

Иван Кузин*

КОНЦЕПЦИЯ ГЕНЕТИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ И ИСТОРИЧЕСКАЯ ЭПИСТЕМОЛОГИЯ**

Получено: 02.05.2022. Рецензировано: 21.05.2022. Принято: 30.05.2022.

Аннотация: Концепция информации в молекулярной биологии и генетике обладает двойственностью, присущей всякому канону: с одной стороны, сейчас она выглядит универсальной, трудно помыслить выход за ее пределы, с другой — историки науки показывают, что ее возникновение культурно контингентно и связано с «информатизацией» науки и общества во время Второй мировой и холодной войны. Такого рода двойственность является предметом анализа исторической эпистемологии (критического презентизма), которая пытается понять науку, с одной стороны, как рациональную (истина универсальна), с другой — как контингентную (возможны другие миры научного знания). В данной статье на примере концепции генетической информации показано, как первая цель исторической эпистемологии достигается критикой науки прошлого при помощи современного научного и философско-научного знания, а вторая цель — критикой современной науки с позиции науки прошлого. Стремительный взлет концепции информации в биологии в середине XX века и быстрый переход от количественной математической теории информации к информационно-лингвистическим метафорам может быть рационально понят в рамках телеосемантической интерпретации информации, разрабатываемой в современной философии биологии. С другой стороны, углубляясь в прошлое биологии, мы обнаруживаем все более радикальные альтернативы господствующей концепции информации и сопряженным с ней информационно-лингвистическими метафорам: от математической теории информации к «химической» концепции абсолютной специфичности как стереоспецифичности до «физической» концепции относительной специфичности как следствия коллективных эффектов. Эта историческая перспектива позволяет различить возможные альтернативы концепции информации и в современной биологии.

Ключевые слова: биологическая специфичность, возможные миры, генетическая информация, историческая контингентность, историческая эпистемология, история биологии, презентизм, философия биологии.

DOI: 10.17323/2587-8719-2022-2-114-147.

*Кузин Иван Александрович, к. филос. н.; преподаватель Национального исследовательского университета «Высшая школа экономики» (Москва); научный сотрудник Института гуманитарных историко-теоретических исследований имени А. В. Полетаева (ИГИТИ, Москва), ikuzin@gmail.com, ORCID: 0000-0003-3073-4120.

**© Кузин, И. А. © Философия. Журнал Высшей школы экономики.

Благодарности: статья поддержана грантом РНФ № 22-18-00450 «Концепции множества миров как инструмент научного поиска и междисциплинарного синтеза знания»: <https://rscf.ru/project/22-18-00450/>.

Информация — флогистон XX века.

Научный фольклор

ВВЕДЕНИЕ

Расшифровка генетического кода в 1950–1960-х годах способствовала оформлению молекулярной биологии как самостоятельной дисциплины, стала символом проникновения концепции информации в биологию. В то же время перспективы развития геной и биологической инженерии, синтетической биологии заставляют задуматься о границах применимости этой концепции. Например, стандартное описание технологии генетической модификации CRISPR¹ при помощи информационно-лингвистической метафоры «редактирования» генов может приводить к переоценке точности этой технологии, применяемой в том числе для модификации ДНК человеческих эмбрионов (O’Keefe et al., 2015). Можно ли представить выход за пределы информационного дискурса в молекулярной биологии? Как в этом могут помочь история и философия науки? Для ответа на эти вопросы в данной статье будут рассмотрены место концепции генетической информации в современной биологии, споры вокруг этой концепции в современной философии биологии, история концепции биологической информации и ее предшественника — концепции биологической специфичности — и, наконец, возможный синтез научного, философско-научного и историко-научного знания трех точек зрения в рамках исторической эпистемологии. Задача такого синтеза — критически отнестись к научному знанию (в том числе современному), это установка критического презентизма.

КОНЦЕПЦИЯ ГЕНЕТИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ В СОВРЕМЕННОЙ БИОЛОГИИ

Непосредственным поводом для написания этой статьи является книга Лили Кей «Кто написал „Книгу Жизни“? История генетического кода»² (Кау, 2000). Лили Кей — ныне покойный историк молекулярной

¹CRISPR — от англ. clustered regularly interspaced short palindromic repeats — короткие палиндромные повторы, регулярно расположенные группами. Здесь и далее мы не будем указывать источники, использованные для пояснения стандартной молекулярно-биологической терминологии.

²Мы подробно обсуждаем книгу Кей и ее значение в другом месте (Кузин, 2021). В настоящей работе мы представляем концепцию генетической информации в более широком контексте с привлечением новых источников.

биологии³ — утверждает, что господство информационного дискурса⁴ в биологии, к которому все привыкли, на самом деле является исторически и культурно контингентным, возможны и другие способы познания.

На первый взгляд, этот тезис удивителен. Я приведу несколько примеров, иллюстрирующих роль концепции генетической информации⁵ в биологии. Наверное, самый важный пример — это центральная догма молекулярной биологии, описывающая перенос информации между главными носителями наследственности — нуклеиновыми кислотами⁶ — и главными функциональными молекулами клетки — белками⁷. Что означает слово «информация» в данном контексте? В первоисточнике, статье 1958 года, Френсис Крик поясняет (Crick, 1958):

Под информацией здесь подразумевается точное определение последовательности оснований в нуклеиновой кислоте либо аминокислотных остатков в белке.

³Молекулярная биология занимается изучением структуры и функций биологических макромолекул, в первую очередь белков и нуклеиновых кислот.

⁴Кей понимает дискурс в смысле М. Фуко — как совокупность правил производства высказываний и сопряженных с ними социальных практик, одновременно ограничивающую и продуктивную. Мы сохраним термин «дискурс» при изложении взглядов Кей, но в целом данной работе мы используем термин «концепция», исследуем концепцию информации в биологии (точнее, в молекулярной биологии, молекулярной генетике). Мы предполагаем, однако, что эта концепция неразрывно связана с информационным дискурсом в молекулярной биологии, описанным Кей. Понятие концепции является очень гибким, но при этом позволяет выделить предметную область. Под концепцией мы понимаем либо нечто промежуточное между понятием и теорией (концепция как определенная интерпретация ключевого понятия, недостаточно систематичная, чтобы называться теорией), либо нечто промежуточное между метафорой и теорией, в духе названия статьи «Генетическая информация: метафора в поисках теории» (Griffiths, 2001).

⁵В биологии, если не учитывать нейронауки, науки о поведении и области, граничащие с психологией, информационные метафоры применяются в первую очередь к нуклеиновым кислотам и белкам, которые изучает молекулярная биология. Таким образом, в данной статье под биологической информацией в соответствии со сложившейся практикой словоупотребления мы будем подразумевать именно информацию в молекулярно-биологическом смысле — генетическую информацию (Godfrey-Smith & Sterelny, 2016).

⁶Нуклеиновые кислоты — полимеры, синтезируемые клеткой из мономеров-нуклеотидов. Специфичность нуклеотида определяется входящим в его состав азотистым основанием. Приводимые в данной статье базовые сведения из области молекулярной биологии можно почерпнуть, например, из классического учебника «Молекулярная биология гена» (Watson et al., 2014).

⁷Белки — полимеры, синтезируемые клеткой из мономеров-аминокислот.

Согласно центральной догме, возможен перенос информации от нуклеиновой кислоты (ДНК⁸ или РНК⁹) к другой нуклеиновой кислоте (ДНК или РНК) или к белку, но перенос информации от белка к нуклеиновой кислоте невозможен¹⁰ (Crick, 1958: 153).

В качестве второго примера рассмотрим генетический код. В научно-популярной литературе генетическим кодом часто называют последовательность нуклеотидов или оснований в нуклеиновых кислотах, но это неграмотно. С точки зрения математической и молекулярно-биологической терминологии правильно под кодом понимать соответствие между тройками (триплетами) нуклеотидов в нуклеиновых кислотах и аминокислотами в белках. Генетический код описывает один из элементов центральной догмы — перенос информации от РНК к белкам. Так как такая РНК служит матрицей для синтеза белка, то по-русски ее называют матричной (мРНК), а по-английски — messenger RNA (mRNA). Генетический код представляют в виде таблицы $4 \times 4 \times 4$, чтобы наглядно изобразить соответствие шестидесяти четырех возможных триплетов из четырех типов нуклеотидов двадцати типам аминокислот. Для оправдания информационного дискурса в молекулярной биологии важно, что генетический код «произволен». Под произвольностью подразумевают, что соответствие между аминокислотами и тройками нуклеотидов могло бы быть и другим, нет каких-то фундаментальных химических или физических причин, которые бы объясняли наблюдаемое соответствие¹¹. С химической точки зрения эта произвольность генетического кода обеспечивается тем, что определенная тройка нуклеотидов (кодон) и соответствующая ей аминокислота взаимодействуют лишь опосредованно — через соответствующую адаптерную молекулу (транспортную РНК, тРНК). В результате присоединение аминокислоты к тРНК и узнавание антикодона тРНК кодоном матричной / информационной РНК оказываются независимыми. Экспериментально показано, что за счет модификации транспортных РНК можно произвольно изменять генетический код и даже расширять его, добавляя новые аминокислоты

⁸ ДНК — дезоксирибонуклеиновая кислота.

⁹ РНК — рибонуклеиновая кислота.

¹⁰ Центральная догма является важным обобщением потому, в частности, что накладывает ограничение на возможность наследования приобретенных признаков (ламарковское наследование), так как в общем случае такое наследование предполагало бы перенос информации от белка к нуклеиновым кислотам.

¹¹ В отличие, например, от стереохимического соответствия между расположенными друг напротив друга нуклеотидами в двойной спирали ДНК (см. раздел 3).

(Malyshev et al., 2014). Эта произвольность генетического кода является источником лингвистических метафор в соответствии с тезисом лингвиста Фердинанда де Соссюра о произвольности связи между словом и тем, что это слово обозначает (Barbieri, 2009).

Суммировать статус концепции генетической информации можно словами эволюциониста Джона Мейнарда Смита¹²: «Идея информации является центральной в современной биологии»¹³ (Maynard Smith, 2000).

КРИТИКА КОНЦЕПЦИИ ИНФОРМАЦИИ В СОВРЕМЕННОЙ ФИЛОСОФИИ БИОЛОГИИ

Какое значение концепция информации имеет для науки? Ответы на этот вопрос включают в себя прямо противоположные варианты. Норберт Винер, основатель кибернетики, утверждал, что на смену эпохе вещества приходит эпоха энергии, на смену эпохе энергии приходит эпоха информации, в которую мы живем. То есть информация, по Винеру, — это такое же фундаментальное научное и техническое понятие, как вещество и энергия (Винер, Соловьев, 1958: 57). Противоположная позиция отражена во фразе из научного фольклора, авторство которой нам не удалось установить: «Информация — флогистон XX века». Это значит, что концепция информации привлекательна, позволяет решать определенные задачи, но со временем она исчезнет из науки и о ней забудут так же, как химики забыли о флогистоне¹⁴.

