быть результатом оптимизации на основе искусственной эволюции» [17]. Это цитата из популярной статьи в журнале «Nature», написанной Р. Бруксом – знаменитым исследователем искусственного интеллекта и разработчиком робототехники из Массачусетского технологического института, который был одним из активных участников научного сообщества, формировавшегося вокруг проблем искусственной жизни в 1990-х годах. Брукс считает, что методология искусственной жизни является альтернативой и одновременно дополнением к классическим теориям искусственного интеллекта. В чем альтернатива?

Искусственную жизнь можно рассматривать как формирование разумного поведения «снизу вверх» через активное обучение и адаптацию к окружающей среде (выше мы обсуждали фундаментальные идеи Дж. Холланда о сложных адаптивных системах и В. Турчина – о метасистемных переходах). В какой-то мере Брукс возвращается к концепции интерактивного поведения и научения, подобных «птицоидам» Рейнольдса. Простые формы взаимодействия порождают сложные формы автономного поведения: интеллект эволюционирует и развивается в зависимости от сложности адаптивных задач (ученый настаивает, что мы не должны выдавать за интеллект человека то, что мы знаем о нем сегодня, поскольку он является продуктом эволюции и в эволюционной перспективе меняется).

Именно эти принципы Брукс применяет при разработке сервисных и гуманоидных роботов, которым пророчит грандиозное будущее в стремительно развивающемся технологическом мире [18]. Из классической циклической схемы функционирования робота «внешний мир – перцепция – когнитивная обработка – поведение» он просто изъел когнитивную часть (она осталась, но только в позиции наблюдателя) и строит роботов, в которых динамика между внешним миром, прецептивной информацией и моторикой определяет их адаптивные возможности и автономное поведение. Термин «автономное поведение» можно считать ключевым, поскольку роботы Брукса должны вести себя автономно и самостоятельно в различных ситуациях, подобно живым существам.

Здесь, как мы видим, онтологическая проблематика перемещается в совершенно другие рамки, где главные вопросы касаются действия и поведения, а следовательно неизбежно переходят в разряд аксиологических. Кроме того, для Брукса как робототехника остается принципиальным вопрос о материальности и воплощенности робота, о его физическом присутствии в мире и активном взаимодействии с человеком.

Очевидно, аргументы Р. Брукса убедили многих, поскольку разработка автономных роботов на принципах «слабой» ИЖ идет полным ходом. Можно считать вполне успешным проект самого Брукса – коммерческий хит робот-пылесос «i-Robot». Впечатляющих успехов в создании эволюционирующих, самопрограммируемых и самореглицирующихся адаптивных роботов добилась группа П. Леви, работая со стайной самоорганизацией простейших мобильных робото-организмов [19].

Формальные модели искусственной жизни демонстрируют слабые места исходной гипотезы «сильной» ИЖ – гипотезы об отчуждаемости функций живого в виде компьютерной программы или математической

схемы. И эти слабые места скорее открывают новые проблемы для исследований, чем говорят нам о полной несостоятельности гипотезы. Среди целого ряда проблемных узлов выделим три самых, с нашей точки зрения, онтологически важных.

Во-первых, это вопрос о границе между живым и неживым, органическим и неорганическим мирами. Искусственная челюсть – часть живого организма или нет? Ведь свою эволюционную функцию она выполняет! Самореплицирующаяся компьютерная программа демонстрирует функцию живого или нет? Ведь ржавчина и кристаллы тоже реплицируются! А вирусы, которые существуют исключительно как паразиты на полноценной клетке и которые не принято рассматривать как типичный образец биологической жизни? Здесь же возникает вопрос об иерархической зависимости на разных уровнях живого организма. Клетки кожи и других тканей организма человека гибнут и обновляются постоянно, но на уровне органов и тела в целом жизнь от этого не останавливается. Более того, она активно питается неорганикой – минералами, например. Живое и неживое постоянно находятся в очень сложном смещении.

Во-вторых, попытка получить жизнеподобное поведение в компьютерной программе или в робототехнической системе независимо от биохимического субстрата живых организмов не избавляет нас вообще от вопроса о материальном носителе жизни. В частности, потому, что в компьютерной системе вычислительные мощности полностью зависят от качества «железа» – кремниевых материалов и их конфигурации в вычислительной машине. Весьма вероятно, что в живой природе все обстоит иначе: генетическая программа (софт жизни) сама берет под контроль и собирает «под себя» «железо» (материалы клеток), как если бы графическое приложение от Adobe само собирало «под себя» компьютер.

