

Х.П. Тирас

Этика и практика биологического исследования: 200 лет эволюции

Тирас Харлампий Пантелеевич – кандидат биологических наук, доцент. Пушкинский государственный естественно-научный институт, Научно-образовательный центр Института теоретической и экспериментальной биофизики РАН. 142290, Российская федерация, Московская обл., Серпуховский р-н, г. Пушкино, просп. Науки, 3; e-mail: tiras1950@yandex.ru

Центральной задачей биологии является полное описание (устройства) живой природы. Базовой биологической дисциплиной является морфология, включающая поиск и фиксацию информации о строении объекта, его описание и сохранение полученной информации для последующего анализа. Компьютерная революция в создании живых цифровых изображений биологических объектов стимулировала процесс «математизации» биологии. Это привело к появлению нового технологического уклада в биологии и возродило натуралистическую этику, которая предполагает дистанционное (неинвазивное) изучение объекта.

Ключевые слова: этика натурализма, неинвазивные методы, количественное описание, компьютерная биология, цифровые изображения

Этика натуралистов. Биология как наука знает точную дату своего «рождения» – великий французский натуралист и зоолог Ж.-Б. Ламарк впервые применил данный термин в 1802 г. До этого момента биология называлась «естественной историей», и поколения биологов, от Аристотеля до Кювье, создавали многотомные описания живой (и неживой) природы. Заметим для начала, что живая природа предстает перед читателем именно как история – описание живых (а часто и мифических) животных и растений, из-

вестных европейским ученым с античных времен вплоть до эпохи великих географических открытий XVII–XVIII вв. Не случайно исследователи природы назывались натуралистами – к этой категории ученых сегодня мы относим не только биологов, но и геологов и географов.

Это было время «внешнего» взгляда на природные явления, и основным инструментом такого описания было слово. Ученый того времени большую часть своей жизни проводил в путешествиях, наблюдая и описывая природу своей страны и дальних экзотических территорий. Практика и этика такого исследования обязательно включала отлов и отстрел животных и птиц, сбор листьев и небольших растений и создание ботанических коллекций (гербариев) из засушенных растений и зоологических коллекций из чучел и заспиртованных образцов животных. Такие длительные путешествия предпринимали в труднодоступные места, и ученый в течение нескольких месяцев находился в отрыве от людей, собирая съедобные растения и добывая диких птиц и животных для своего пропитания.

Этика ученого XVII–XVIII вв. фактически не отличалась от этики охотника или крестьянина, с учетом того, что количество добываемых растений и животных было существенно меньше. С большой долей вероятности можно утверждать, что современные этические ограничения на добычу и отлов растений и, особенно, животных не играли какой-либо заметной роли в практике исследователей того времени. Об этом можно судить как минимум на основе изучения текстов натуралистов вплоть до Линнея, Дарвина и Уоллеса, т. е. XVIII и **первой половины XIX в.** **Зафиксированы** только отдельные этические ограничения в практике биологических экспедиций. Примером может служить история «апостолов» Линнея¹. Известно, что первый посланник (апостол) Линнея, отправленный им в экзотические страны за образцами растений, Кристофер Тэрнстрем, который погиб на территории современного Вьетнама в 1746 г., был женат и имел ребенка. В итоге Линнею пришлось всю жизнь помогать семье Тэрнстрема. С тех пор все линнеевские апостолы (всего 17 человек) были неженатыми мужчинами, которые отправлялись в далекие

¹ Бруберг Г. Карл фон Линней. Стокгольм, 2006.

и опасные места Земли на свой страх и риск. Очень многие не вернулись живыми, в том числе Иоганн Петер Фальк, который нашел свою последнюю обитель в России и был похоронен в Казани в 1774 г. после тяжелой болезни.

Практика натуралистического подхода в биологии предполагает примат наблюдения над экспериментом (в сегодняшнем понимании этого слова). Его можно характеризовать как принцип *“watch no touch”*: смотри (но) не трогай. Вплоть до середины XVIII в. в европейской традиции существовал тотальный христианский запрет на внедрение в тело человека. Этот запрет отражался и на практике обращения с другими биологическими объектами, хотя нельзя сказать, что существовал прямой запрет на вскрытие животных, как, например, на посмертное вскрытие человека.