Так кто же прав? Дадим предварительное определение понятия информации, обратившись к одноименной статье в Стэнфордской философской энциклопедии. Современные представления об информации так или иначе связаны с математической теорией информации, в рамках которой информация рассматривается как запомненный выбор одной (или нескольких) из некоторого числа альтернатив. Обычно исходят

¹²Мейнард Смит является, в частности, соавтором концепции главных эволюционных переходов — ключевых изменений способов хранения, передачи и реализации биологической (в первую очередь генетической) информации, позволяющей обозреть всю биологическую эволюцию «с высоты птичьего полета» (The Major Transitions in Evolution, 2001). Это еще один важный пример использования концепции информации в современной биологии.

¹³В качестве иллюстрации можно привести и более современные работы. Например, нобелевский лауреат по физиологии и медицине Пол Нерс в недавно вышедшей книге «Что такое жизнь? Пять великих идей в биологии» включает в этот список идею жизни как информации (Nurse, 2021).

¹⁴Любопытно, что и флогистон, и информация в некотором смысле невещественны (в частности, невесомы).

из того, что, во-первых, информация (или получение информации) уменьшает неопределенность и, во-вторых, информация экстенсивна (мера информации аддитивна). Этим двум требованиям удовлетворяет мера информации, которую предложил Клод Шеннон в 1948 году, — отрицательный логарифм вероятности события (Adriaans, 2020).

Мы не будем подробно рассматривать общее представление об информации, так как есть много разных интерпретаций этой концепции, а сразу перейдем к информации в биологии. В философии биологии по крайней мере начиная с 1990-х годов идет спор между сторонниками синтаксической (чисто синтаксической) и семантической интерпретации информации (Godfrey-Smith & Sterelny, 2016). Сам Шеннон утверждал, что его концепция информации является только синтаксической (ничего не говорит о семантике и прагматике), ее также называют корреляционной концепцией информации. Она предполагает, что любая переменная (ее называют сигналом) содержит информацию относительно другой переменной (ее называют источником), если значения (состояния) этих переменных систематически коррелируют (условие систематической корреляции называют каналом)¹⁵. Такую концепцию информации можно применять к любым корреляциям, не обязательно к причинным связям. Чем лучше состояние сигнала позволяет предсказывать состояние источника, тем больше информации об источнике содержит сигнал. В семиотических терминах это означает, что синтаксическая концепция информации лишь описывает отношения между переменными-знаками (синтаксис), не приписывая им какого-то значения (семантики) и смысла (прагматики).

Использование синтаксической концепции информации в биологии приводит к парадоксу (Griffiths, 2001). Как известно, фенотип (совокупность признаков организма) определяется взаимодействием между генотипом (генетической наследственностью) и средой. Обычно при

¹⁵Под переменной здесь подразумевается любая измеримая величина, дискретная или непрерывная. Например, наличие или отсутствие дыма в помещении коррелирует с наличием или отсутствием открытого огня и, соответственно, содержит информацию о наличии открытого огня в помещении («нет дыма без огня»). Или, если интерпретировать эти величины как непрерывные, степень задымления помещения коррелирует с площадью открытого огня и, соответственно, содержит информацию об этой площади. В качестве канала передачи информации в этих примерах выступает целый комплекс факторов (закрытость помещения, перемешивание воздуха внутри помещения и т. д.), каждый из которых может находиться в различных состояниях (помещение может быть менее или более закрытым, части помещения могут в большей или в меньшей степени сообщаться друг с другом и т. д.).

исследовании формирования фенотипа генотип рассматривается как источник, а условия среды — как состояние канала передачи информации. Однако с точки зрения минимальной, корреляционной концепции информации источник и состояние канала (*channel condition*) обладают паритетом (*parity*): их роли всегда можно поменять местами¹⁶. Это означает, что в одних ситуациях среду можно рассматривать как источник информации, а генотип — как состояние канала передачи этой информации, а в других — наоборот. Для молекулярного биолога это утверждение выглядит парадоксальным, так как генетическая информация является для него информацией *par excellence*: неслучайно в биологии нет общепринятого термина, обозначающего «средовую» информацию. Тем не менее паритет генотипа и среды используется в биологии, например, в близнецовом методе. Рассмотрим в упрощенном виде этот метод, используемый в генетике для определения относительного вклада генотипа и среды в формирование различных признаков (например, интеллектуальных способностей) (Downes & Matthews, 2020). Если среда, в которой воспитывались два человека, одинаковая, но генотип у них разный (семья усыновила двух неродственных детей), то различия (точнее, дисперсия) между признаками этих двух людей во взрослом возрасте (например, в уровне умственных способностей) интерпретируется как следствие различий в генотипе. Это привычная ситуация, когда генотип является источником информации о фенотипе, а условия среды — состоянием канала. Однако если генотип одинаковый, но окружение разное (одноййцевые — то есть генетически идентичные — близнецы усыновлены разными семьями), то различия между одноййцевыми близнецами интерпретируется как следствие разницы в условиях среды. В таком случае среда рассматривается как источник информации, а фиксированный генотип рассматривается как состояние канала (Griffiths, 2001).

Многие философы предполагают, что данный парадокс разрешается в рамках возникшей в 1990-е годы семантической концепции генетической информации, приписывающей значение (*meaning*) генетической,

¹⁶Например, при тестировании монитора компьютера при помощи тестового изображения происходит, по сравнению с нормальным функционированием монитора, следующая перемена ролей: состояния монитора из состояний канала передачи превращаются в источник информации, а подаваемое на вход изображение из источника информации превращается в одно из возможных состояний канала. Роль сигнала по-прежнему выполняет реальное (возможно, дефектное по сравнению с тестовым) изображение на экране монитора.

но не средовой информации (Godfrey-Smith & Sterelny, 2016). Например, в качестве значения генов рассматриваются белки или признаки организма, а среда расценивается лишь как условие реализации этой генетической информации. В результате восстанавливается привычная асимметрия между генотипом и средой. Как обосновывают семантическую концепцию¹⁷? Можно рассматривать семантическую интерпретацию просто как удобную фикцию (Levy, 2011), но это скорее уход от ответа на вопрос. Можно проводить детальную аналогию между механизмом наследственности и искусственными механизмами передачи информации, и сама детальность этой аналогии должна указывать на то, что мы можем приписывать генетической информации семантический аспект¹⁸ (Godfrey-Smith & Sterelny, 2016). На наш взгляд, такая аналогия может увести в сторону. Молекулярный биолог Ф. Жакоб в шутку сравнивал генетический код с китайской «Книгой Перемен» (Кау, 2000: 315–319). Их структуры можно представить в виде таблицы 4×4×4, отражающей все возможные варианты объединения в тройки четырех базовых элементов (в случае генетического кода базовыми элементами являются четыре типа нуклеотидов, объединяемые в тройки, каждая из которых соответствует либо определенной аминокислоте, либо сигналу окончания синтеза белка). Если детальность аналогии сама по себе является аргументом, то должна быть какая-то глубокая связь между генетическим кодом и «Книгой перемен» и нужно каким-то образом эту связь объяснять, интерпретировать, что в рамках натуралистического подхода выглядит абсурдным.

Альтернативный подход связан с так называемой телеосемантикой (Godfrey-Smith & Sterelny, 2016). Телеосемантическая концепция информации возникла в 1980-е годы в рамках философии сознания, она претендует на объяснение основного свойства семантики — направленности знака на некоторый объект (это свойство также можно назвать телеологичностью или интенциональностью). Интенциональность генетической информации в рамках этого подхода рассматривается как производная от телеологичности соответствующей функции организма,

¹⁷Статус семантической концепции генетической информации важен также потому, что с ним напрямую связан статус лингвистических, биосемиотических метафор «языка» нуклеиновых кислот и «языка» белков (так как не может быть языка без семантики).

¹⁸На наш взгляд, аналогичным является подход биосемиотики, в рамках которой проводится детальная аналогия между, например, генетическим кодом и языковыми системами (Золян, 2018).

а телеологичность функции — как кажущаяся, возникающая механистически под действием естественного отбора на эту функцию. Например, глаз возникает в результате естественного отбора на функцию зрения, в ходе этого отбора формируются соответствующие гены; семантика этих генов, их направленность на создание глаза в ходе онтогенеза (индивидуального развития организма) является производной от филогенеза (эволюционной истории)¹⁹. В рамках семантической концепции генетической информации возникает вопрос, что является отправителем сообщения и что является получателем²⁰. В качестве отправителя сообщения рассматривают, например, естественный отбор, который «фильтрует» генофонд популяции, изменяет частоты аллелей (вариантов генов) в популяции. В качестве получателя сообщений тогда рассматривают систему онтогенеза организма, которая интерпретирует последовательность нуклеотидов в гене, «сообщение» от естественного отбора. Такую схему предлагал, в частности, Мейнард Смит (Maynard Smith, 2000).

Критики телеосемантической интерпретации указывают на ряд связанных с ней трудностей (Godfrey-Smith & Sterelny, 2016). Во-первых, бросается в глаза размытость понятий отправителя и получателя информации. В частности, онтогенез распадается на разные блоки, на разные стадии (более того, само подразделение на стадии можно считать условным), поэтому онтогенетическая система — довольно абстрактное, отдаленное от опыта понятие. Естественный отбор — это тоже естественным образом абстракция или даже идеализация. Неясно, можно ли рассматривать эти теоретические объекты в качестве отправителя и получателя информации²¹. Кроме того, в зависимости от контекста бу-

¹⁹Мы предполагаем, что позднее привлечение теории эволюции к спорам о биологической информации (как для обоснования телеосемантики, так и для ее критики, что будет показано в разделе 4) связано с тем, что в середине XX века, когда концепция информации начала проникать в биологию, теория эволюции еще не обладала достаточным весом. А на границе XIX и XX века дарвинизм вообще ассоциировался с беспочвенными спекуляциями относительно происхождения различных видов и таксонов (Gilbert & Greenberg, 1984: 30).

²⁰В рамках синтаксической концепции информации отправитель и получатель необязательны, несмотря на то что в известную схему К. Шеннона они входят. Достаточно наличия источника, канала, сигнала и корреляции между состояниями источника и сигнала.

²¹Заметим, однако, что важная с точки зрения критики телеосемантики теория систем развития, которая будет рассмотрена ниже, также опирается на концепцию системы развития (включающую не только онтогенез организма, но и взаимодействующую с ним среду).

дет меняться отправитель и получатель информации. Так, если изучать передачу генетической информации от родителей потомкам (например, точность ее передачи) не в масштабе популяции, а в масштабе одной семьи, то в таком случае отправителями информации будут родители, а получателями — их потомки.