В-третьих, существует проблема эволюционного потенциала искусственной жизни. И здесь мы в полной мере солидарны с выводами М. Бедо относительно «гиперкреативности» живого [20]. Бедо считает эволюцию в живой природе примером суперадаптивной системы, которая непрерывно создает новые признаки при нарастающей сложности видовой структуры и экосистемы. Жизнь в природе – это гиперкреативная машина порождения нового, способная на «взрывное», неограниченное эволюционное порождение. Однако ни одна из известных нам искусственно созданных эволюционирующих систем не генерирует подобное поведение [21]. Как не существует до сих пор компьютерных моделей, достаточно точно отражающих функционирование

хотя бы простейших микроорганизмов. Известные попытки создать виртуальную клетку пока только приближаются к максимально точной симуляции. Но уже в самой постановке задачи – получить точную симуляцию отдельного живого организма – видны редуccionизм и отказ оперировать пониманием жизни как иерархической системы отношений между очень разнородными организмами.

В целом, эти вопросы неизбежно приводят нас к эпистемологическому вопрошанию: должна ли искусственная жизнь быть копированием жизни, какой мы ее знаем, либо она принципиально является конструированием жизни, какой она могла бы быть?

### **Биологический синтез искусственной жизни**

Обсудим подробнее вторую из представленных выше гипотез, а именно, понимание искусственной жизни как биохимического синтеза достаточных предпосылок для формирования жизни и новых живых организмов. В отличие от первой гипотезы, речь пойдет не о компьютерных моделях и жизни в кремнии, а о конструировании живого из натурального химического и биологического материала – об искусственной жизни во плоти.

Первый удачный, широко известный и почти космологический эксперимент по химическому синтезу живого был проведен Г. Юри и Ст. Миллером в Чикагском университете. Дело было в 1953 г., а эксперимент в истории науки получил название эксперимента Миллера – Юри [22]). Суть опыта проста: создать имитацию первичной атмосферы Земли и насытить ее электрическими разрядами, как это, предположительно, было миллиарды лет назад при зарождении жизни на Земле. Смесь аммиака, водорода, метана и воды и несколько процентов углерода, содержавшегося в метане, под воздействием электрической бури, продолжавшейся больше недели, связались в аминокислоты. Таким образом была получена основа для зарождения белковых структур и первых протоформ генетического кода – так называемый пробиотический бульон.

И вновь одним из главных вопросов, серьезно повлиявших на развитие биологии после бурного обсуждения эксперимента Миллера – Юри, стал вопрос о границах живого, о переходных формах жизни между неорганической материей и первыми одноклеточными организмами – возможной протожизни, с которой мы никогда не сталкивались и которая является недостающим звеном эволюции.

Уже в конце 1990-х годов исследования и моделирование искусственной жизни переключаются на биохимический синтез живых клеток или протоклеток (*protocells*) – тех самых недостающих звеньев эволюции. И здесь мы снова встречаем представителей научной команды Института Санта-Фе. Среди них – датчанин профессор Ст. Расмуссен, который пытается получить живую клетку из ее неорганических химических элементов – собрать живое как биохимический конструктор «снизу вверх» [23]). Главный элемент этого конструктора – липидный пузырек, который используется как контейнер для очень упрощенного аналога ДНК – ПНК (буква «П» означает пептид; эту молекулу можно сравнительно легко синтезировать). При определенной температуре спирали ПНК начинают расходиться и готовятся к делению в поисках пары для новой двойной спирали. Эта потенциальная короткая цепочка кислоты должна плавать в водном растворе и, возможно, однажды подойдет для соединения в новую спираль. Если при этом происходит воспроизводство генов, то должно произойти и нечто, что можно назвать оживлением. Пока непонятно – произойдет ли.

