

УДК: 167.0

DOI: 10.15372/PS20250312

EDN: URQLWI

Е.М. Николаева, М.В. Лагутин**СИНТЕТИЧЕСКАЯ БИОЛОГИЯ КАК ИСТОЧНИК
НОВОГО ОНТОЛОГИЧЕСКОГО СОДЕРЖАНИЯ
СОВРЕМЕННОЙ НАУКИ**

В статье предпринимается попытка осмысления влияния синтетической биологии на онтологическое содержание такого авангардного направления современной науки как технонаука. Авторами проводится экспликация онтического состава синтетической биологии, и дальнейшая рефлексия онтологического содержания этого инженерно-научного направления. Рассматриваются конкретные примеры взаимовлияния онтического и онтологического. Теоретико-методологической основой для обнаружения изменений в онтологическом составе синтетической биологии и современной науки в целом авторы выбрали концепцию разграничения и взаимовлияния онтического и онтологического немецкого философа экзистенциалиста М. Хайдеггера. Для исследования современного онтологического содержания технонауки были использованы концепты «техноэпистемический объект» и «технонаучная экспериментальная система» немецких философов Т. Коля и Й. Фалька, а также классификация объектов французского философа Б. Бенсауд-Винсент. Для более целостной онтологической картины были представлены некоторые конкретные достижения и работы синтетических биологов. В результате обнаружена каузальная детерминация между онтическим и онтологическим, где онтическое, расширяясь и умножаясь, необходимо формирует новые онтолого-эпистемологические категории, призванные охарактеризовать и объяснить такое сущее, которое не существовало до появления синтетической биологии. Авторами обнаружены возможные условия для превращения эпистемического объекта в техноэпистемический, среди которых соответствие четырем критериям: они знакомы/узнаваемы, ценностно значимы, перформативны и обладают неограниченной материальностью. Предложено новое, более полное содержание категории «техноэпистемический объект».

Ключевые слова: технонаука; онтологическое содержание; онтический состав; синтетическая биология; техноэпистемический объект; технонаучная экспериментальная система

E.M. Nikolaeva, M.V. Lagutin

SYNTHETIC BIOLOGY AS A SOURCE OF NEW ONTOLOGICAL CONTENT OF MODERN SCIENCE

The article attempts to comprehend the influence of such engineering science as synthetic biology on the ontological content of the direction in science known as technoscience. The author explicates the ontic composition of synthetic biology and further constructs the ontological content of this engineering-scientific direction. Specific examples of mutual influence of ontic and ontological are considered. The author has chosen the concept of distinction and mutual influence of ontic and ontological of German existentialist philosopher M.Heidegger as a theoretical and methodological basis for detecting changes in the ontological content of synthetic biology. The concepts of “technoepistemic object” and “technoscientific experimental system” by German philosophers T.Kohl and J.Falk, as well as the classification of objects by French philosopher Bernadette Bensaud-Vincent were used to investigate the modern ontological technoscience. For a more holistic ontological picture, some specific achievements and works of synthetic biologists were used. As a result, a causal determination between the ontic and the ontological is discovered, where the ontic, expanding and multiplying, is necessary to form new ontological-epistemological categories designed to characterise and explain such an entity, which did not exist before synthetic biology. The author has discovered possible conditions for the transformation of an epistemic object into a technoepistemic one, among which is the fulfilment of four criteria: they are familiar/ recognisable, value-laden, performative and have unrestricted materiality.