Во-вторых, неопределенным является понятие произвольности соответствия (Godfrey-Smith & Sterelny, 2016; Stotz & Griffiths, 2017). Кроме произвольности соответствия между тройками нуклеотидов и аминокислотами в генетическом коде, также говорят о произвольности соответствия между активаторами/ингибиторами и субстратами ферментов в случае аллостерической регуляции²², о произвольности соответствия между генами и их выражением в фенотипе (функция гена может радикально изменяться в ходе эволюции²³). Однако произвольность соответствия не является абсолютной, она определяется количеством и «качеством» опосредующих звеньев между причиной и следствием, источником и сигналом. Соответственно, как утверждают критики телеосемантики, непонятно, в каких случаях можно использовать аргумент от произвольности в пользу семантической концепции, а в каких — нет.

Мы выделим еще одну, третью трудность: телеосемантика заранее принимает адаптационизм — тезис об исключительной роли естественного отбора и адаптации в эволюции. Ряд современных биологов и философов подвергает этот тезис критике как недостаточно плюралистический взгляд на эволюцию (Gould & Lewontin, 1979; Кузин, 2015). По нашему мнению, телеосемантика хорошо иллюстрирует, как адаптационизм сочетается с геноцентризмом (тезисом об исключительной роли генов в наследовании, онтогенезе и эволюции), который также подвергается критике. Сочетание адаптационизма и геноцентризма палеонтолог Стивен Джей Гулд называл ультрадарвинизмом, подчеркивая тем самым, что эта позиция не является мейнстримом. Для философии и теории эволюции важен спор Гулда (тоже, впрочем, неортодоксального эволюциониста) с «ультрадарвинистом» Р. Докинзом (Sterelny, 2001; Кузин, 2018).

²²Ферменты — макромолекулы (обычно белки), катализирующие (специфически ускоряющие) реакции между соответствующими молекулами-субстратами в организме. При аллостерической регуляции фермента молекула-эффе́ктор (активатор или ингибитор) связывается не в активном сайте (участке фермента, ответственном за катализ), а в удаленном от него аллостерическом сайте белка.

²³Например, структурные белки хрусталика глаза — кристаллины — одновременно в других тканях являются ферментами метаболизма.

Итак, в современной философии биологии не обсуждается отказ от концепции генетической (биологической) информации, но имеет место спор между сторонниками корреляционной и телеосемантической интерпретации генетической информации: первые указывают на парадокс симметрии между генотипом и средой, вторые — на трудности телеосемантической интерпретации генетической информации.

КОНТИНГЕНТНОСТЬ КОНЦЕПЦИИ ГЕНЕТИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ

В русском языке, в том числе философском, слова «контингентность» и «контингентный» все еще являются редкостью. Понятие контингентности не эквивалентно понятию возможности или понятию случайности, хотя и связано с ними. В английском языке слово «contingency» имеет два основных значения: (1) событие, которое может произойти, но не обязательно произойдет, (2) событие, которое может произойти как дополнение или следствие другого события (Contingency, n. d.). В данной статье речь идет о контингентности концепции генетической информации в обоих значениях (но главным образом в первом). Первое значение часто эксплицируют при помощи семантики возможных миров: пропозиция *контингентна*, когда она в некоторых возможных мирах истинна, а в некоторых — ложна (в отличие, например, от *возможной* пропозиции, от которой требуется лишь истинность в некоторых мирах) (Kment, 2021). Если рассматривать не пропозиции, а свойства индивидов, то контингентности соответствуют, как мы полагаем, акцидентальные свойства: некоторое свойство индивида является *акцидентальным*, если он обладает им в «нашем» мире, но не обладает им в некоторых возможных мирах (в отличие от *существенных* свойств, которыми индивид должен обладать во всех возможных мирах, в которых он существует) (Menzel, 2021). Второе значение термина «контингентность»²⁴ мы предлагаем концептуализировать по аналогии с цепью Маркова. Цепь Маркова — это дискретный случайный процесс без последействия: случайный процесс, состояние которого в данный момент времени зависит от состояния в непосредственно предшествовавший момент, но не от более ранних состояний (Markov Chains, 2016). Таким образом, тезис о контингентности концепции генетической / биологической информации в нашей интерпретации означает, что: (1) представим мир, в котором функцию этой концепции в биологии выполняет какая-то другая теоретическая

²⁴Нам не удалось обнаружить письменных источников с такой интерпретацией контингентности, мы познакомились с ней в ходе устного общения с биологами.

конструкция (если биология в этом мире вообще существует), (2) взлет концепции генетической / биологической информации нельзя полностью объяснить внутренней, естественной логикой развития науки, он частично детерминирован предыдущим этапом развития биологии (когда господствовала какая-то другая концепция), но переход к концепции генетической информации был скачкообразным и вероятностным, то есть имел место эпистемический разрыв.

Почему Лили Кей утверждает, что информационный дискурс биологии исторически и культурно контингентен? Она указывает на культурные обстоятельства, в которых он возник и существует. С диахронической точки зрения это метафора «Книги Жизни» или «Книги Природы», а с синхронической точки зрения важно, что информационный дискурс параллельно распространяется в биологии, в других науках и в обществе в целом в период Второй мировой и особенно холодной войны.

Кей приводит следующие более конкретные аргументы в пользу контингентности. Во-первых, из-за того, что важнейшей разновидностью биологической информации является генетическая информация, традиционно считается, что информационный дискурс проникает в биологию лишь в связи с открытием роли ДНК в наследственности и последующей формулировкой центральной догмы молекулярной биологии. Однако это представление ошибочно. Проникновение информационного дискурса в биологию начинается еще до публикации статьи Джеймса Уотсона и Френсиса Крика, в которой была описана структура ДНК в виде двойной спирали и был дан намек на механизм копирования последовательности нуклеотидов в ДНК (Watson & Crick, 1953). До 1953 года господствовала белковая парадигма наследственности: предполагали, что белки не только являются основными носителями функций живого организма, но каким-то образом катализируют свой собственный синтез. Таким образом, проникновение информационного дискурса в молекулярную биологию не является естественным следствием открытия роли ДНК в наследственности (Кау, 2000: 73–127).

Во-вторых, на контингентность информационного дискурса в биологии указывает громкая неудача первой — теоретической, генетико-математической — фазы расшифровки генетического кода, продолжавшейся с 1953 по 1961 год. В этой фазе участвовали блестящие теоретики, такие как физик Г. Гамов. Было предложено около двухсот вариантов генетического кода, и все они оказались далеки от реальности. Лишь в рамках биохимической фазы (1961–1967) в ходе прямых

экспериментов над бесклеточной системой синтеза белка удалось осуществить расшифровку генетического кода. Кей пишет, что одна из причин неудачи теоретической фазы — в том, что генетический «код» поспешно объявили кодом, в то время как с точки зрения криптографии он является шифром. Кодированы семантические единицы, а шифруются синтаксические единицы. Соответственно, код работает с единицами произвольной длины (состоящими из произвольного количества символов), а шифр работает с единицами одинаковой длины. Генетический «код» — это соответствие между нуклеиновыми кислотами и белками, соответствие между тройками нуклеотидов и аминокислотами, в этом соответствии число нуклеотидов фиксировано (три). Это как раз соответствует шифру и, добавим от себя, синтаксической концепции генетической информации, о которой шла речь в предыдущем разделе²⁵. Также оказалось, что между соседними аминокислотами в белках нет корреляции, аналогичной корреляции между соседними буквами в языке. Например, в английском языке буквы t и h часто встречаются вместе из-за того, что с их помощью обозначают звуки [ð] и [θ]. Поиск таких корреляций между буквами — это стандартный способ расшифровки закодированных посланий (Кей, 2000: 128–293). Добавим, что в белке такой корреляции нет, потому что специфически взаимодействуют друг с другом не соседние, а отдаленные (иногда сильно отдаленные) друг от друга аминокислоты.

Таким образом, распространение информационного дискурса в молекулярной биологии нельзя объяснить успешностью его применения. Однако понятие контингентности также предполагает возможность выбора из нескольких альтернатив. Кей указывает на предшественника концепции информации в биологии — на концепцию специфичности. Нельзя сказать, что введение концепции информации было результатом внутреннего развития концепции специфичности. Согласно Кей, это был эпистемический разрыв²⁶.

²⁵Сама Кей не обращается в своей работе к обсуждению синтаксической и семантической концепции информации современными философами биологии. В какой-то степени это невнимание является взаимным: философы биологии обращаются к книге Кей, но лишь как к историко-научному источнику, игнорируя философские аспекты этой работы (например, Griffiths & Stotz, 2013: 180).

²⁶Этот разрыв проиллюстрируем тем, что в современном трехтомном немецком историческом словаре биологических понятий (Toepfer, 2011) слова Spezifität и Spezifizität отсутствуют в предметном указателе, несмотря на то что в первой половине XX века специфичность объявляли главной биологической концепцией такие известные ученые, как, например, А. Вассерман (Van Den Bel & Gremmen, 1990: 468) и Л. Полинг (Linus Pauling...,

Что подразумевается под специфичностью²⁷? Современные исследователи в области биологии и медицины обычно понимают ее как стереоспецифичность. Последнее понятие обычно иллюстрируют предложенной в 1894 году органическим химиком Эмилем Фишером гипотезой «ключ-замок»: субстрат²⁸ подходит к ферменту (в первую очередь с точки зрения пространственной конфигурации), как ключ к замку. В дальнейшем эта гипотеза была расширена на все специфические взаимодействия биологических молекул. Разницу между концепцией специфичности и концепцией информации проиллюстрируем на примере центральной догмы молекулярной биологии. Для описания самокопирования (репликации) ДНК и синтеза РНК на матрице ДНК (транскрипции) достаточно понятия специфичности, так как взаимодействие между двумя цепями ДНК или цепью ДНК и цепью РНК является стереоспецифичным (комплементарным). В то же время в ходе синтеза белка на матричной РНК (трансляции) эти две молекулы взаимодействуют лишь опосредованно, через цепочку промежуточных стереоспецифических взаимодействий с участием транспортной РНК и других молекул, поэтому появляется больше оснований для использования понятия информации²⁹. Кей обобщает разницу между концепцией специфичности и концепцией информации следующим образом: первая характеризует статику, структуру и материю, вторая — динамику, взаимодействие и форму (Кау, 2000: 38–72).

Для ответа на вопрос, рассматриваемый в следующем разделе статьи, может ли концепция биологической специфичности служить альтернативой концепции биологической информации, необходимо обратиться к более общему контексту, как синхроническому, так и диахроническому. Лили Кей пишет, что концепция специфичности была вписана в понимание жизни как организации. Здесь Кей следует за историком и философом наук о жизни Жоржем Кангиломом, который выделял четыре исторически сменявших друг друга варианта понимания жизни:

1995: 96), и их позицию разделяют некоторые историки науки (Gilbert & Greenberg, 1984: 18; Judson, 2013: XXXIII–XXXIV, 579–586).

²⁷Ниже будет развернута более полная характеристика специфичности. Предварительно ее можно определить словами Лайнуса Полинга: «Биологическая специфичность — это набор характеристик живых организмов или их составляющих, делающих их особенными [special] или выполняющих что-то особенное» (Linus Pauling..., 1995: 96).