Правильнее сказать, что такое описание полностью соответствовало практическим задачам тогдашней биологии, которая ограничивалась внешним описанием существующих видов животных и растений. Книги того времени включали словесное описание объектов, в том числе и мифологических, и в малой степени – несовершенные реалистические рисунки объектов живой природы. Впрочем, задача полного описания живой природы до сих пор остается нерешенной задачей биологии. Основным препятствием этому было отсутствие технических средств создания и сохранения изображений живых биологических объектов.

При этом было бы ошибочно и несправедливо считать тогдашнюю практику биологического исследования чуждой техническим и технологическим достижениям своего времени. Хорошей иллюстрацией служит фрагмент из научной автобиографии Карла Линнея, в которой тот перечисляет оборудование, бывшее при нем во время его знаменитого путешествия по Лапландии.

Я покинул город Упсалу 12 мая 1732 г., это была пятница, в одиннадцать часов, когда мне было всего 25 лет, – писал Линней, – (у меня был) небольшой мешок., на одной стороне в нем была плотная связка книг, на другой... чернильница, ящичек для перьев, микроскоп, маленький телескоп и сетка для защиты от комаров, довольно много нарезанной бумаги для закладки растений в размер листа, гребенка, орнитология, “Flora Uplandica” и “haracteres Generici”. У меня была еще восьмигранная трость, на которой были вырезаны меры длины².

² Бобров Е.Г. Карл Линней. 1707–1778. Л., 1970. С. 35.

Из цитированного фрагмента мы видим, что в XVIII в. биологи пользовались микроскопом, имели книги с описанием европейской флоры, а также могли измерять свои образцы с помощью линейки.

Этика натуралиста-наблюдателя в полной мере соответствовала этическим установкам биологов XVII–XVIII вв., и ее ядром был безусловный примат наблюдения в описании живой природы и ее обитателей. Несомненным этическим плюсом данного подхода является его неинвазивность, принципиальный запрет и общее нежелание внедряться в структуру даже мертвого, не говоря уже о живом, объекта.

Морфологические концепции Гете и Линнея. Биолог и математик В.В. Корона³ впервые в нашей литературе осуществил сравнительный анализ морфологических подходов двух наиболее ярких представителей мира натуралистов XVIII в.

В.В. Короне мы обязаны исследованием морфологической системы Гете. Если имя К. Линнея было и остается в переднем ряду отцов и философов современной биологии, то роль И.-В. Гете до сих пор является недостаточно оцененной, и большая заслуга В.В. Короны заключается в том, что работы Гете рассматриваются сегодня в контексте самых современных философских представлений в биологической науке. Не случайно, в первую очередь, это относится к морфологическому подходу Гете. Великий поэт и создатель современного немецкого языка первым, в 1822 г., предложил назвать науку, описывающую объекты живой и неживой природы, морфологией.

Гете привнес в биологию морфологический подход из лингвистики. Собственно, логика Гете такова: когда мы не знаем значение того или иного неизвестного слова, мы обращаемся к носителю данного языка для того, чтобы он помог нам с переводом слова на наш язык. Этот метод работает в лингвистике, но совершенно не эффективен в биологии: кто нам расскажет, как устроено растение? Оно само этого сделать не может... Растения для Гете – слова незнакомого языка, в которых требуется выделить составляющие их части – морфологические элементы.

³ Корона В.В. О сходствах и различиях между морфологическими концепциями Линнея и Гете // Гомология в ботанике. М., 2001. С. 23–29.

Здесь корень этической концепции Гете: чтобы понять, как устроено растение, надо посмотреть на мир «с точки зрения растения»⁴. Это можно определить как методологическую базу натуралистики: понимание через наблюдение.

Суммируя содержание морфологической концепции Гете, можно сказать, что она базируется на представлениях о растении как «слове» иностранного языка, «смысл» которого еще только предстоит установить. Органы растения подобны морфологическим элементам слова, поэтому для выделения реальных, а не кажущихся границ морфологических элементов следует изучать их превращения. Каждое превращение (метаморфоз) складывается из одной или нескольких элементарных операций, выполняемых в определенной последовательности. Эти операции, применяемые по отношению к одному и тому же морфологическому элементу, порождают разнообразие растительных форм.