Keywords: technoscience; ontological composition; ontic; synthetic biology; technoepistemic object; technoscientific experimental system

Современные исследования в синтетической биологии привлекают внимание философов широкого спектра специализации последние десятилетия. Большую часть этих философов интересовали вопросы этики; вопросы относительно того, может и должен ли человек изменять природе, естественный порядок вещей и сами вещи в этом

мире. И если он может «играть в бога», то как он должен это делать? Подобная повестка философских дебатов относительно синтетической биологии быстро истоцилась. Лишь небольшая часть исследований, которые стремились ответить на вопросы эпистемологической ценности синтетической биологии и ее методов и методологии, продолжает быть актуальной и порождает новые философские измерения. Еще в 2016 году немецкий философ химии Иоахим Шуммер заметил, что философское осмысление «игры в бога», которым, в зависимости от взгляда, занимались не только биологи-синтетики, но и химики, началось с момента ослабления влияния идей витализма и самозарождения жизни. Это период, когда немецкий химик Эмиль Фишер стал синтезировать такие вещества, которых никто до этого синтеза в природе найти не мог. Фишер работал с сахарами и разработал классификацию всех возможных сахаров, при этом большинство из них были не естественного происхождения – они не находились в природе и не получались из естественного сырья без химического синтеза и теоретического моделирования их возможных форм. К тому же ученым были представлены синтетические пути открытия новых сахаров [15, p. 153].

С точки зрения Шуммера, это стало началом фундаментального непонимания научных методов и достижений людьми, чьи интересы ограничивались этическими вопросами и чье желание разобраться в деталях практически отсутствовало [15, p. 156]. После коммерчески оправдываемых заявлений химиков XIX в. о возможностях химии воссоздать жизнь, для религиозно-этических и философско-этических взглядов это переросло в проблему. Тогда деятельность ученого стала расцениваться как конкуренция божественному замыслу. Все это происходило задолго до синтетической биологии, однако запрос на этическое переосмысление влияния человека на жизнь и условия ее возникновения усилился после заявления биолога Крейга Вентера 20 мая 2010 г. о создании «первой самовоспроизводящейся синтетической бактериальной клетки» [15, p. 158]. Вентер и институт, носящий его имя, заявили о намерениях синтезировать жизнь в лаборатории, что породило бурную реакцию СМИ, которые начали распространять концепцию «игры в бога», якобы разделяемую множеством ученых.

Ограничения этического осмысления синтетической биологии и поворот к эпистемологии

Со временем причин ослабления интереса к этическим проблемам, возникающим в связи с исследованиями в области химии и биологии, становится все больше, но основные были описаны Шуммером в том же 2016 г., когда им была обнаружена существенная разница между актуальным положением дел в синтетической биологии и заявлениями-обещаниями со стороны биологов-синтетиков и химиков. Через внимание к деталям вскоре обнаружилось, что такие заявления как: «...возможность контролировать генетику людей, животных и сельскохозяйственных растений значительно улучшит благосостояние человечества...», а также «...обычные люди, а также политики будут значительно лучше осведомлены о когнитивных, социальных и биологических силах, управляющих их жизнью, что позволит гораздо лучше приспособливаться» [17, р. 5–6], произнесенные в 2002 г. остались далеки от реальности.

Невнимательность к этой существенной разнице между действительным и желаемым породила философский и религиозный запрос на осмысление этических проблем, которые не только звучат футуристично: полный контроль человеческого генома, проблема киборгов и химер, но и, строго говоря, не имеют обоснованной корреляции с современными концепциями в синтетической биологии [14, р. 600].

С другой стороны, за последние пять лет тема эпистемологической ценности синтетической биологии и ее влияния на облик современной науки в целом стала играть заметную роль. Синтетические биологи, каждый по-своему, привносили в исследовательский процесс новшества, отличающиеся даже внутри самой синтетической биологии подходами, целями и методами. Такой методологический плюрализм не только существенно отличает синтетическую биологию от схожих с ней естественных наук, таких как биология или химия, но и экстраполирует подходы и цели синтетической биологии на феномен науки в целом. С 2000-х гг. мы наблюдаем влияние синтетической биологии на современную науку во внедрении концепции «инженерного метода» в последнюю, а также в ориентации на проектирование и расширение практики метода know-through-making (КТМ) в естественных науках [16, р. 119].