²⁸Субстрат фермента — молекула, специфическую реакцию с участием которой катализирует (ускоряет) данный фермент.

²⁹Согласно описанной в предыдущем разделе связи опосредованности и произвольности соответствия с семантической концепцией информации.

жизнь как одушевленность, механизм, организация и информация³⁰. Отталкиваясь от представлений ученика Кангилема Мишеля Фуко (Фуко, Визгин и Автономова, 1977), историк Карло Филио утверждает, что метафора организации была центральной для биологии и медицины XIX и начала XX века (Figlio, 1976). Л. Кей понимает организацию как гармоничное взаимодействие иерархически координированных частей, определяющее целостность и упорядоченность биологических объектов (например, организмов). Единство, стабильность и специфичность организмов при таком подходе являются следствием организации частей (Кау, 2000: 46).

Как соотносятся организация и специфичность? На наш взгляд, наиболее лаконично это соотношение выражено в известном из научного фольклора афоризме российского эмбриолога первой половины XIX века Карла фон Бэра: «Чем более организм дифференцирован, тем более он интегрирован» (и наоборот) (ср. Северцов, 2005: 289, 332). Другими словами, чем выше степень специфичности частей организма, тем выше степень его организованности (интегрированности, целостности). Специфичность (или специфику) можно приписывать объектам разных уровней биологической иерархии, включая виды, что ярко отражено в названии книги историка Паулины Мазумдар «Species and specificity»³¹. Соотношение организации и специфичности мы предлагаем суммировать следующим образом: *организация* объекта на каком-либо уровне биологической иерархии (например, организма) предполагает *специфичность* составляющих его объектов более низкого уровня (например, систем органов) и в свою очередь является основой специфичности с точки зрения более высокого уровня иерархии (например, с точки зрения популяционного уровня *организация* организмов придает им *специфику*, необходимую для действия естественного отбора).

Интерпретация специфичности как стереоспецифичности (пространственного и химического соответствия) была заимствована науками о жизни из химии. Зачатки идеи стереоспецифичности появились у Луи Пастера, который на примере виноградной кислоты открыл явление энантиомерии и оптической активности: он обнаружил, что при одной

³⁰Кангилем, однако, не противопоставляет концепции организации и информации. Он утверждает, что информационная теория придала современным теориям организации строгость, сопоставимую со строгостью физики (Sanguinhem, 1994: 87).

³¹Подробнее об этой книге речь пойдет в следующем разделе.

и той же молекулярной формуле возможны два варианта кристаллов виноградной кислоты, относящиеся друг к другу как зеркальные отражения — вращающий поляризованный свет вправо и вращающий поляризованный свет влево. Изучение оптически активных веществ приводит Э. Фишера к гипотезе «ключ-замок». В биологию интерпретация специфичности как стереоспецифичности приходит через иммунологию, через теорию боковых цепей Пауля Эрлиха. Эрлих предположил, что образование антител в ответ на бактериальную инфекцию и действие бактериального токсина связано с тем, что токсины узнают некие боковые цепи на поверхности клеток организма и тем самым мешают клеткам питаться (боковые цепи, согласно Эрлиху, нужны для питания). Чтобы нейтрализовать действие токсинов (шире — антигенов), клетки увеличивают выработку соответствующих боковых цепей. Боковые цепи могут отрываться и превращаться в растворимые антитела. Эта схема во многом предвосхитила современные иммунологические представления. Из иммунологии концепция стереоспецифичности проникла в медицину, физиологию, эмбриологию и клеточную биологию, затем и в другие области биологии (Gilbert & Greenberg, 1984).

Итак, история генетического кода показывает, каким образом концепция информации в биологии стала интерпретироваться качественным, метафорическим образом (в терминах философии науки — в рамках семантической концепции информации), хотя была импортирована из математической теории коммуникации (основанной на синтаксической концепции). Место концепции информации в науках о жизни занимала концепция специфичности, тесно связанная с представлением о жизни как об организации. В конце XIX века из химии в науки о жизни переходит и до сих пор занимает в них важное место интерпретация специфичности как стереоспецифичности (комплементарности). История наук о жизни показывает, что концепция информации не вытекает естественным образом из предшествовавшей ей концепции специфичности, а стремительное распространение концепции генетической информации в начале холодной войны не пропорционально успехам ее применения в молекулярной биологии. Таким образом, концепция генетической информации является контингентной в смысле неполной детерминации предыдущим этапом развития науки и наличия эпистемического разрыва. В следующем разделе эта контингентность будет конкретизирована

за счет обсуждения возможных альтернатив концепции генетической информации.

СОВРЕМЕННЫЕ АЛЬТЕРНАТИВЫ КОНЦЕПЦИИ ГЕНЕТИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ В КОНТЕКСТЕ ИСТОРИИ НАУКИ

В предыдущем разделе была намечена критика современного научного знания при помощи истории науки. Насколько это корректно? Если обобщить, насколько корректно использовать презентистский подход к истории науки, то есть изучать прошлое ради настоящего? Критика презентизма в историографии науки возникла, на наш взгляд, на основе упрощения — отождествления презентизма с виговской историографией³² — и была сопряжена с профессионализацией истории науки в 1960–1970-е годы. В 1980-е годы начинается частичная реабилитация презентизма. По нашему мнению, в рамках историографии науки наиболее полной и систематичной является классификация форм презентизма, предложенная современным историком и философом биологии Лораном Луазоном (Loison, 2016), хотя и ее можно уточнить и дополнить (Кузин, 2020).

Луазон выделяет следующие формы презентизма, располагая их в порядке от менее спорных к более спорным: эмпирический, дескриптивный, каузально-нарративный и нормативный презентизм. В рамках поиска альтернатив концепции генетической информации имеют значение две последние формы. Каузально-нарративный презентизм — это использование событий, которые произошли после рассматриваемого исторического периода, для установления каузальных исторических связей и придания целостности (перспективы) историческому нарративу. Самая радикальная форма каузально-нарративного презентизма — контрфактическая (альтернативная, виртуальная) история, которой рискуют заниматься даже некоторые уважаемые историки науки (Bowler, 2013). Нормативный презентизм — это использование современных научных концепций и объяснений для обнаружения и акцентирования трудностей, с которыми сталкивались научные концепции прошлого (при применении к тем же явлениям, которые изучает современная наука), и присущих концепциям прошлого ограничений.

³²Этот термин был заимствован из политической истории. Согласно автору термина Гербергу Баттерфилду, вигизм — тенденция многих историков писать с точки зрения протестантов и вигов, превозносить революции в том случае, если они были успешными, выделять в прошлом ростки прогресса и создавать историю, служащую одобрению, если не прославлению настоящего (Butterfield, 1963).

Злоупотребление каузально-нарративным и нормативным презентизмом, то есть замена каузальности и нормативности на телеологию, и приводит к вигизму — к написанию истории с точки зрения тех, кто в настоящее время кажется победителем. Однако изучение каузальных связей можно использовать не для прославления настоящего, а для его критики; нормативный подход может служить не превращению истории науки в «кладбище гипотез», а ее рациональной реконструкции (ср. Lakatos, 1971). Корректное использование каузально-нарративного презентизма должно показать, что современное научное знание контингентно, а корректный нормативный презентизм должен продемонстрировать значение современной науки для рационального понимания науки прошлого. Для обозначения этих двух добросовестных форм презентизма Луазон вводит термин «критический презентизм». Эпистемологический коррелят критического презентизма — историческая эпистемология в интерпретации Ж. Кангилема. Для ответа на вопрос исторической эпистемологии «Как истина может быть историчной?» нужно рассматривать науку (научное знание) одновременно как контингентную и рациональную (Loison, 2016).

Если применить эту идею взаимной критики к концепции генетической информации, то можно увидеть, каким образом современная наука (здесь мы дополним Луазона: не только современная наука, но и современная философия науки) может быть использована для критики истории науки, как она изложена в книге Лили Кей. Кей утверждает, что переход к информационному дискурсу представлял собой эпистемический разрыв, что слишком поспешно были заимствованы семантическая интерпретация информации и связанные с ней лингвистические аналогии. Во втором разделе статьи фактически было показано, как эту поспешность можно рационализировать с современной точки зрения, опираясь на телеосемантическую концепцию генетической информации — в той степени, насколько эта концепция убедительна.

На наш взгляд, более интересен другой вопрос: каким образом история науки может быть использована для критики современного научного знания? Мы предлагаем способ «откатить» современную биологическую теорию все дальше и дальше в прошлое в поисках все более и более радикальных альтернатив семантической концепции генетической информации: (1) ограничить телеосемантическую интерпретацию информации, (2) вернуться к синтаксической концепции информации,

(3) отказаться от концепции информации в пользу концепции специфичности как стереоспецифичности, (4) обратиться к исторически проигравшей концепции «относительной» специфичности, основанной на коллективных свойствах молекул, клеток и т. п. Рассмотрим эти возможности подробнее.

Во-первых, можно попытаться ограничить семантическую концепцию и наиболее популярную ее интерпретацию — телеосемантику. Для этого можно перейти от распространенных инженерных метафор организма и его частей к метафорам химическим. В рамках телеосемантики организм рассматривается как набор функций — это инженерный взгляд. Однако если обратиться к современной синтетической биологии, то выясняется, что в ней сосуществуют два стиля мышления. Один действительно ориентирован на инженерию (информационные технологии, компьютерную инженерию), на синтез продукта с заданными свойствами из стандартных модулей, на машинно-информационные метафоры. Другой берет в качестве образца химию. Химический синтез не предполагает полное знание химических принципов. Химический синтез — это не только способ получения заранее заданного продукта, но и способ открытия³³. При этом носители химического стиля мышления в синтетической биологии не отказываются от семантической концепции информации: они рассматривают молекулы ДНК как кодирующие различные операции, функции и в целом мыслят скорее в терминах функций, нежели структур (Bensaude-Vincent, 2013).

Инженерная метафора связана не только с синтетической биологией, но и с теорией эволюции — с метафорой эволюции как инженера. Такое понимание эволюции критиковал, в частности, Ф. Жакоб. Ему принадлежит известная метафора: эволюция — это не инженер, а ремесленник (*tinkerer*)³⁴, режим ее работы — бриколаж³⁵⁻³⁶ (Jacob, 1977). Любопытно,

³³Физико-химик Марселен Берто в 1876 году сформулировал этот принцип в виде ставшего знаменитым девиза «Химия сама создает свой объект» (цит. по Bensaude-Vincent, 2009: 371).

³⁴Другой вариант перевода: «халтурщик».

³⁵Бриколаж — создание продукта труда из подручных материалов.