Сам Расмуссен не питает иллюзий насчет того, что таким путем будет получено некое подобие жизни, какой мы ее знаем. Он, в чисто конструктивистском духе, ожидает эффекта синтеза иной возможной жизни в виде протоклеток, которые гипотетически могли сыграть ключевую роль в эволюции при переходе от неорганической природы к органической. Но датского профессора, приглашенного исследователя известной в истории лаборатории в Лос-Аламосе (той самой, где был реализован Манхэттенский проект), уже сейчас волнует возможность контроля над заданными полезными свойствами искусственной клетки. Поэтому его эксперименты сопровождается разработка систем биокомпьютерных интерфейсов, позволяющих программировать искусственные организмы.

Если в опытах Ст. Расмуссена ожидаемый эффект оживления получается на основе конструирования из молекул, то американский специалист в области синтетической биологии К. Вентер в своем институте (The Craig Venter Institute) пытается получить искусственную клетку на основе уже существующего организма (бактерий *Mycoplasma*) и его химически синтезированного гено типа. В качестве материала Вентер использует бактерии *Mycoplasma mycoides*, обладающие одним из самых простых геномов среди живых организмов (в середине 1990-х годов он с коллегами работал с другой микоплазмой – генитальной инфекцией *Mycoplasma genitalium*). В 2007 г. команда Вентера успешно

пересадила хромосому микоплазмы одного типа в клетку микоплазмы другого типа. В 2008 г. они полностью синтезировали геном той самой генитальной инфекции, о чем незамедлительно сообщили в журнале «Science» [24]. Это довольно сложная и впечатляющая конструкция из приблизительно 600 тыс. пар нуклеотидов [25]. Собирают ее, соединяя и последовательно пересаживая фрагменты ДНК в дрожжевые культуры для склейки и в клетки кишечной палочки для размножения. Научившись пересаживать геномы одного типа бактерий в другой, а также научившись химически синтезировать такие геномы, уже в 2010 г. ученые успешно привили синтезированный геном в клетку микоплазмы, и он полностью взял под контроль ее жизнедеятельность. Таким образом, Венгер и сотрудники его института оказались очень близки к важной цели – созданию микроорганизмов с заданными свойствами.

### **«Полуживые»: гибриды искусственной жизни**

Между двумя полюсами искусственной жизни – компьютерными моделями и биохимическими организмами находится огромная территория для получения гибридных форм ИЖ, в которых соединение технологических систем и биологических тканей может действительно стать основой для «жизни, какой она могла бы быть». Сама идея гибридизации далеко не нова для биологической науки, на ней базируется культивирование биологических организмов с заданными свойствами на основе внутри- и межвидового скрещивания. Мы могли бы назвать такой подход обыскуствлением живого. Рассмотрим его радикальную версию, вплотную подходящую к пределам научного и этического толкования жизни.

Начнем мы несколько издалека. Перенесемся в первые десятилетия XX в. и познакомимся с экспериментами русского зоолога И.И. Иванова. Он вошел в историю науки как поборник искусственного оплодотворения скота, экспериментатор, работающий с помесными животными, и пионер скрещивания человека и обезьяны. Работы Иванова в 1910-х годах сделали возможным искусственное оплодотворение в сельском хозяйстве практически в промышленных масштабах. Ученый и ветеринар способны вторгнуться в кажущийся естественным ход эволюции и не только пренебречь целым этапом сексуального воспроизводства, но и повысить его продуктивность, а также обеспечить избирательность искусственного отбора. Для Иванова искусственное оплодотворение было научно подтвержденным методом и, до некоторой степени, креационистской амбицией: с помощью этого метода

можно скрещивать различные виды животных и вполне обоснованно замахнуться на создание гибрида человека и обезьяны.

Во время своей научной экспедиции в 1926 г. Иванов добрался до Французской Гвинеи и приступил к главным экспериментам своей жизни – скрещиванию человека и обезьяны. Всего человеческим семенем было оплодотворено три самки шимпанзе (все впоследствии скончались во время транспортировки в Россию). Русский профессор также настаивал на начале опытов по искусственному осеменению африканских женщин от самцов обезьян (женщины не должны были знать о сути манипуляций ученых и врачей), однако эта затея не понравилась колониальным властям. Тогда настойчивый зоолог решил продолжить эти опыты уже у себя в стране с русскими женщинами на исключительно добровольной основе. Публичный набор подопытных самок человека оказался успешным. Однако эксперимент вновь сорвался по причине смерти единственного половозрелого самца шимпанзе, привезенного из Африки [26], и официально о рождении хотя бы одного гибридного существа неизвестно.