Применимость категорий «das Ontische» и «das Ontologische» к синтетической биологии

Среди новшеств синтетической биологии можно обнаружить не только исследовательские подходы, но следующие за этим изменения или глубокая модификация уже имеющихся в природе организмов [12, р. 1], а также создание новых организмов (генетически и функционально) [4; 5].

Улучшение естественных организмов или глубинное изменение их до такой степени, когда измененное генетически трудно сравнить с естественным прототипом увеличивает как ряд существующих объектов, так и ряд эпистемологических категорий, которые призваны их объяснять. Для тех существующих объектов, которых без должных изменений не могло существовать, мы использовали термин М. Хайдеггера – онтическое (*ontisch*), то есть все то, что относится к порядку существующего в качестве конечного сущего [3, с. 6].

Взятое нами разделение на онтическое и онтологическое, с нашей точки зрения, точно обнаруживает и закрепляет акценты на том, какое основание приписывается той или иной категории. Так, онтическое в философии Хайдеггера определяется непосредственно через свою эмпирическую достоверность, специально очищаясь от всякого внеобъектного содержания. Акцент на существовании объекта как объекта, без рассмотрения его внеобъектного основания, совпадает со взглядом биологов-синтетиков, рассматривающих любой исследуемый объект только как объект. В то же время онтологическое характеризует сами условия, делающие существование объекта возможным именно таким вот объектом. При этом необходимо отметить, что существуют важные различия – между *das ontologische* Хайдеггера, являющимся самым широким условием из возможных, и тем «*das ontologische*», которое используем мы, и которое принципиально гораздо более узкое. Различия в широте не изменяют акцент на основании, на том, что делает возможным некоторый объект «X». Под этим «*das ontologische*» мы подразумеваем методологию, о чем будет сказано в дальнейшем.

Каждая разработка синтетических биологов, независимо от направления, представляет из себя конкретное сущее. К таковым отно-

сятся и биороботы из смеси гидрогеля и кардиомиоцитов, напечатанные на 3D принтере [5, р. 1], и модифицированный штамм (КТ2440) почвенной бактерии *Pseudomonas putida* [10, р. 1], и клетки морской диатомовой водоросли *Phaeodactylum tricornutum* [12, р. 1]. Общим для них будет их конечная материальная форма, в которой они проявляют факт своего существования и, тем самым, обнаруживают сразу несколько моментов.

Первый из которых – очевидный факт собственного существования как физического объекта или вещи со своей внутренней структурой. Все они доступны нашему восприятию, что мы в точности видим в приведенных ранее примерах.

Второй – каждое такое конечное сущее отражает наличие сущности, то есть того, чем является эта вещь, чем она отлична от другой (не этой вещи). В контексте сущего, взятого из областей синтетической биологии, этим определителем (маркером), то есть тем, что отличает одно сущее от другого, может быть всего одна функция, или лишь возможность установить эту функцию. К примеру, между естественно эволюционировавшим организмом и синтетическим существует существенное различие. Оно совершенно не связано с рукотворностью или даже с очевидной телеологией синтетического. Главной отличительной чертой будет податливость к модификациям, а такой организм автоматически будет восприниматься как имплицитно содержащий в себе полезную функцию, и именно она будет являться ключевой в сравнении со всеми другими функциями организма. К примеру, синтетическая бактерия, которая создана в качестве биосенсора будет содержать в себе главную функцию, которая делает ее биосенсором. В то время как второстепенные функции, такие как репликация или передвижение будут несущественными [9, р. 7–9].

Возможность новой онтолого-эпистемологической категории «техноэпистемический объект»

Контролируемый отбор «полезных» или потенциально «полезных» организмов учеными в области синтетической биологии формирует постоянно растущий ряд онтического. В его состав входят не только целые организмы, но также и любой биосинтетический мо-

дуль, новый синтетический метаболический путь, целая система белковых взаимодействий, новый модифицированный, полусинтетический, синтетический белок, синтетические клеточные органеллы или целые синтетические геномы, при условии, что все это реализовано в конкретном наблюдаемом объекте и функционирует [13, р. 261–262, 264–265].