³⁶Метафору Жакоба используют также при ревизии концепции специфичности. В современной биохимии происходит отказ от классической схемы «один фермент — один субстрат — одна реакция». Давно известны ферменты с широкой специфичностью (катализирующие одну и ту же реакцию для множества субстратов), но работы двух последних десятилетий показывают, что для многих — если не для большинства — ферментов характерна «неразборчивость» (*promiscuity*, промискуитет, *promiscuity*) — катализ случайных побочных реакций вдобавок к основной (то есть вдобавок к реакции, на катализ которой шел есте-

что если обратиться к этнометодологическому анализу лабораторных практик синтетической биологии, то выясняется, что ключевая метафора для сотрудников таких лабораторий — это винегрет (*hodgepodge*), ее можно рассматривать как химическую или ремесленную (Kearnes et al., 2018).

Таким образом, телеосемантическая концепция генетической информации может быть ограничена, смягчена переходом от инженерного стиля мышления к химическому или ремесленному. Однако такой переход основан на философско-научных или практических соображениях, нам не удалось увидеть его оснований в истории науки, предшествовавшей взлету концепции генетической информации.

Во-вторых, можно отказаться от телеосемантической интерпретации генетической информации за счет возврата к синтаксической концепции, к математической теории информации. Критики телеосемантической интерпретации утверждают, что тезис симметрии (паритета) между генотипом и средой — это на самом деле не парадокс, а сильная сторона синтаксической интерпретации, так как она служит аргументом против геноцентризма. Эта симметрия используется, например, в рамках близнецового метода (см. второй раздел статьи). Тезис о паритете является одним из основных для теории систем развития (*developmental systems theory, DST*), которая не рассматривает онтогенез как реализацию генетической информации, не интерпретирует какую-то стадию онтогенеза (например, стадию половозрелого организма) как выделенную, рассматривает в качестве единой системы развития жизненные циклы организмов и взаимодействующую с ними среду (Griffiths, 2001; Griffiths & Stotz, 2013).

В-третьих, можно попытаться отказаться от ведущей роли информации и вернуть эту роль узкой специфичности (например, стереоспецифичности). На наш взгляд, шагом именно в этом направлении является предложенная в рамках *DST* концепция каузальной специфичности, хотя авторами она позиционируется лишь как способ уточнения концепции синтаксической информации. В соответствии с популярной

ственный отбор в ходе эволюции, к «физиологичной» реакции). Именно неразборчивость, в соответствии с метафорой Жакоба, оказывается ключевым фактором в эволюции новых функций ферментов (Khersonsky & Tawfik, 2010). Более того, так как концепция специфичности необходимо связана с концепцией организации, учет вероятностного аспекта специфичности ферментов и, шире, белков может привести к новой теории биологической организации (Курис, 2010). Про широкую специфичность см. также ниже — в связи с четвертой альтернативой концепции генетической/биологической информации.

в современной философии биологии интерпретацией каузальности как потенциальной манипулируемости (Woodward, 2010) биологическую информацию можно определить как меру каузальной специфичности (а не меру корреляции) в биологических системах, то есть как детальность возможного вмешательства и контроля, основанного на знании каузальных связей. Специфичность независимой (причинной, манипулируемой) переменной в таком случае определяется взаимной информацией независимой и зависимой переменной. Тогда «криковская информация» (определение последовательности аминокислот в белке последовательностью нуклеотидов в нуклеиновой кислоте; см. раздел (1)) оказывается примером узкой, но не абсолютной³⁷ специфичности, так, с точки зрения молекулярной эпигенетики на определение последовательности аминокислот в белке влияет множество других факторов, кроме гена, непосредственно «кодирующего» белок (Stotz & Griffiths, 2017).

Четвертый вариант, самый радикальный из рассматриваемых, — это отказ от представления об узкой (дискретной, редукционистской) специфичности и переход к концепции широкой (непрерывной, холистической) специфичности, основанной на коллективных свойствах молекул, клеток, организмов и других биологических систем³⁸. Именно таким образом можно интерпретировать последние работы молекулярного биолога и микробиолога Карла Везе и продолжателя его дела биофизика Найджела Голденфелда. Они призывают к революции в биологии, к превращению биологии в предсказательную науку за счет рассмотрения жизни как потоков энергии, химических веществ, информации и генов, за счет моделирования коллективных свойств биологических систем в духе статистической механики и теории динамических систем. Везе и Голденфелд поясняют свой тезис на примере размывания концепции вида у микробов и вирусов. Открытие «чувства кворума» (изменения регуляции генов в ответ на изменение плотности популяции микробов), разнообразных экологических взаимодействий и распространенности

³⁷А именно абсолютная специфичность подразумевается концепций генетической информации.

³⁸Мы рассматриваем концепцию непрерывной специфичности как более радикальную по сравнению с концепцией дискретной специфичности, так как последняя все еще тесно связана с концепцией генетической информации: хотя в центральной догме молекулярной биологии информация, как говорят, «переносится» между разными химическими структурами, но тип этих структур фиксирован (ДНК, РНК и белки) и информационные взаимодействия между ними описываются как дискретные, что и делает возможным представление структуры этих молекул в виде последовательности символов (например, последовательности символов из алфавита А, G, C, T в случае ДНК).

горизонтального переноса генов среди микробов и вирусов (переноса генов не от родителей к потомкам, а между другими особями, в том числе разных видов) приводят к необходимости одновременного учета множества относительно слабых взаимодействий. Специфичность, порождаемая такими взаимодействиями (например, специфика конкретного вида), оказывается широкой (размытой)³⁹, непрерывной и холистической. Такой характер взаимодействий также облегчает математическое моделирование⁴⁰ и повышает точность основанных на нем предсказаний (Woese, 2004; Goldenfeld & Woese, 2007; Goldenfeld et al., 2017).

Историк наук о жизни Уте Дайхманн посвятила несколько статей (Deichmann, 2007a,b; 2017) прямой или косвенной критике подхода Везе и Голденфелда с позиции истории науки. Она сравнивает призывы к созданию холистической биологии с чрезвычайно популярным в первой трети XX века коллоидным⁴¹ подходом к биологической специфичности, который также был основан на коллективных свойствах. Коллоидный подход объяснял биологическую специфичность не «химическими» свойствами больших молекул с фиксированной химической структурой⁴², а «физическими»⁴³ свойствами коллоидов переменного химического состава (коллоидных растворов, коллоидных систем). Большинство историков науки считают, что концепция биокolloидов затормозила развитие биохимии и биологии, была их «темным веком», так как препятствовала развитию концепции макромолекул, без которой невозможно современное представление о стереоспецифичности^{44,45}

³⁹Про широкую специфичность на примере ферментов см. также сноску 37.

⁴⁰Материал для математического моделирования в огромных количествах поставляют различные высокопроизводительные технологии получения биологических данных (секвенирования ДНК и т. п.), разработанные в последние годы.

⁴¹Коллоидными растворами называли «псевдорастворы», характеризующиеся низкой скоростью диффузии через мембраны, плохой кристаллизруемостью и осаждаемостью, диаметром растворенных частиц от 1 нанометра до 1 микрометра (Deichmann, 2007b: 106). По размеру частиц коллоидные системы занимают промежуточное положение между истинными растворами и взвесьями и обладают различными аномальными свойствами.

⁴²То есть в современной терминологии не стереоспецифичностью макромолекул (белков и нуклеиновых кислот).

⁴³С современной точки зрения противопоставление химических и физических свойств молекул в контексте спора о природе специфичности в первой трети XX века не имеет смысла, так как и те, и другие во многом обусловлены слабыми химическими связями (водородная связь, связи Ван-дер-Ваальса) (Parascandola, 1974: 60; Silverstein, 2009: 100–101).

⁴⁴Это пример виговской историографии науки.

⁴⁵Для стереоспецифического взаимодействия необходимо не только соответствие «ключ-замок», но и стабильность конфигурации «замка», которая в случае белков и нук-

(Deichmann, 2007b: 105–106). Объяснения коллоидистов даже рассматриваются как псевдонаучные: по словам одного из участников событий, достаточно было назвать протоплазму (содержимое клетки без учета ядра) коллоидом, чтобы создать впечатление, что ты что-то понимаешь о ней (ibid.: 113). Коллоидная химия противостояла не только структурной химии (на которой основана концепция стереоспецифичности), но и физической химии растворов: предполагалось, что для коллоидов не выполняется ключевое для настоящих растворов условие физико-химического равновесия. В конечном счете именно успехи физической химии (в особенности доказательство макромолекулярной природы белков, а затем — их строго специфичной (не выводимой из общих закономерностей⁴⁶) структуры (Judson, 2013: 585)) привели к отказу от коллоидного подхода (Deichmann, 2007b).

На наш взгляд, однако, из признания «исторической правоты» критиков коллоидного подхода еще не следует порочность объяснения специфичности коллективными эффектами, то есть порочность концепции широкой (непрерывной, холистической) специфичности. Покажем это на материале истории науки. В качестве альтернативы концепции специфичности как стереоспецифичности «одиозная» коллоидная химия вытеснила в конце XIX – начале XX века физико-химическую теорию растворов, так же оперирующую коллективными эффектами молекул, но respectable и поныне. Различие и сходство между этими альтернативами стереоспецифичности мы проиллюстрируем на примере двух споров в иммунологии: между П. Эрлихом и Ж. Борде, между П. Эрлихом и С. Аррениусом⁴⁷. Оба спора были относительно механизма взаимодействия антигена (чужеродного вещества, попавшего в организм) с антителом (защитным веществом, вырабатываемым организмом в ответ на антиген). Согласно теории боковых цепей Эрлиха, это взаимодействие, стереоспецифическое (по Эрлиху — даже абсолютно специфическое) и необратимое («химическое»), может осуществляться

леиновых кислот достигается в первую очередь за счет сильных (ковалентных) связей, соединяющих аминокислоты в белке или нуклеотиды в нуклеиновой кислоте в единую макромолекулу.

⁴⁶Например, последовательности нуклеотидов в ДНК или РНК, как и последовательности аминокислот в белках, не являются (за отдельными исключениями) периодическими, как предполагалось на ранних этапах изучения этих макромолекул. В теоретико-информационных терминах это означает, что ДНК, РНК и белки обладают гораздо большим информационным содержанием, чем предполагалось изначально.

⁴⁷В описании этих споров мы будем опираться в первую очередь на изложение А. Силверштейна (Silverstein, 2009: 100–101).

как между антигеном (например, бактериальным токсином) и боковой цепью на поверхности клетки (в современной терминологии — нерастворимым рецептором), так и между антигеном и антителом (боковой цепью, отделившейся от клетки). Жюль Борде рассматривал взаимодействие между антителом и антигеном как происходящее на поверхности коллоидной частицы за счет множества слабых, по отдельности не специфических «физических» взаимодействий. Сванте Аррениус, один из создателей физической химии, предполагал, что все вещества могут реагировать только в растворенном состоянии. На этом основании он отвергал возможность взаимодействия антигена с «боковой цепью» на поверхности клетки (такая боковая цепь не находится в растворе), считал возможным только массовое и обратимое (соответственно, лишь относительно специфичное) взаимодействие растворенного антитела и растворенного антигена (Gilbert & Greenberg, 1984: 30). Таким образом, хотя в деталях критика со стороны Ж. Борде и со стороны С. Аррениуса отличается, что обусловлено различиями в представлении о внутренней среде организма (как о коллоидном растворе и как о «классическом» растворе соответственно), оба ученых рассматривают взаимодействие антигена и антитела не как абсолютную, а как относительную (обусловленную коллективными эффектами молекул переменного химического состава).