Что же представлял собой морфологический элемент тела растения? Гете называл его листом, но понимал под этим не соответствующий аппендикулярный орган, а некую абстрактно мыслимую единицу, способную принимать любую форму. Конкретные листья служили одним из примеров воплощения этой единицы. Подобно тому, как превращения (как тогда считали) невидимых химических элементов порождают бесконечное разнообразие минералов, так метаморфозы листа порождают все органы растения и все разнообразие их форм. Переводя эти представления на современный язык, можно сказать, что Гете предлагал выделять инвариантную структуру объекта исследования, вариантами воплощения которой служат те или иные части растительного организма⁵.

В морфологической концепции Линнея В. Корона увидел вариант структурного анализа. Выражаясь современным языком, можно сказать, что Линней пытался выявить внешнюю (визуально воспринимаемую) структуру объекта. Такая, перцептивная, структура – это набор признаков, по которым мы отличаем один объект от другого. В психологии эти признаки называют гештальт-каче-

⁴ Корона В.В. О сходствах и различиях между морфологическими концепциями Линнея и Гете; *Тирас Х.П.* Гете и Линней – уроки классики // Альманах. Фило-софский век. Вып. 33. С. 93–102.

⁵ Корона В.В. Указ. соч.

ствами. Они передаются не всеми имеющимися признаками объекта, а только некоторыми (инвариантными?), но какими именно – остается неизвестным. На практике, например в криминалистике, постоянно решается задача создания «фоторобота» путем трансформации словесного портрета в элементы изображения. Проблема здесь в отсутствии взаимнооднозначного соответствия между бессознательно выделяемыми элементами перцептивной структуры объекта и сознательно задаваемыми разграничительными признаками. Для распознавания образа используются одни признаки, а для его описания – другие⁶.

Проблему выбора наиболее значимых для распознавания признаков и пытался решить Линней, разрабатывая свою методику описания внешнего строения растений. С помощью этой методики он надеялся, выражаясь современным языком, выделить морфологические признаки, наиболее близкие к гештальт-качествам (признакам перцептивной структуры).

Решение поставленной задачи достигалось в два этапа. На первом объект «очищался» от «лишних» признаков. В их число вошли цвет, вкус, запах растения и все исторические, этимологические, геральдические и т. п. сведения о нем. В результате оставался один только черно-белый зрительный образ, напоминающий геометрическую схему. Затем, на втором этапе, в полученной схеме предлагалось выделить наиболее существенную часть и описать ее в системе четырех переменных, согласно «числу, фигуре, положению и пропорции»⁷.

Возможно, именно Линнею мы «обязаны» тем, что биология все эти годы оставалась наукой, не использовавшей цвет для описания своих объектов. Только сегодня, с помощью специальных методов анализа, цветные изображения могут быть физически грамотно проанализированы⁸.

⁶ Корона В.В. Указ. соч.

⁷ Линней К. Философия ботаники. СПб., 1805. С. 195; Корона В.В. Указ. соч. С. 27.

⁸ Тирас Х.П., Рождественская З.Е., Ильясов Э.Ф., Петров А.Б., Майоров С.Р. Компьютерная биология – проблемы и перспективы // Горизонты биофизики / Ред. Г.Р. Иваницкий. Серпухов, 2003. С. 62–66; Крайский А.В., Миронина Т.В., Султанов Т.Т. Измерение поверхностного распределения длины волны узкополосного излучения колориметрическим методом // Квантовая электроника. 2010. Т. 40. № 7. С. 652–658.

Применение данного способа описания позволяло представить визуальный образ объекта классификации в виде набора однозначно понимаемых признаков, но проблема соответствия этих признаков элементам перцептивной структуры осталась нерешенной.

Возможную альтернативу интуиции в данном случае создает компьютерная биология, в частности, трехмерные (объемные) виртуальные биологические коллекции. На пути к реализации «измерительных» подходов, получению возможно более подробных матриц, детально описывающих множество исследуемых листьев, можно надеяться найти «пространство отобранных природой форм» для каждого исследуемого вида растений или животных⁹.

Этика естествоиспытателей. Биологи XVIII в., будучи правоверными христианами, естественно, придерживались ортодоксальной христианской этики. Однако в процессе общественного развития Европы, в эпоху начала индустриального развития в науке зарождается и развивается принципиально новый, т. н. экспериментальный метод. Впервые это происходит в Англии на фоне зарождения новой машинной эры в экономике, а отцом нового подхода становится сэр Фрэнсис Бэкон. Данный подход всецело отвечал практическим потребностям современной ему науки – повсеместно опыт, манипулятивные процедуры становятся сначала новыми, а затем, уже в конце XVIII и начале XIX вв., основными методами получения новой информации.