Такое увеличение онтического ряда неизбежно увеличивает и онтологическое содержание. Философы Т. Коль и Й. Фальк, взяв за основу классификацию объектов французского философа и историка науки Б. Бенсауд-Винсент, предложили ее для определения характеристик изучаемых объектов в технонауке, составляющих область того, что мы здесь называем онтическим. На наш взгляд эта классификация дает убедительные причины для формирования новой онтологической категории в технонауке. Коль и Фальк, основываясь на классификации Бенсауд-Винсент, сформировали четыре характеристики техноэпистемического объекта: узнаваемость, ценность, перформативность и материальная неограниченность.

Объект изучения в синтетической биологии отличается от других объектов тем, что необходимо обладает свойством подконтрольности; в синтетической биологии любой объект будет содержать такое свойство хотя бы потому, что история его разработки детерминирована социальной полезностью, а значит и функции такого объекта будут не случайными, а предсказуемыми и полезными для создателя. Но, более того, любой синтетический конструктор или объект представляет собой не только материальное сущее (онтическое), но и особую инструкцию, содержащую информацию о том, как этот конструктор был создан, и что он из себя представляет. Принципиально то, что этот «рецепт» не ограничивается конкретным материальным носителем и его эпистемологическая и функциональная ценности выше, чем у того сущего, что создано с его помощью.

Конкретное конечное сущее обрывается обязательным неотъемлемым контекстом его существования, то есть тем, что в терминологии Хайдеггера мы бы назвали онтологическим – тем, в силу чего это сущее существует. Этот контекст содержательно представляет собой совокупность условий, при которых можно создать такой объ-

ект и сам алгоритм создания этого объекта. Как только это и другие (описанные Колем и Фальком) условия удовлетворены, – происходит превращение эпистемического объекта в техноэпистемический. Когда любой объект науки, попадая в области технаук, начинает отвечать этим критериям: объект становится более доступен или узнаваем, обладает высокой ценностью (в сравнении с объектами вне этой области), перформативен и материально не ограничен.

Узнаваемость определяется как свойство объекта быть более доступным для понимания с внешней стороны. Обусловлено это и ориентированностью на социальные запросы, и упрощением или онтологической редукцией явления до более простого. Ценность представляет собой степень общественной оценки, то есть их эпистемологическая ценность детерминируется степенью полезности для социальных требований. Перформативность характеризует новизну объекта – сам факт изучения явления технаукой делает потенциальный изучаемый объект новым [9, р. 9]. А неограниченная материальность объясняется возможностью создать желаемую функцию, то есть отвечает тому, что мы называем податливостью к модификациям.

К примеру, в 2020 г. международной исследовательской группе под руководством Т. Миллера удалось сконструировать платформу для создания синтетических фотосинтезирующих систем [11]. Речь идет о биосистемах, сходных с зелеными клетками растений или водорослей – хлоропластами, способными превращать свет в химическую энергию. Сконструированная синтетическая платформа способна превращать энергию света в многоуглеродные соединения на основе углекислого газа, которая имеет возможность интеграции в естественные системы. Это не воссозданная растительная фотосинтезирующая клетка, а синтетический цикл превращений CO_2 в углеводные соединения, который может быть добавлен той или иной клетке или целому организму [11, р. 649, 653]. В данном случае мы можем увидеть соответствие таких синтетических каплеподобных клеток всем обозначенным выше критериям.

Поскольку платформа – это объект опыта как для неспециалиста, так и для специалиста, это делает ее «знакомой». Ее возможность интеграции в естественные системы обусловлена социальным запро-

сом на экологичность, что обнаруживает соответствие критерию ценности. Эта платформа воспринимается как нечто новое, поскольку представляет собой не фотосинтезирующую систему, а синтетический, и потому новый, цикл превращений CO_2 в углеродные соединения. И, наконец, эта платформа воспринимается как материально не ограниченная, поскольку обладает возможностью интеграции в нужный организм в нужном количестве.