Вслед за спором Эрлиха и Аррениуса в начале XX аналогичные споры сторонников «морфологического» (с современной точки зрения — стереоспецифического) и физико-химического подходов возникли в генетике относительно хромосомного определения пола (Э. Уилсон против Т. Моргана⁴⁸) и в эмбриологии относительно оплодотворения (Ф. Лилли против известного популяризатора механицизма Ж. Леба) (*ibid.*). По нашему мнению, взгляд на жизнь как на коллективный феномен, который предлагают Везе и Голденфелд, наследует не столько коллоидной химии, сколько физико-химической линии Аррениуса и Леба, правда, отличаясь от последней важным акцентом на неравновесности, нелинейности и самоорганизации. Такой ракурс позволяет использовать представление о биологической специфичности как относительной, количественной (непрерывной) характеристике для критики научного

⁴⁸Т. Морган до начала работы с дрозофилой оспаривал роль хромосом в наследственности и рассматривал определение пола как результат «скорее химического, чем морфологического» процесса (цит. по Gilbert & Greenberg, 1984: 30).

мейнстрима, в котором все еще преобладает концепция стереоспецифичности как дискретной и узкой (если не абсолютной) специфичности.

Мы предполагаем, что взгляд на жизнь как на коллективный феномен в пределе приводит к процессуальной онтологии биологии вместо традиционной вещной онтологии (рассматривающей в качестве вещей организмы, клетки, гены и т. д.) (Everything Flows, 2018). Мы планируем в отдельной работе рассмотреть процессуальную онтологию биологии в качестве современной альтернативы концепции информации и концепции специфичности в биологии. Для развития этой альтернативы в соответствии с позицией критического презентизма может быть полезен поиск исторически забытых возможностей. Неясно, были ли в истории биологии предшественники элиминативной процессуальной онтологии (полностью заменяющей вещи на процессы), но в качестве представителей умеренного процессуализма рассматривают западных биологов-органицистов (Nicholson & Gawne, 2015), и, как мы предполагаем, можно рассматривать некоторых советских биологов-диалектиков (например, И. И. Шмальгаузена). Также мы планируем рассмотреть в качестве предшественника процессуальной онтологии концепцию непрерывности природы (живой природы), взятую в контексте проблемы биологической специфичности. Историк наук о жизни Паулина Мазумдар проследила противостояние сторонников непрерывности и дискретности с 1838 по 1968 год⁴⁹, одним из защитников дискретности в этом нарративе оказывается П. Эрлих в бактериологии (абсолютная дискретность и специфичность бактериальных видов) и иммунологии (абсолютная специфичность антител) (Mazumdar, 2002). Соответственно, противников дискретности, включая оппонентов П. Эрлиха, Ж. Борде и С. Аррениуса, можно рассматривать как предшественников умеренного процессуализма.

Таким образом, подход исторической эпистемологии (точнее — каузально-нарративного презентизма как составляющей критического презентизма по Л. Луазону) позволил нам конкретизировать выдвинутый

⁴⁹На наш взгляд, генеалогию процессуальной онтологии в биологии и медицине можно продлить и до античности, если рассматривать «негатив» истории специфичности в изложении Артура Силверстайна (Silverstein, 2009): проследить не историю идеи специфичности, а историю альтернативных ей концепций — например, онтологическую концепцию болезни (у каждой болезни свой специфический возбудитель), восходящую к Парацельсу, а альтернативную ей концепцию баланса жидкостей, восходящую к Гиппократу.

на материале истории генетического кода тезис Л. Кей о контингентности концепции информации (информационного дискурса) в современной биологии. Для этого мы выявили возможные альтернативы концепции генетической информации и расположили их в порядке от более умеренных к более радикальным. Большинство из них обнаруживаются как в истории науки, так и в современной философии науки или в современных научных теориях. (1) Господствующую семантическую концепцию биологической информации можно ограничить за счет перехода от инженерных к ремесленным или химическим метафорам. (2) Можно вернуться к синтаксической концепции информации, интерпретируя информационную симметрию (паритет) между генотипом и средой не как парадокс, а как достоинство синтаксической концепции. (3) Можно попытаться вернуть ведущую роль концепции узкой специфичности, интерпретируя ее как каузальную специфичность — потенциальную возможность детального вмешательства в биологические процессы на основе знания каузальных связей. (4) Наконец, можно перейти к концепции широкой (непрерывной, холистической) специфичности, основанной на коллективных свойствах молекул и клеток. Сейчас этот подход выглядит настолько радикальным, что К. Везе и Н. Голденфелд, работы которых мы помещаем в контекст проблемы биологической специфичности, называют его революцией в биологии. Еще более радикальным, но, на наш взгляд, логичным был бы переход к процессуальной онтологии биологии, подробное обсуждение которой уже выходит за рамки статьи.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Концепция генетической (биологической) информации часто рассматривается как центральная в современной биологии, однако она недостаточно прояснена: в современной философии биологии спорят сторонники синтаксической и семантической интерпретации генетической информации. Мы показали, как в рамках исторической эпистемологии (критического презентизма по Л. Луазону) современное знание и знание прошлого могут быть использованы для критики друг друга. С одной стороны, эпистемический разрыв в науках о жизни середины XX века — стремительный переход от концепции специфичности к информационно-лингвистическим метафорам — может быть отчасти рационализирован при помощи современной телеосемантической концепции информации. С другой стороны, углубление в прошлое биологии демонстрирует все более и более радикальные альтернативы концепции генетической / биологической информации. Семантическая концепция

информации, выполняющая в молекулярной биологии роль канона, может быть смягчена за счет отказа от инженерных метафор (связанных в том числе с возникновением синтетической биологии), сужена до синтаксической концепции (восходящей к математической теории информации К. Шеннона), заменена концепцией узкой специфичности как каузальной специфичности (восходящей к структурно-химической концепции стереоспецифичности) или даже концепцией широкой специфичности как коллективного эффекта молекул, клеток и других биологических объектов (восходящей к коллоидной или физической химии). В рамках подхода исторической эпистемологии мы показали контингентность канона генетической информации не только в смысле его неполной детерминации внутренней логикой развития наук о жизни, но и в смысле представимости возможных миров, в которых этот канон менее выражен или его место занимают другие концепции.

ЛИТЕРАТУРА

- Винер Н.* Кибернетика, или управление и связь в животном и машине / под ред. Г. Я. Поварова ; пер. с англ. И. Я. Соловьева. — М. : Советское радио, 1958.
- Золян С. Т.* Генетический код : Грамматика, семантика, эволюция // МЕТОД : Московский ежегодник трудов из обществоведческих дисциплин. Т. 8 / под ред. М. В. Ильина. — М. : ФГУБН ИНИОН РАН, 2018. — С. 130–184.
- Кузин И. А.* «Sprengels...» Гулда и Левонтина и критика адапционизма // Вестник Московского Университета : Серия 7: Философия. — 2015. — № 3. — С. 3–18.
- Кузин И. А.* Судьба спора об адапционизме и геноцентризме в XXI веке // Второй Международный Конгресс Русского общества истории и философии науки «Наука как общественное благо» / под ред. И. Т. Касавина, Л. В. Шиповаловой. — М. : РОИФН, 2018. — С. 35–45.
- Кузин И. А.* Классификация форм презентизма и антипрезентизма в историографии науки // Второй Международный Конгресс Русского общества истории и философии науки «Наука как общественное благо» / под ред. И. Т. Касавина, Л. В. Шиповаловой. — М. : РОИФН, 2020. — С. 74–77.
- Кузин И. А.* История генетического кода как генеалогия будущего // МЕТОД : Московский ежегодник трудов из обществоведческих дисциплин. Т. 11 / под ред. М. В. Ильина. — М. : б.и., 2021. — С. 406–421.
- Северцов А. С.* Теория эволюции : учебник для студентов вузов, обучающихся по направлению 510600 «Биология». — М. : Гуманитар, Владос, 2005.
- Фуко М.* Слова и вещи. Археология гуманитарных наук / пер. с фр. В. П. Визгина, Н. С. Автономовой. — М. : Прогресс, 1977.

- Adriaans P.* Information / The Stanford Encyclopedia of Philosophy ; ed. by E. N. Zalta. — 2020. — URL: <https://plato.stanford.edu/archives/fall2020/entries/information/> (visited on Apr. 1, 2022).
- Barbieri M.* A Short History of Biosemiotics // Biosemiotics. — 2009. — Vol. 2, no. 2. — P. 221–245.
- Bensaude-Vincent B.* The Chemists' Style of Thinking // Berichte zur Wissenschaftsgeschichte. — 2009. — Vol. 32, no. 4. — P. 365–378.
- Bensaude-Vincent B.* Discipline-building in Synthetic Biology // Studies in History and Philosophy of Science. Part C : Studies in History and Philosophy of Biological and Biomedical Sciences. — 2013. — Vol. 44, no. 2. — P. 122–129.
- Bowler P.* Darwin Deleted : Imagining a World without Darwin. — Chicago : University of Chicago Press, 2013.
- Butterfield H.* The Whig Interpretation of History : Imagining a World without Darwin. — London : G. Bell, Sons, 1963.
- Canguilhem G.* A Vital Rationalist : Selected Writings from Georges Canguilhem / ed. by F. Delaporte ; trans. from the French by A. Goldhammer. — New York : Zone Books, 1994.
- Contingency / Merriam-Webster.com Dictionary. — N. d. — URL: <https://www.merriam-webster.com/dictionary/contingency> (visited on May 24, 2022).
- Crick F. H. C.* On Protein Synthesis // Symposia of the Society for Experimental Biology. — 1958. — Vol. 12. — P. 138–163.
- Deichmann U.* Collective Phenomena and the Neglect of Molecules : A Historical Outlook on Biology // History and Philosophy of the Life Sciences. — 2007a. — Vol. 29, no. 1. — P. 83–86.
- Deichmann U.* “Molecular” Versus “Colloidal” : Controversies in Biology and Biochemistry, 1900–1940 // Bulletin for the History of Chemistry. — 2007b. — Vol. 32, no. 2. — P. 105–118.
- Deichmann U.* Hierarchy, Determinism, and Specificity in Theories of Development and Evolution // History and Philosophy of the Life Sciences. — 2017. — Vol. 39, no. 4. — P. 1–16.
- Downes S. M., Matthews L. J.* Heritability / The Stanford Encyclopedia of Philosophy ; ed. by E. N. Zalta. — 2020. — URL: <https://plato.stanford.edu/archives/spr2020/entries/heredity/> (visited on Apr. 1, 2022).
- Everything Flows : Toward a Processual Philosophy of Biology / ed. by D. J. Nicholson, J. Dupré. — Oxford : Oxford University Press, 2018.
- Figlio K. M.* The Metaphor of Organization : An Historiographical Perspective on the Bio-Medical Sciences of the Early Nineteenth Century // History of Science. — 1976. — Vol. 14, no. 1. — P. 17–53.
- Gilbert S. F., Greenberg J. P.* Intellectual Traditions in the Life Sciences. II. Stereocomplementarity // Perspectives in Biology and Medicine. — 1984. — Vol. 28, no. 1. — P. 18–34.