Здесь важно отметить общий методологический контекст, в котором ставилась проблема научного открытия во времена Ф. Бэкона. Тогда господствовала метафора природы как скрывающей от человека свои тайны, посему он должен (по мысли Бэкона) любым доступным способом выведать у нее эти тайны, и если добром не отдаст, то силой. В оригинале это выглядело следующим образом: «Природу следует загнать собаками, вздернуть на дыбу, изнасиловать, ее нужно пытаться, чтобы заставить выдать свои тайны ученым, ее нужно превратить в рабу, ограничить и управлять ею»¹⁰.

⁹ Тирас Х.П. Человек и лягушка. Биоэтика XXI в. // Химия и жизнь. 2002. № 9. С. 23–27; Тирас Х.П., Рождественская З.Е., Ильясов Э.Ф., Петров А.Б., Майоров С.Р. Указ. соч.

¹⁰ Гроф С. Путешествие в поисках себя. М., 2008. С. 227.

Налицо манифестация (внешнего) вмешательства в природный объект в качестве метода получения информации о нем. Основания этого подхода можно найти, в том числе, в жизненной практике сэра Ф. Бэкона. Известно, что многие годы Бэкон занимал пост прокурора Англии, а в практике тогдашней работы с подозреваемыми широко использовались т. н. силовые (читай – пыточные) методы. Таким образом, знание вырывается у природы силой, примененной к объекту исследования.

Впрочем, иногда Бэкон был не столь категоричен. Так, в другом случае он пишет: «Следует совершать разложение и разделение природы, конечно, не огнем, но разумом, который есть как бы божественный огонь»¹¹. Надо отдать должное Бэкону: он придерживался своего подхода к получению нового знания до последних дней – изучая влияние холода на организм человека, прикладывал лед к собственной голове, заработал горячку, переохладился и скоропостижно скончался.

Методология Бэкона появляется на фоне повсеместного торжества средневековой схоластики: «все знание в книгах, читайте Аристотеля – там все написано, а лучше – учите наизусть». Окружающая природа воспринимается тогдашним человеком как враждебная среда, которую надо завоевывать, как новую территорию, ибо она хранит свои тайны «в таинственных пещерах», за семью замками. Соответственно, цель ученого – проникнуть в эти пещеры и достать для человечества тайны природы, поставить их на службу человеку.

Этика эксперимента (пафос победителей природы) была весьма созвучна эпохе побеждающего секуляризма и (параллельно) побеждающего капитализма XVIII–XIX вв. Биология была при этом в авангарде процесса, поскольку инициировала, наверное, наиболее сильный «удар» по старой парадигме – вышла в свет книга Ч. Дарвина «Происхождение видов». Все общество сначала разделилось на две группы: защитников и противников эволюционной идеи, а затем, уже ближе к концу XIX в., идея эволюции повсеместно победила, ознаменовав окончательную смену парадигмы.

В конце XIX и на всем протяжении XX в. повсеместно царит экспериментальный подход, «научный опыт» как основной инструмент получения новых знаний. Одновременно дарвиновская

¹¹ Бэкон Ф. Новый органон // Бэкон Ф. Соч.: в 2 т. Т. 2. М., 1972. С. 113.

теория эволюции становится теоретическим ядром современной биологии и остается таковой до настоящего времени. Неизбежно натуралистические подходы отступают на второй план, хотя никто и никогда от них не отказывался. Под понятием «эксперимент» в биологии подразумевалось непосредственное, чаще всего, хирургическое вмешательство для создания биологических (физиологических) моделей.

Практика биологов XIX в. мало чем отличается от существовавшей в науке предыдущих веков. Повседневная жизнь биолога – все те же экспедиции, из которых привозятся листья для гербариев и добытые животные (в основном мелкие позвоночные и птицы) для зоологических музеев. В промежутках между полевыми сезонами – биологический (зоологический или ботанический) музей. С точки зрения технологии – это все те же инструменты, что у Линнея. В технологии получения количественных данных о биологических объектах и даже процессах: основной и даже единственный инструмент – линейка.

Правда, становится все более массовой микроскопическая техника, причем у Р. Вирхова (1821–1902) уже есть планхроматический объектив с масляной иммерсией, что означает максимально возможное качество световой микроскопии. И.И. Мечников пишет своему другу А.О. Ковалевскому о появлении новых анилиновых красителей, которые позволяют получить лучшие препараты и делают более доступными для зарисовки и описания микроскопические срезы и мелких животных.