**Развитие категории «техноэпистемический объект» –
необходимость переосмысления использования
термина «методология»**

Коль и Фальк предложили еще одну категорию – «технонаучные экспериментальные системы» [9, р. 10–11], она отличается от категории техноэпистемического объекта тем, что включает структуру/функцию и «рецепт» создания такой структуры/функции, а также модель объекта. Однако, мы считаем, что этот термин недостаточно корректен, поскольку «экспериментальная система» *prima facie* будет игнорировать все, что потенциально нельзя назвать «экспериментальным» или «системным». Этот термин, к тому же, лишь частично затрагивает роль исследования методологии в синтетической биологии.

Под методологией мы понимаем учение о принципах построения научного знания, то есть совокупности исследовательских средств и алгоритма их использования ученым для достижения своих исследовательских целей [1, с. 9]. Мы полагаем, что каждое конкретное сущее в предметном поле синтетической биологии есть не что иное, как овеществленное доказательство применимости конкретной методологии. Каждое такое сущее будет полноценным примером – оно существует и функционирует, и, в дополнение к нему, существует научное исследование, где описан процесс создания этого сущего, то есть совокупность фундаментальных принципов, средств, алгоритма и условий их взаимодействия, при котором это сущее будет реализовано. Подтверждением этого может служить любая работа по синтетической биологии, которая создает какой-либо биосинтетичес-

кий элемент или целую систему. К примеру, работы Сяоянь Го [8] или К. Петкевичус [13].

Из этого следует, что как модифицированный дрожжевой штамм ВУ-Т20 [19, р. 1], так и простейшая схема белков-репрессоров, имеющих два взаимозависимых стабильных состояния, условно названных «включенным» и «выключенным» [6, р. 118], являются необходимо редуцируемыми к методологии сущими. Поскольку именно возможность их воспроизводства, зачастую в промышленном масштабе, по предоставленному научному сообществу «рецепту» – точной инструкции процесса проведения эксперимента, – и является конечным продуктом любой школы синтетической биологии.

Каждый такой объект, – будь то новый синтетический метаболический путь, или синтетические клеточные органеллы, или целый синтетический геном, – имеет причиной своего существования фундаментальные физико-химические законы природы и конкретную, сопутствующую этому объекту, методологию.

Обоснуем тезис о применимости в данном контексте методологии. Каждое конечное материальное сущее, редуцируется к информации, которой это сущее необходимо обладает и является им в силу того, что этой информацией оно обладает. Однако далеко не всякой информацией, а наследственной. Последняя в полной степени относится к биологическим существам, хотя может относиться и к некоторым компьютерным программам. Она является неотъемлемой частью того сущего, которое представляет нам синтетическая биология. Эта онтологическая редукция, проведенная нами, должна пониматься здесь как каузальная взаимосвязь между X и Y , где Y причинно обусловлен X [2, с. 129].

К примеру, синтетические дрожжи/платформы/клетки (Y) функционируют известным образом потому, что у них есть генетическая (наследственная) информация (X). И, как правило, все функции, а также атрибуты сущего вообще, содержатся в геноме, тем самым они считаются генетической или наследственной информацией. Следует опустить вопрос влияния среды на работу генов, поскольку его добавление внесет существенные трудности для понимания влияния наследственной информации на своего носителя, разрешение кото-

рых неосуществимо в рамках этой статьи. Однако любое сущее, которое создает синтетическая биология, содержит не только наследственную информацию, но и техническую. Первый вид информации содержится непосредственно в самом этом сущем, второй, в свою очередь, существует косвенно, как необходимый, по возможности удаляемый или скрываемый, вид информации. Необходимый он по той причине, что начало существования сущего, любого сущего в пределах исследований по синтетической биологии, невозможно без этого вида информации. Эта информация может быть удалена, и сущее не перестанет существовать, и быть этим сущим. Однако синтетическое или рукотворное начало без технической информации сущее может обрести лишь случайно, чего не происходит в синтетической биологии.