И.И. Иванов хотел сделать создание гибридного организма на основе двух живых существ разных видов некоей рутинной научной практикой – вне законов эволюции и даже вне законов человеческого сообщества. Однако гибридизация как стратегия радикальной альтерации живого вполне может выйти за границы готовых организмов и стать синтезом искусственно выращенных тканей и технологических систем. Именно в русле этой стратегии «прощупывает» будущие формы искусственной жизни современное технологическое искусство. Примером тому являются художественные эксперименты с био- и медицинскими технологиями. Флюоресцентный кролик («GFP Bunny», 2000 г.) Э. Каца, рыбки-роботы К. Риналдо («Augmented Fish Reality», 2001 г.), несуществующее вещество, созданное в исследовательском центре «Симбиотика» (2006 г.), искусственно выращенное ухо-интерфейс, имплантированное в руку художника Стеларка (Stelarc) – все эти примеры радикально новой эстетики, авангарда XXI в., демонстрируют горизонты креативной гибридизации живого и технического.

По мнению художников и исследователей, участвующих в проекте «Тканевая культура и искусство» («Tissue Culture and Art») австралийской лаборатории «Симбиотика», такую гибридную форму искусственной жизни можно определить как «полуживое»: «Наше время отмечено зарождением нового явления – концепции “полуживого”. Представитель принципиально нового класса объектов/существ, созданных из живого

и неживого материалов, “полуживой” организм – это самостоятельное нечто, обитающее на тонкой грани между живым/неживым, выросшим/построенным, рожденным/произведенным, объектом/субъектом... его нельзя воспринимать как имитацию человека или возможную его замену. Это скорее объекты/существа нового типа, которые одновременно подобны и отличны от других человеческих артефактов... Они состоят из живых биологических организмов, получены искусственным путем и предусматривают человеческое и/или технологическое вмешательство в процесс их создания или последующего жизнеобеспечения» [27].

Говоря о научном и творческом вдохновении в отношении многих своих проектов, руководитель основных проектов группы «Симбиотика» О. Каттс ссылается на эксперименты хирурга и трансплантолога Дж. Ваканти. С именем доктора Ваканти связан образ лабораторной мыши с растущим на ее спине ухом человека. Пытаясь найти альтернативу донорским органам для трансплантации, Ваканти решил попытаться получить их путем соединения расщепляемых биополимеров (они являются каркасом уха или потенциально другого органа) и посеянных на них клеток человеческих тканей. Мышь в данном случае служит биореактором, обеспечивающим жизнедеятельность формирующихся тканей [28]. Сегодня эта биомедицинская технология (тканевый инжиниринг) стала прорывом в лечении многих заболеваний, травм и дефектов тканей человека.

Примеров подобного рода «полуживых» объектов предостаточно. Широкую известность получил совместный проект нейрофизиолога Ст. Поттера из Университета Джорджии (США) и лаборатории «Симбиотика» (Университет Западной Австралии) под названием «Полуживой художник» (MEART) [29]. В проекте функционируют два основных элемента: живая нейронная ткань и робот-манипулятор. Профессор Поттер вырастил популяцию крысиных нейронов, которые через нанозлектродную подложку управляют «рукой» робота-художника.

Опыт Дж. Ваканти с выращиванием уха, но уже на своем теле, повторил знаменитый технохудожник Стеларк. Сегодня этот человек живет с третьим ухом на предплечье. Оно выращено методом тканевого инжиниринга и вживлено под кожу. Функциональность уха будет носить чисто гибридный характер: художник хочет встроить в него Bluetooth-передатчик, который транслировал бы его речь на различные устройства (для этого в зуб нужно вмонтировать миниатюрный микрофон).



\*\*\*

Итак, с точки зрения рассмотренных нами гипотез искусственная жизнь – это, с одной стороны, компьютерные модели живых организмов и экосистем, демонстрирующие некоторые фундаментальные признаки живых организмов – метаболизм, воспроизводство, эволюцию, коллективное поведение и стремящиеся к полноте функций сложной адаптивной системы. Предельные рамки этой гипотезы задаются вопросом о возможности «сильной» ИЖ, реализованной на кремниевом носителе, способной к бесконечной эволюционной продуктивности, однако не способной определять структуру и развитие своей материальной основы.