- Godfrey-Smith P., Sterelny K.* Biological Information / The Stanford Encyclopedia of Philosophy ; ed. by E. N. Zalta. — 2016. — URL: <https://plato.stanford.edu/archives/sum2016/entries/information-biological> (visited on Apr. 1, 2022).
- Goldenfeld N., Biancalani T., Jafarpour F.* Universal Biology and the Statistical Mechanics of Early Life : An Historiographical Perspective on the Bio-Medical Sciences of the Early Nineteenth Century // Philosophical Transactions of the Royal Society A : Mathematical, Physical and Engineering Sciences. — 2017. — Vol. 375, no. 2109. — P. 20160341.
- Goldenfeld N., Woese C.* Biology's Next Revolution // Nature. — 2007. — Vol. 445, no. 7126. — P. 369.
- Gould S. J., Lewontin R. C.* The Spandrels of San Marco and the Panglossian Paradigm : A Critique of the Adaptationist Programme // Proceedings of the Royal Society of London. Series B. Biological Sciences. — 1979. — Vol. 205, no. 1161. — P. 581–598.
- Griffiths P.* Genetic Information : A Metaphor in Search of a Theory // Philosophy of Science. — 2001. — Vol. 68, no. 3. — P. 394–412.
- Griffiths P., Stotz K.* Genetics and Philosophy : An Introduction. — Cambridge : Cambridge University Press, 2013.
- Jacob F.* Evolution and Tinkering // Science. — 1977. — Vol. 196, no. 4295. — P. 1161–1166.
- Judson H. F.* The Eighth Day of Creation : Makers of the Revolution in Biology. — New York : Cold Spring Harbor Laboratory Press, 2013.
- Kay L. E.* Who Wrote the Book of Life? : A History of the Genetic Code. — Redwood City : Stanford University Press, 2000.
- Kearnes M., Kuch D., Johnston A.* How to Do Things With Metaphors : Engineering Life as Hodgepodge // Life Sciences, Society and Policy. — 2018. — Vol. 14, no. 1. — P. 1–17.
- Khersonsky O., Tawfik D. S.* Enzyme Promiscuity : A Mechanistic and Evolutionary Perspective // Annual Review of Biochemistry. — 2010. — Vol. 79. — P. 471–505.
- Kment B.* Varieties of Modality / The Stanford Encyclopedia of Philosophy ; ed. by E. N. Zalta. — 2021. — URL: <https://plato.stanford.edu/archives/spr2021/entries/modality-varietie> (visited on May 25, 2022).
- Kupiec J. N.* On the Lack of Specificity of Proteins and Its Consequences for a Theory of Biological Organization // Progress in Biophysics and Molecular Biology. — 2010. — Vol. 102, no. 1. — P. 45–52.
- Lakatos I.* History of Science and Its Rational Reconstruction // PSA 1970 : In Memory of Rudolf Carnap. Boston Studies in the Philosophy of Science. Vol. 10 / ed. by R. Buck, R. Cohen. — Dordrecht, Holland : D. Reidel, 1971. — P. 91–139.
- Levy A.* Information in Biology : A Fictionalist Account // Noûs. — 2011. — Vol. 45, no. 4. — P. 640–657.
- Linus Pauling in His Own Words : Selections from His Writings, Speeches and Interviews / ed. by B. Marinacci. — New York : Simon, Schuster, 1995.

- Loison L.* Forms of Presentism in the History of Science. Rethinking the Project of Historical Epistemology // Studies in History and Philosophy of Science. Part A. — 2016. — Vol. 60. — P. 29–37.
- Malyshev D. A., Dhami K., Lavergne T.* A Semi-Synthetic Organism with an Expanded Genetic Alphabet // Nature. — 2014. — Vol. 509, no. 7500. — P. 385–388.
- Markov Chains / Encyclopedia of Mathematics. — 2016. — URL: https://encyclopediaofmath.org/wiki/Markov_chains (visited on May 25, 2022).
- Maynard Smith J.* The Concept of Information in Biology // Philosophy of Science. — 2000. — Vol. 67, no. 2. — P. 177–194.
- Mazumdar P. M. H.* Species and Specificity : An Interpretation of the History of Immunology. — Cambridge : Cambridge University Press, 2002.
- Menzel C.* Possible Worlds / The Stanford Encyclopedia of Philosophy ; ed. by E. N. Zalta. — 2021. — URL: <https://plato.stanford.edu/archives/fall12021/entries/possible-worlds/> (visited on May 24, 2022).
- Nicholson D. J., Gawne R.* Neither Logical Empiricism nor Vitalism, but Organicism : What the Philosophy of Biology Was // History and Philosophy of the Life Sciences. — 2015. — Vol. 37, no. 4. — P. 345–381.
- Nurse P.* What is Life? : Five Great Ideas in Biology. — New York : W. W. Norton & Company, 2021.
- O’Keefe M., Perrault S., Halpern J.* “Editing” Genes : A Case Study About How Language Matters in Bioethics // The American Journal of Bioethics. — 2015. — Vol. 15, no. 12. — P. 3–10.
- Parascandola J.* The Controversy Over Structure-Activity Relationships in the Early Twentieth Century // Pharmacy in History. — 1974. — Vol. 16, no. 2. — P. 54–63.
- Silverstein A. M.* A History of Immunology. — Amsterdam : Elsevier, 2009.
- Sterelny K.* Dawkins vs. Gould : Survival of the Fittest. — Cambridge : Icon Books, 2001.
- Stotz K., Griffiths P.* Biological Information, Causality and Specificity—an Intimate Relationship // From Matter to Life : Information and Causality. Vol. 10 / ed. by S. I. Walker, P. C. W. Davies, G. F. R. Ellis. — Cambridge, New York : Cambridge University Press, 2017. — P. 366–390.
- The Major Transitions in Evolution / ed. by J. Maynard Smith, E. Szathmáry. — Oxford : Oxford University Press, 2001.
- Toepfer G.* Historisches Wörterbuch der Biologie. Geschichte und Theorie der Biologischen Grundbegriffe : In 3 Bde. — Stuttgart, Weimar : J. B. Metzler, 2011.
- Van Den Belt H., Gremmen B.* Specificity in the Era of Koch and Ehrlich : A Generalized Interpretation of Ludwik Fleck’s “Serological” Thought Style // Studies in History and Philosophy of Science. Part A. — 1990. — Vol. 21, no. 3. — P. 463–479.
- Watson J. D., Baker T. A., Bell S. P.* Molecular Biology of the Gene. — London : Pearson, 2014.
- Watson J. D., Crick F. H. C.* Molecular Structure of Nucleic Acids : A Structure for Deoxyribose Nucleic Acid // Nature. — 1953. — Vol. 171, no. 4356. — P. 737–738.

Woese C. A New Biology for a New Century // Microbiology and Molecular Biology Reviews. — 2004. — Vol. 68, no. 2. — P. 173–186.

Woodward J. Causation in Biology : Stability, Specificity, and the Choice of Levels of Explanation // Biology & Philosophy. — 2010. — Vol. 25, no. 3. — P. 287–318.

Kuzin, I. A. 2022. “Kontseptsiya geneticheskoy informatsii i istoricheskaya epistemologiya [The Concept of Genetic Information and Historical Epistemology]” [in Russian]. *Filosofiya. Zhurnal Vysshey shkoly ekonomiki [Philosophy. Journal of the Higher School of Economics]* 6 (2), 114–147.

IVAN KUZIN

PHD IN PHILOSOPHY; LECTURER

NATIONAL RESEARCH UNIVERSITY — HIGHER SCHOOL OF ECONOMICS (MOSCOW, RUSSIA)

RESEARCH FELLOW

POLETAYEV INSTITUTE FOR THEORETICAL AND HISTORICAL STUDIES IN THE HUMANITIES (MOSCOW, RUSSIA); ORCID: 0000-0003-3073-4120

THE CONCEPT OF GENETIC INFORMATION AND HISTORICAL EPISTEMOLOGY

Submitted: May 02, 2022. Reviewed: May 21, 2022. Accepted: May 30, 2022.

Abstract: The information concept in molecular biology and genetics has a duality inherent in any canon: on the one hand, now it looks universal, and it is difficult to think of transcending this discourse; on the other hand, historians of science show that one’s emergence is culturally contingent and is associated with the “informatization” of science and society during WWII and the Cold War. This kind of duality is analyzed by historical epistemology (critical presentism), trying to understand science, on the one hand, as rational (truth is universal), on the other, as contingent (other possible worlds of scientific knowledge are conceivable). In this article, using the concept of genetic information as an example, it is shown how the first goal of historical epistemology is achieved by criticizing the science of the past with the help of modern science and philosophy of science. The second goal is achieved by criticizing modern science from the point of view of past science. Namely, the rapid rise of the concept of information in biology in the middle of the 20th century and the fast transition from quantitative mathematical information theory to information-linguistic metaphors can be rationally understood within the framework of the teleosemantic concept of information developed in the modern philosophy of biology. On the other hand, delving into the past of biology, we find all the more radical alternatives to the information concept and informational and linguistic metaphors: from the mathematical theory of information to the “chemical” concept of “absolute” specificity as stereospecificity to the “physical” concept of relative specificity as a consequence of collective effects. This historical perspective makes it possible to discern feasible alternatives to the information concept in modern biology.

Keywords: Biological Specificity, Genetic Information, Historical Contingency, Historical Epistemology, History of Biology, Philosophy of Biology, Possible Worlds, Presentism.

DOI: 10.17323/2587-8719-2022-2-114-147.