Музеи становятся основным коллектором биологического контента: в них формируются **постоянные** коллекции животных и растений, которые изучают биологи в промежутках между полевыми исследованиями.

В XIX в. оформляются и окончательно развиваются в XX в. два направления развития биологии, их условно можно определить как «химическое» и «физико-математическое». «Химический» тренд состоялся как поиск молекулярных основ жизнедеятельности и реализовался в бурном прогрессе биохимии и, позже, молекулярной биологии. По своей сути, это поиск нового качества, новых молекул, обеспечивающих все многообразие биологических процессов. А физико-математический подход характеризует стремление к точному количественному описанию природных объектов и явлений.

В первой половине XIX в. в биологии происходит «первое пришествие» математики. Зарождается теория систем (Л. фон Бергаланфи), которая во многом опирается на биологические примеры. И.И. Шмальгаузен, в ряду других европейских ученых, создает уравнения роста животных и растений, что стимулирует прямые измерения частей тела животных и растений, в том числе в ходе индивидуального развития. В то же время физические измерения строения живых растений и животных доступны только для ограниченного числа объектов: основным измерительным инструментом остается линейка.

Биология XX в. – это безусловное доминирование экспериментального подхода. Повсеместно ставятся эксперименты, все более широко используются высшие позвоночные для создания экспериментальных моделей. Этому способствует и общественное мнение – надежда на победу в борьбе с болезнями и старостью – «ахиллесовой пятой» человека. В это верят все: и биологи и общество. Правда, реальность оказалась не столь привлекательной.

Эксперименты на животных в первой половине XX в. еще не были обеспечены качественной анестезией, и первые физиологические лаборатории приходилось строить без окон, чтобы снаружи не были слышны (!) обстоятельства хирургических операций. Кровь и боль постоянно присутствуют в биологической практике, что остается вне общественного внимания вплоть до 60-х гг. XX в. Тогда, после талидомидовой катастрофы, резко возрастает число животных, используемых в экспериментах, в связи с новой практикой валидирования лекарственных препаратов, принятой в Европе и США: доклиническое исследование на двух видах грызунов и три стадии клинического исследования. Число высших позвоночных животных, используемых в доклинических исследованиях, только в Европе достигает к началу XXI в. 20 млн. Появляются современные клиники по разведению лабораторных животных и, одновременно, растут протесты против использования высших позвоночных в токсикологической практике. Это время появления новой науки – биоэтики, которая делает центром своего внимания отношение биолога и исследуемого им животного. При этом с самого начала биоэтики акцент был сделан на втором элементе этой диалектической пары: экспериментальном объекте как «слабом» элементе, нуждающемся в защите.

В современной экспериментальной биологии более 40 лет назад был сформулирован принцип «трех R»: refine, reduce и replace¹². Согласно этому принципу следует постоянно стремиться к: refine – улучшению условий проведения экспериментов над животными, reduce – уменьшению числа животных в опыте и, в конечном счете, герplace – замещению их в эксперименте беспозвоночными животными, клеточными или молекулярными тестами. С тех пор принцип «трех R» является основным направлением в работе с применением высших позвоночных в биомедицинском эксперименте.

В России первые этические протесты против экспериментальной практики в медицине были сформулированы уже в начале XX в. Тогдашняя председательница Главного правления Российского общества покровительства животным баронесса фон Мейендорф в 1904 г. выпустила доклад под заглавием «О вивисекции, как возмутительном и бесполезном злоупотреблении во имя науки», результатом чего было формирование Комиссии по вивисекции в Военно-медицинской академии. В этой истории принял участие, со своим особым мнением, профессор и будущий Нобелевский лауреат И.П. Павлов, который боролся за право медиков использовать высших животных в экспериментах, в частности, не связанных с вивисекцией¹³.

Признавая факты страданий животных в эксперименте, Павлов говорит о всеобщей практике эксплуатации т. н. рабочих животных, в первую очередь лошадей. При этом он решительно отвергает идею, высказанную в докладе баронессы фон Мейендорф о том, что опыты над животными вообще нецелесообразны.

Биологи всегда понимали оба обстоятельства: необходимость проведения экспериментов на высших животных и неизбежность этических проблем, возникающих в ходе этих опытов. Эта дилемма, моральный выбор биолога – предмет постоянного внутреннего конфликта, присущего этой профессии¹⁴.