С другой стороны, искусственная жизнь – это философия и научная методология, утверждающие гносеологическую ценность и аксиологическое значение подобных моделей для научного познания: познать жизнь, какая она есть, через модели возможной жизни, использовать фундаментальные признаки живых организмов и экосистем для решения практических задач («слабая» ИЖ). Эта методология опирается на серьезный фундамент математического, биологического, кибернетического и теоретико-системного знания.

Кроме того, мы можем определить искусственную жизнь как биохимический синтез (конструирование) живых организмов с заданными свойствами для решения научных и практических задач. Предельные рамки этой гипотезы обозначают онтологию, в которой синтезированный генотип берет под контроль всю материальную структуру нового организма.

Мы также можем говорить об искусственной жизни как о гибридах или симбиотических структурах, в которых биологические и технологические объекты объединяются в нечто третье – совершенно новые эволюционные формы жизни, в которых природная эволюция сочетается с творческим эволюционным вкладом человека.

С нашей точки зрения, эти трактовки искусственной жизни не исключают друг друга, а являются дополнительными стратегиями общей конструктивистской эпистемологии ИЖ. Поэтому наша исходная проблематика в данной статье – определение границ живого и неживого, искусственной и биологической жизни должна исследоваться с точки зрения открытости и подвижности этих границ. Этот вывод также предполагает, что границы живого, включая допустимые манипуляции с искусственной жизнью, должны определяться не только в научном дискурсе, но и в аксиологическом дискурсе этики.

Кроме того, из приведенных нами рассуждений относительно всех трех вариантов толкования искусственной жизни очевидно, что в них

отсутствует классическая философская проблематика субъективности и индивидуального сознания, столь важная для теории и методологии искусственного интеллекта. Клеточные автоматы, сложные адаптивные системы, агенты и их автономное поведение, искусственные ткани и техно-биологические гибриды существуют в рамках правил и открытого поля взаимодействий, относительно которых субъект и его сознание – слабый и беспомощный элемент (представим, что муравейник или гигантская стая птиц функционируют на основе индивидуального сознания насекомых или птиц – они бы просто не справились с масштабами своих эволюционных задач). Остается субъект как человек науки, инженер и художник, создающий искусственную жизнь. Именно его роль и целеполагание должны стать вопросом этического определения ИЖ.

### Примечания

1. См.: *Bedau M.* Philosophical aspects of artificial life // *Toward a Practice of Autonomous Systems: Proceedings of the First European Conference on Artificial Life* / Ed. by F. Varela and P. Bourguin. – Cambridge (MA): MIT Press, 1992. – P. 494–503.
2. См.: *Ray T.S.* An evolutionary approach to synthetic biology: Zen and the art of creating life // *Artificial Life*. – No. 1(1/2). – P. 179–209; *Artificial Life: An Overview* / Ed. by C.G. Langton. – The MIT Press, 1995. – P. 179–209.
3. См.: *Bedau M.* Philosophical aspects of artificial life.
4. См.: *Bedau M.* What is life? // *A Companion to the Philosophy of Biology* / Ed. by S. Sarkar and A. Plutynski. – N.Y.: Blackwell, 2007. – P. 455–471.
5. См.: *Neumann J., von.* Theory of Self-reproducing Automata // Univ. of Illinois Press, 1966.
6. См.: *Langton C.* Self-reproduction in cellular automata // *Physica D*. – Elsevier, 1984. – No. 10. – P. 135–144.
7. См.: *Wolfram S.* A New Kind of Science. – Champaign: Wolfram Media, 2002.
8. См.: *Reynolds C.W.* Boids Demos // *Artificial Life II: Video Proceedings* / Ed. by C. Langton. – Redwood City: Addison-Wesley, 1992. – P. 15–19.
9. См.: *Foerster H., von.* Bio-Logic // *Biological Prototypes and Synthetic Systems* / Ed. by E.E. Bernard and M.A. Kare. – N.Y.: Plenum Press, 1962. – V. 1. – P. 1–12.
10. См.: *Toward a Practice of Autonomous Systems: Proceedings of the First European Conference on Artificial Life* / Ed. by F. Varela and P. Bourguin. – Cambridge (MA): MIT Press, 1992. – P. 494–503.
11. См.: *Редько В.Г.* Эволюция, нейронные сети, интеллект // *Модели и концепции эволюционной кибернетики*. – М: URSS, 2005.
12. См.: *Цетлин М.Л.* Исследования по теории автоматов и моделирование биологических систем. – М.: Наука, 1969.
13. См.: *Турчин В.Ф.* Феномен науки: Кибернетический подход к эволюции. – 2-е изд. – М.: ЭТС, 2000.
14. См.: *Holland J.H.* Adaptation in Natural and Artificial Systems. – Ann Arbor: Univ. of Michigan Press, 1975.