Техническая информация содержит в себе широкий набор данных об условиях создания конкретного сущего. В нее входят данные замеров и тестов, данные об используемых частях ДНК и способах воздействия на нее, данные о результатах, конечных продуктах и их биохимических аналогов. К примеру, в исследованиях школ метаболической инженерии и устройств на основе ДНК техническая информация, будь то информация о создании генетического контроллера на основе РНК для контролируемой посттранскрипционной регуляции генов [18, р. 2-3], или инструкция по созданию белковых компартментов для ускорения и улучшения метаболических реакций [7, р. 2-3] будет, на наш взгляд, эпистемологически ценной системой принципов, подходов и методов по воссозданию конечного сущего или его структурных элементов, что мы здесь называем методологией конкретных направлений в синтетической биологии. Здесь стоит заметить, что это касается не всякого конечного сущего, но только того, который обладает необходимыми, зачастую экономически и технически полезными функциями и особенностями.

Таким образом, основные достижения синтетической биологии были рассмотрены в статье с привлечением концепции М.Хайдеггера, которая позволяет выделить в синтетической биологии две составляющие. Первая – это совокупность объектов – конечное сущее или онтический ряд (биосинтетический модуль, синтетический метаболи-

ческий путь, любой иной компартмент или целая синтетическая система или система систем). Вторая – то, в силу чего названная совокупность существует – онтологическое содержание. Данная ситуация необходимо предполагает введение новой онтолого-эпистемологической категории. Подобная категория ранее была предложена философами Т. Колем и Й. Фальком – «техноэпистемический объект». Однако она нуждается, на наш взгляд, в расширении своего содержания. Это расширение должно включать не только модель и «рецепт» создания такого объекта, но и методологию как совокупность условий существования конечного сущего и его осуществимости.

Обнаружено, что фабрикование нового сущего количественно расширяет ряд онтического и неизбежно формирует новую онтологическую категорию, призванную объяснить это новое сущее. В совокупности с переосмыслением влияния и значения термина «методология» открываются новые возможности в исследовании процессов трансформации научного знания в рамках философии науки, синтетической биологии и смежных им дисциплин.

Литература

1. *Ипполитова Н.В.* Взаимосвязь понятий «Методология» и «Методологический подход» // Вестник ЮУрГУ. Серия: Образование. Педагогические науки. 2009. № 13 (146). С. 9–15.
2. *Суровягин Д.П.* Объяснительная модель редукции: эпистемологический и онтологический аспекты // Философская мысль. 2018. № 12. С. 128–142.
3. *Хайдеггер М.* Бытие и время. М.: Ad Marginem, 1997. 461 с.
4. *Chan L.Y., Kosuri S., Endy D.* Refactoring bacteriophage T7 // Molecular Systems Biology. 2005. Vol. 1, Iss. 18. P. 1–10.
5. *Chan V., Park K., Collens M.B., Kong H., Saif T.A., Bashir R.* Development of miniaturized walking biological machines // Scientific Reports. 2012. Vol. 2, Iss. 857. P. 1–8.
6. *Cherry J.L., Adler F.R.* How to Make a Biological Switch // Journal of Theoretical Biology. 2000. Vol. 203, Iss. 2. P. 117–133.
7. *Fang Z., Zhu Y.J., Qian Z.G., Xia X.X.* Designer Protein Compartments for Microbial Metabolic Engineering // Current Opinion in Biotechnology. 2024. Vol. 85. Iss. 103062. URL: <https://doi.org/10.1016/j.copbio.2023.103062> (accessed: 07.04.2025).