В истории российско-советской науки также был замечательный пример этической концепции – «Этика сочувствия», впервые сформулированная С.В. Мейеном в книге «Пути в незнание»¹⁵.

¹² *Russell W.M.S., Burch R.L.* The Principles of Humane Experimental Technique. Methuen, L., 1959.

¹³ *Павлов И.П.* Полн. собр. соч. Т. 6. М.; Л., 1952. С. 14–226.

¹⁴ *Турас Х.П.* Человек и лягушка; *Турас Х.П.* На пути к этической биологии // Практична філософія. 2006. № 1 (19). С. 21–229.

¹⁵ *Мейен С.В.* Принцип сочувствия // Пути в незнание. Писатели рассказывают о науке. Сб. 13. М., 1977. С. 401–430.

В центре концепции – моральный выбор при выяснении научной истины: как быть, например, если автор новой концепции выступает на семинаре с не совсем отточенной, детально продуманной позицией. Он попросту не успел точно сформулировать, уточнить неизбежные в начале слабые места своей концепции, устранить определенные логические пробелы и прочие огрехи, но хочет поскорее высказаться перед коллегами, обсудить свои идеи. Если сразу после выступления на семинаре мы подвергнем его уничтожительной критике, то, с большой долей вероятности, победим в полемической схватке. Но, пишет Мейен, вслед за Любищевым, стоит ли такая «победа» уже потерянного на семинаре времени? В лучшем случае, мы потешим свое самолюбие, но ни в коей мере не компенсируем этим саму потерю времени. Гораздо продуктивнее помочь «косноязычному автору» сформулировать его идеи, чтобы точнее понять его мысль. А вдруг она окажется полезной? Надо попробовать стать этим автором, хотя бы на некоторое время, чтобы понять его логику¹⁶.

Мейен и Любищев фактически воспроизводят позицию Гете: надо «воплотиться» в своего оппонента, «стать им», хотя бы на некоторое время, чтобы понять его логику. Этика сочувствия Любищева–Мейена была сформулирована в 60–70-е гг. прошлого века. К сожалению, она оказалась невостребованной в нравственной атмосфере советской науки, и не удивительно, что осталась уделом немногочисленных теоретиков этики и философов, интересующихся вопросами биологии. В то же время технические средства тогдашней биологии не позволяли всерьез говорить о неинвазивных, дистанционных методах исследования.

Представляется, что сегодня, в условиях компьютерной революции в биологии вновь становится актуальным старый – новый – постулат И.-В. Гете: посмотреть на мир с точки зрения исследуемого объекта. Очевидно, что движение биологов к этике – это движение в том же направлении, каким шли Гете, Любищев и Мейен, хотя исходные посылки в каждом случае были различными. Новая, компьютерная натуралистика вырастает на почве хорошо усвоенных классических представлений натуралистики Гете–Гумбольдта–Лоренца¹⁷.

¹⁶ Мейен С.В. Принцип сочувствия.

¹⁷ Тирас Х.П. Человек и лягушка; Тирас Х.П. На пути к этической биологии.

«Точное знание можно получить только “этичным путем”». Следующим элементом в системе этических принципов биологии является принцип «этичное – значит точное». Он логично вытекает из принципа “watch no touch” как его продолжение в область научной практики. Действительно, задача науки – получить как можно более точные сведения об исследуемом объекте. Настоящий принцип утверждает, что только при соблюдении этических требований можно получить точные знания об исследуемом объекте.

Биомедицинское исследование предполагает создание т. н. экспериментальной модели того или иного явления, физиологической реакции, биохимического процесса. Очевидно, что в ходе любого внешнего (экспериментального) воздействия на объект при создании экспериментальной модели неизбежно происходит повреждение исследуемого животного или растения. В итоге мы наблюдаем «поле действия» принципа дополнительности в биологии: эффект внешнего воздействия оказывается сопоставимым или даже более масштабным, нежели исследуемый феномен живого объекта. Очень часто это обстоятельство даже не принимается во внимание исследователем, хотя очевидно страдает качество получаемого результата.

Известно, что принцип дополнительности был введен Нильсом Бором именно для преодоления подобного несоответствия при анализе результатов воздействия внешних сил на атомное ядро. Было очевидно, что гигантская энергия, направленная на разбиение ядра атома в ускорителях, будет влиять на строение самого ядра – и нельзя говорить о какой-либо адекватности полученных данных о строении ядра.