15. См.: *Artificial Life: Proceedings of an Interdisciplinary Workshop on the Synthesis and Simulation of Living Systems* / Santa Fe Institute Series / Ed. by C.G. Langton. – Reading MA: Addison-Wesley, 1989.
16. См.: *Ray T.S.* An evolutionary approach to synthetic biology.
17. *Brooks, R.A.* The Relationship between Matter and Life // *Nature*. – 2001. – V. 409, Jan. 18. – P. 409–411.
18. См.: *Brooks R.A.* *Flesh and Machines*. – N.Y.: Pantheon Books, 2002.
19. См.: *Symbiotic Multi-Robot Organisms: Reliability, Adaptability, Evolution* / Ed. by P. Levi, S. Kernbach / Series: *Cognitive Systems Monographs*. – V. 7. – 1st ed. – 2010. – V. XXIV.
20. См.: *Бедо М.* Исследование гипертворчества человека с помощью технологии искусственной жизни // *Biomediale: Современное общество и геномная культура* / Гос. центр совр. искусства (Калинингр. филиал). – Калининград: Янтарный сказ, 2004. – С. 216–227.
21. Там же.
22. Краткий отчет был опубликован в журнале «Science». См.: *Miller S.L.* Production of amino acids under possible primitive Earth conditions // *Science*. – 1953. – V. 117, is. 3046. – P. 528–529.
23. Об этом его публикация в журнале «Science» в соавторстве, в частности, с уже известным нам философом М. Бедо. См.: *Rasmussen S., Chen L., Deamer D. e.a.* Transition from nonliving to living matter // *Science*. – 2004. – V. 303, 13 Feb. – P. 963–965.
24. См.: *Gibson D.G., Benders G.A., Andrews-Pfannkoch C., e.a.* Complete chemical synthesis, assembly, and cloning of a *Mycoplasma genitalium* genome // *Science*. – 2008. – V. 319, (No. 5867). – P. 1215–1220.
25. Подробнее см.: *Марков А.* Создано первое живое существо с синтетическим геномом // *Элементы 2010* – URL: <http://elementy.ru/news?newsid=431329>
26. См.: *Россиянов К.* Опасные связи: И.И. Иванов и опыты скрещивания человека с человекообразными обезьянами // *Вопросы истории естествознания и техники*. – 2006. – № 1. – С. 3–51.
27. См.: *Kamm O.* Фрагменты конструирования жизни – влажная палитра тканевой инженерии // *Biomediale. Современное общество и геномная культура*. – С. 412–422.
28. Подробнее см.: *Principles of Tissue Engineering* / Ed. by R.P. Lanza, R.S. Langer, J. Vacanti. – 3d ed. – Burlington: Elsevier Academic Press, 2007.
29. Официальный сайт проекта <http://www.fishandchips.uwa.edu.au>

Дата поступления 11.09.2012

Томский государственный  
университет, г. Томск  
[gdv\\_t@mail.ru](mailto:gdv_t@mail.ru)

**Galkin, D.V. Limits of the living: on the problem of ontological foundation of artificial life**

The paper considers philosophical problems concerning research of artificial life. It analyzes the main scientific premises (in mathematics, cybernetics, biology, theory of complex adaptive systems, research of artificial intelligence and robotics, linguistics), key hypotheses of artificial life and problems of its definition. The author shows that openness and mobility of limits of biological life make the basis for artificial life.

**Keywords:** artificial life, evolution, technology