8. Guo X., Sun J., Li D., Lu W. Heterologous Biosynthesis of (+)-Nootkatone in Unconventional Yeast *Yarrowia Lipolytica* // *Biochemical Engineering Journal*. 2018. Vol. 137. P. 125–131.
9. Kohl T., Falk J. Knowledge Objects of Synthetic Biology: From Phase Transitions to the Biological Switch. // *Journal for General Philosophy of Science / Zeitschrift für Allgemeine Wissenschaftstheorie*. 2020. Vol. 51, Iss. 1. P. 1–17.
10. Martínez-García E., de Lorenzo V. *Pseudomonas putida* as a synthetic biology chassis and a metabolic engineering platform // *Current Opinion in Biotechnology*. 2024. Vol. 85. Iss. 103025.
11. Miller T.E., Beneyton T., Schwander T. et al. Light-Powered CO₂ Fixation in a Chloroplast Mimic with Natural and Synthetic Parts // *Science*. 2020. Vol. 368, Iss. 6491. P. 649–654.
12. Pampuch M., Walker E.J.L., Karas B.J. Towards synthetic diatoms: The *Phaeodactylum tricornutum* Pt-syn 1.0 project // *Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry*. 2022. Vol. 35. Iss. 100611.
13. Petkevicius K., Löfstedt C., Borodina I. Insect Sex Pheromone Production in Yeasts and Plants // *Current Opinion in Biotechnology*. 2020. Vol. 65. P. 259–267.
14. Pio-Lopez L. The rise of the biocyborg: synthetic biology, artificial chimerism and human enhancement // *New Genetics and Society*. 2021. Vol. 40, No. 4. P. 599–619.
15. Schummer J. «Are you playing God?»: Synthetic Biology and the Chemical Ambition to Create Artificial Life // *Hyle: International Journal for Philosophy of Chemistry*. 2016. Vol. 22. Iss. 1. P. 149–172.
16. Schummer J. Knowing-through-Making in Chemistry and Biology // *Hyle: International Journal for Philosophy of Chemistry*. 2021. Vol. 27. Iss. 1. P. 117–142.
17. Roco M.C. *Converging Technologies for Improving Human Performance: Nanotechnology, Biotechnology, Information Technology and the Cognitive Science*. Virginia: National Science Foundation, 2002. 482 p.
18. Takahashi K., Galloway K.E. RNA-Based Controllers for Engineering Gene and Cell Therapies // *Current Opinion in Biotechnology*. 2024. Vol. 85. Iss. 103026.
19. Zhang Y., Bian S., Liu X. et al. Synthesis of Cembratriene-Ol and Cembratriene-Diol in Yeast via the MVA Pathway // *Microbial Cell Factories*. 2021. Vol. 20. Iss. 29.

References

1. Ippolitova, N.V. Vzaimosvyaz' ponyatiy «Metodologiya» i «Metodologicheskii podkhod» [The Relationship Between the Concepts of «Methodology» and «Methodological Approach»] // *Vestnik YuUrGU. Seriya: Obrazovanie. Pedagogicheskie nauki* [Bulletin of SUSU. Series: Education. Pedagogical Sciences], 2009. No. 13 (146). (In Russ.).