REFERENCES

- Adriaans, P. 2020. "Information." The Stanford Encyclopedia of Philosophy. Accessed Apr. 1, 2022. <https://plato.stanford.edu/archives/fall2020/entries/information/>.
- Barbieri, M. 2009. "A Short History of Biosemiotics." *Biosemiotics* 2 (2): 221–245.
- Bensaude-Vincent, B. 2009. "The Chemists' Style of Thinking." *Berichte zur Wissenschaftsgeschichte* 32 (4): 365–378.
- . 2013. "Discipline-building in Synthetic Biology." *Studies in History and Philosophy of Science. Part C: Studies in History and Philosophy of Biological and Biomedical Sciences* 44 (2): 122–129.
- Bowler, P. 2013. *Darwin Deleted: Imagining a World without Darwin*. Chicago: University of Chicago Press.
- Butterfield, H. 1963. *The Whig Interpretation of History: Imagining a World without Darwin*. London: G. Bell / Sons.
- Canguilhem, G. 1994. *A Vital Rationalist: Selected Writings from Georges Canguilhem*. Ed. by F. Delaporte. Trans. from the French by A. Goldhammer. New York: Zone Books.
- "Contingency." N. d. Merriam-Webster.com Dictionary. Accessed May 24, 2022. <https://www.merriam-webster.com/dictionary/contingency>.
- Crick, F. H. C. 1958. "On Protein Synthesis." *Symposia of the Society for Experimental Biology* 12:138–163.
- Deichmann, U. 2007a. "Collective Phenomena and the Neglect of Molecules: A Historical Outlook on Biology." *History and Philosophy of the Life Sciences* 29 (1): 83–86.
- . 2007b. "'Molecular' Versus 'Colloidal': Controversies in Biology and Biochemistry, 1900–1940." *Bulletin for the History of Chemistry* 32 (2): 105–118.
- . 2017. "Hierarchy, Determinism, and Specificity in Theories of Development and Evolution." *History and Philosophy of the Life Sciences* 39 (4): 1–16.
- Downes, S. M., and L. J. Matthews. 2020. "Heritability." The Stanford Encyclopedia of Philosophy. Accessed Apr. 1, 2022. <https://plato.stanford.edu/archives/spr2020/entries/heredity/>.
- Figlio, K. M. 1976. "The Metaphor of Organization: An Historiographical Perspective on the Bio-Medical Sciences of the Early Nineteenth Century." *History of Science* 14 (1): 17–53.
- Foucault, M. 1977. *Slova i veshchi. Arkheologiya gumanitarnykh nauk [Les Mots et les Choses. Une archéologie des sciences humaines]* [in Russian]. Trans. from the French by V. P. Vizgin and N. S. Avtonomova. Moskva [Moscow]: Progress.
- Gilbert, S. F., and J. P. Greenberg. 1984. "Intellectual Traditions in the Life Sciences. II. Stereocomplementarity." *Perspectives in Biology and Medicine* 28 (1): 18–34.
- Godfrey-Smith, P., and K. Sterelny. 2016. "Biological Information." The Stanford Encyclopedia of Philosophy. Accessed Apr. 1, 2022. <https://plato.stanford.edu/archives/sum2016/entries/information-biological>.
- Goldenfeld, N., T. Biancalani, and F. Jafarpour. 2017. "Universal Biology and the Statistical Mechanics of Early Life: An Historiographical Perspective on the Bio-Medical Sciences of the Early Nineteenth Century." *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences* 375 (2109): 20160341.
- Goldenfeld, N., and C. Woese. 2007. "Biology's Next Revolution." *Nature* 445 (7126): 369.
- Gould, S. J., and R. C. Lewontin. 1979. "The Spandrels of San Marco and the Panglossian Paradigm: A Critique of the Adaptationist Programme." *Proceedings of the Royal Society of London. Series B. Biological Sciences* 205 (1161): 581–598.
- Griffiths, P. 2001. "Genetic Information: A Metaphor in Search of a Theory." *Philosophy of Science* 68 (3): 394–412.

- Griffiths, P., and K. Stotz. 2013. *Genetics and Philosophy: An Introduction*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Jacob, F. 1977. "Evolution and Tinkering." *Science* 196 (4295): 1161–1166.
- Judson, H. F. 2013. *The Eighth Day of Creation: Makers of the Revolution in Biology*. New York: Cold Spring Harbor Laboratory Press.
- Kay, L. E. 2000. *Who Wrote the Book of Life?: A History of the Genetic Code*. Redwood City: Stanford University Press.
- Kearnes, M., D. Kuch, and A. Johnston. 2018. "How to Do Things With Metaphors: Engineering Life as Hodgepodge." *Life Sciences, Society and Policy* 14 (1): 1–17.
- Khersonsky, O., and D. S. Tawfik. 2010. "Enzyme Promiscuity: A Mechanistic and Evolutionary Perspective." *Annual Review of Biochemistry* 79:471–505.
- Kment, B. 2021. "Varieties of Modality." The Stanford Encyclopedia of Philosophy. Accessed May 25, 2022. <https://plato.stanford.edu/archives/spr2021/entries/modality-varieties/>
- Kupiec, J. N. 2010. "On the Lack of Specificity of Proteins and Its Consequences for a Theory of Biological Organization." *Progress in Biophysics and Molecular Biology* 102 (1): 45–52.
- Kuzin, I. A. 2015. "'Spandrels...' Gulda i Levontina i kritika adaptatsionizma ['Spandrels' by Gould and Lewontin and Critique of Adaptationism]" [in Russian]. *Vestnik Moskovskogo Universiteta [Moscow University Bulletin]: Seriya 7: Filosofiya [Series 7: Philosophy]*, no. 3: 3–18.
- . 2018. "Sud'ba spora ob adaptatsionizme i genotsentrizme v XXI veke [What Became of Adaptationism and Genocentrism Debates in 21st Century]" [in Russian]. In Kasavin and Shipovalova 2020, 35–45.
- . 2020. "Klassifikatsiya form prezentizma i antiprezentizma v istoriografii nauki [Classification of Types of Presentism and Anti-presentism in Historiography of Science]" [in Russian]. In Kasavin and Shipovalova 2020, 74–77.
- . 2021. "Istoriya geneticheskogo koda kak genealogiya budushchego [A History of the Genetic Code as a Genealogy of the Future]" [in Russian]. In *METOD [METHOD] : Moskovskiy yezhegodnik trudov iz obshchestvovedcheskikh distsiplin [Moscow Yearbook of Social Studies]*, ed. by M. V. Il'in, 11:406–421. Moskva [Moscow]: b.i.
- Lakatos, I. 1971. "History of Science and Its Rational Reconstruction." In *PSA 1970 : In Memory of Rudolf Carnap. Boston Studies in the Philosophy of Science*, ed. by R. Buck and R. Cohen, 10:91–139. Dordrecht, Holland: D. Reidel.
- Levy, A. 2011. "Information in Biology: A Fictionalist Account." *Noûs* 45 (4): 640–657.
- Loison, L. 2016. "Forms of Presentism in the History of Science. Rethinking the Project of Historical Epistemology." *Studies in History and Philosophy of Science. Part A* 60:29–37.
- Malyshev, D. A., K. Dhami, and T. Lavergne. 2014. "A Semi-Synthetic Organism with an Expanded Genetic Alphabet." *Nature* 509 (7500): 385–388.
- Marinacci, B., ed. 1995. *Linus Pauling in His Own Words: Selections from His Writings, Speeches and Interviews*. New York: Simon / Schuster.
- "Markov Chains." 2016. Encyclopedia of Mathematics. Accessed May 25, 2022. https://encyclopediaofmath.org/wiki/Markov_chains.
- Maynard Smith, J. 2000. "The Concept of Information in Biology." *Philosophy of Science* 67 (2): 177–194.
- Maynard Smith, J., and E. Szathmáry, eds. 2001. *The Major Transitions in Evolution*. Oxford: Oxford University Press.
- Mazumdar, P. M. H. 2002. *Species and Specificity: An Interpretation of the History of Immunology*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Menzel, C. 2021. "Possible Worlds." The Stanford Encyclopedia of Philosophy. Accessed May 24, 2022. <https://plato.stanford.edu/archives/fall12021/entries/possible-worlds/>

- Nicholson, D. J., and J. Dupré, eds. 2018. *Everything Flows: Toward a Processual Philosophy of Biology*. Oxford: Oxford University Press.
- Nicholson, D. J., and R. Gawne. 2015. "Neither Logical Empiricism nor Vitalism, but Organicism: What the Philosophy of Biology Was." *History and Philosophy of the Life Sciences* 37 (4): 345–381.
- Nurse, P. 2021. *What is Life?: Five Great Ideas in Biology*. New York: W. W. Norton & Company.
- O'Keefe, M., S. Perrault, and J. Halpern. 2015. "'Editing' Genes: A Case Study About How Language Matters in Bioethics." *The American Journal of Bioethics* 15 (12): 3–10.
- Parascandola, J. 1974. "The Controversy Over Structure-Activity Relationships in the Early Twentieth Century." *Pharmacy in History* 16 (2): 54–63.
- Severtsov, A. S. 2005. *Teoriya evolyutsii [The Theory of Evolution]: uchebnik dlya studentov vuzov, obuchayushchikhsya po napravleniyu 510600 "Biologiya" [The Textbook for Biology Specialty High-School Students]* [in Russian]. Moskva [Moscow]: Gumanitar / Vados.
- Silverstein, A. M. 2009. *A History of Immunology*. Amsterdam: Elsevier.
- Sterelny, K. 2001. *Dawkins vs. Gould: Survival of the Fittest*. Cambridge: Icon Books.
- Stotz, K., and P. Griffiths. 2017. "Biological Information, Causality and Specificity — an Intimate Relationship." In *From Matter to Life: Information and Causality*, ed. by S. I. Walker, P. C. W. Davies, and G. F. R. Ellis, 10:366–390. Cambridge, New York: Cambridge University Press.
- Toepfer, G. 2011. *Historisches Wörterbuch der Biologie. Geschichte und Theorie der Biologischen Grundbegriffe* [in German]. 3 vols. Stuttgart, Weimar: J. B. Metzler.
- Van Den Belt, H., and B. Gremmen. 1990. "Specificity in the Era of Koch and Ehrlich: A Generalized Interpretation of Ludwik Fleck's 'Serological' Thought Style." *Studies in History and Philosophy of Science. Part A* 21 (3): 463–479.
- Viner, N. 1958. *Kibernetika, ili upravleniye i svyaz' v zhiivotnom i mashine [Cybernetics]* [in Russian]. Ed. by G. Ya. Povarov. Trans. from the English by I. Ya. Solov'yev. Moskva [Moscow]: Sovet-skoye radio.
- Watson, J. D., T. A. Baker, and S. P. Bell. 2014. *Molecular Biology of the Gene*. London: Pearson.
- Watson, J. D., and F. H. C. Crick. 1953. "Molecular Structure of Nucleic Acids: A Structure for Deoxyribose Nucleic Acid." *Nature* 171 (4356): 737–738.
- Woese, C. 2004. "A New Biology for a New Century." *Microbiology and Molecular Biology Reviews* 68 (2): 173–186.
- Woodward, J. 2010. "Causation in Biology: Stability, Specificity, and the Choice of Levels of Explanation." *Biology & Philosophy* 25 (3): 287–318.
- Zolyan, S. T. 2018. "Geneticheskiy kod [On the Grammar and Semantics of the Genetic Code]: Grammatika, semantika, evolyutsiya" [in Russian]. In *METOD [METHOD]: Moskovskiy yezhegodnik trudov iz obshchestvovedcheskikh distsiplin [Moscow Yearbook of Social Studies]*, ed. by M. V. Il'in, 8:130–184. Moskva [Moscow]: FGUBN INION RAN.