2. *Surovyagin, D.P.* Ob'yasnitel'naya model' reduktzii: epistemologicheskii i ontologicheskii aspekty [The Explanatory Model of Reduction: Epistemological and Ontological Dimensions] // *Filosofskaya mysl'* [Philosophical thought], 2018. No. 12.
3. *Khaydegger, M.* Bytie i Vremya [Being and Time]. Moscow: Ad Marginem, 1997. 461 p. (In Russ.).
4. *Chan, L.Y., Kosuri, S., Endy, D.* Refactoring bacteriophage T7 // *Molecular Systems Biology*. 2005. Vol. 1, Iss. 0018. P. 1–10.
5. *Chan, V. et al.* Development of miniaturized walking biological machines // *Scientific Reports*. 2012. Vol. 2, Iss. 857. P. 1–8.
6. *Cherry, J.L., Adler, F.R.* How to Make a Biological Switch // *Journal of Theoretical Biology*. 2000. Vol. 203, Iss. 2. P. 117–133.
7. *Fang, Z., Zhu, Y.J., Qian, Z.G., Xia, X.X.* Designer Protein Compartments for Microbial Metabolic Engineering // *Current Opinion in Biotechnology*. 2024. Vol. 85. Iss. 103062.
8. *Guo, X., Sun, J., Li, D., Lu, W.* Heterologous Biosynthesis of (+)-Nootkatone in Unconventional Yeast *Yarrowia lipolytica*. // *Biochemical Engineering Journal*. 2018. Vol. 137. P. 125–131.
9. *Kohl, T., Falk, J.* Knowledge Objects of Synthetic Biology: From Phase Transitions to the Biological Switch // *Journal for General Philosophy of Science / Zeitschrift für Allgemeine Wissenschaftstheorie*. 2020. Vol. 51, Iss. 1. P. 1–17.
10. *Martínez-García, E., de Lorenzo, V.* *Pseudomonas putida* as a synthetic biology chassis and a metabolic engineering platform // *Current Opinion in Biotechnology*. 2024. Vol. 85. Iss. 103025.
11. *Miller, T.E., et al.* Light-Powered CO₂ Fixation in a Chloroplast Mimic with Natural and Synthetic Parts // *Science*. 2020. Vol. 368, Iss. 6491. P. 649–654.
12. *Pampuch, M., Walker, E.J.L., Karas, B.J.* Towards synthetic diatoms: The *Phaeodactylum tricornutum* Pt-syn 1.0 project // *Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry*. 2022. Vol. 35. Iss. 100611.
13. *Petkevicius, K., Löfstedt, C., Borodina, I.* Insect Sex Pheromone Production in Yeasts and Plants // *Current Opinion in Biotechnology*. 2020. Vol. 65. P. 259–267.
14. *Pio-Lopez, L.* The rise of the biocyborg: synthetic biology, artificial chimerism and human enhancement // *New Genetics and Society*. 2021. Vol. 40, No. 4. P. 599–619.
15. *Roco, M.C.* Converging Technologies for Improving Human Performance: Nanotechnology, Biotechnology, Information Technology and the Cognitive Science. Virginia: National Science Foundation, 2002. 482 p.
16. *Schummer, J.* «Are you playing God?»: Synthetic Biology and the Chemical Ambition to Create Artificial Life. // *Hyle: International Journal for Philosophy of Chemistry*. 2016. Vol. 22, Iss. 1. P. 149–172.
17. *Schummer, J.* Knowing-through-Making in Chemistry and Biology // *Hyle: International Journal for Philosophy of Chemistry*. 2021. Vol. 27, Iss. 1. P. 117–142.
18. *Takahashi, K., Galloway, K.E.* RNA-Based Controllers for Engineering Gene and Cell Therapies // *Current Opinion in Biotechnology*. 2024. Vol. 85. Iss. 103026.

19. Zhang, Y., Bian, S., Liu, X. *et al.* Synthesis of Cembratriene-Ol and Cembratriene-Diol in Yeast via the MVA Pathway // Microbial Cell Factories. 2021. Vol. 20. Iss. 29.

Информация об авторах

Николаева Евгения Михайловна – кафедра общей философии, Казанский (Приволжский) федеральный университет, профессор, доктор философских наук, профессор (420008, Казань, ул. Кремлевская, 18).

kaisa1011@rambler.ru

Лагутин Марк Владимирович – кафедра общей философии, Казанский (Приволжский) федеральный университет, ассистент (420008, Казань, ул. Кремлевская, 18).

marq.lagutin@yandex.ru

Information about the author

Nikolaeva, Evgeniya Mikhailovna – Department of General Philosophy, Kazan (Volga Region) Federal University, Doctor of philosophical sciences, professor (18, Kremlevskaya Str., Kazan, 420008, Russia).

kaisa1011@rambler.ru

Lagutin, Mark Vladimirovich – Department of General Philosophy, Kazan (Volga Region) Federal University, assistant (18, Kremlevskaya Str., Kazan, 420008, Russia).

marq.lagutin@yandex.ru

Дата поступления 06.05.2025.
Принята к публикации 01.09.2025.