Тогда будет справедливо, признать, что экспериментальная биология – это сплошь поле «работы» принципа дополнительности. Действительно, любое операционное вмешательство в живой объект нарушает его нормальную структуру и, в итоге, исследователь оперирует данными, полученными в более или менее поврежденном объекте. При этом а priori предполагается, что изучается физиологический, а не патологический процесс...

Тем самым, основным недостатком экспериментального метода в биологии является даже не его очевидная негуманность, а осознание проблемы «артефакта воздействия», который стал тор-

мозом на пути получения точного знания о работе живой материи, строении и функции живого организма, его клеток и тканей. Эта накопленная методологическая (и этическая) ошибка в ходе развития биологии не могла быть снята вплоть до конца XX в.

Компьютерная революция в биологии XXI в. – новая технологическая реальность и новая (старая) этика. В XXI в. биология получила надежду на разрешение своей основной проблемы: в науку пришли цифровые технологии создания изображений – появились сканеры, в том числе трехмерные, цифровые фото- и видеокамеры, различные томографы. Это инструментарий новой, компьютерной биологии, который предоставил биологам шанс получить точное количественное описание строения и функции биологических объектов неинвазивным, дистанционным путем. Для биологии это означает радикальное изменение всего объема образной информации, которая имеет для нее основополагающее значение¹⁸.

Принципиальным новшеством является возможность создания имиджей живых биологических объектов, что открывает перспективу неинвазивной работы с биологическим объектом. Важнейшим компонентом компьютерной биологии является анализ полученных изображений. Разработка и применение различных софтов для анализа одного и того же изображения – оригинальный путь верификации полученных данных в компьютерной биологии¹⁹.

Тем самым радикально изменилась исследовательская парадигма в биологической практике. Появилась возможность уменьшить степень внешнего (повреждающего) воздействия на объект, т. е. сузить сферу деятельности принципа дополнительности. При этом пропорционально уменьшению этого внешнего влияния возрастет качество данных о строении и функции живого объекта, что напрямую связано с точностью измерения его морфологического или физиологического состояния в ходе неинвазивного исследования.

Как писал один из основоположников компьютерной биологии, академик Г.М. Франк: «Эпоха машинной биологии не за горами. Пройдет немного времени, и машинные анализаторы живых

¹⁸ Тирас Х.П. Виртуальный биологический музей как зеркало компьютерной революции // Химия и жизнь. 2000. № 11–12. С. 24–29.

¹⁹ Тирас Х.П. Компьютерная биология – основания и определения // Тр. 1-й Всероссий. научно-практ. конф. «Компьютерная биология – от фундаментальной науки к биотехнологии и биомедицине». Пушкино, 2011. С. 81–82.

структур совершат в биологии такой же переворот, какой около 300 лет произвел оптический микроскоп, а лет 15 назад – микроскоп электронный»²⁰. Как видим, Г.М. Франк на далекой заре «машинной» (тогда еще не было слова «компьютер»!) биологии понимал, что эта технология сопоставима по своей значимости для биологии с изобретением микроскопа.

Хорошей тому иллюстрацией может послужить ситуация с измерением процесса регенерации плоских червей планарий. Это классическая модель биологии развития, известная со времен Т. Моргана, однако только применение неинвазивной методики прижизненной компьютерной морфометрии удалось получить рекордно точные сведения о динамике процесса регенерации²¹.

Здесь в полной мере проявилась суть принципа «этичное – значит точное», т. е. в ходе исследования процесса регенерации на живых планариях были получены данные несопоставимо более адекватные, чем были получены ранее, в ходе «обычных» биологических манипуляций – химической фиксации червей с последующей гистологической обработкой. Компьютерные технологии создания изображений регенерирующих планарий обеспечили резкий скачок в точности и адекватности полученных данных, не говоря уже о том, что время работы по созданию такого изображения несоизмеримо мало по сравнению с традиционной гистологической и цитологической практикой.

Фактически произошел настоящий прорыв к новой этике отношений биолога со своими объектами. Любопытным образом совпали интерес биологов к получению точного знания о своем объекте и интерес общества к гуманизации научного исследования. Биология находится в начале технологической революции, которая в ближайшие десятилетия резко изменит классические представления об эксперименте как методе исследования, неизбежно связанном с активным повреждающим внедрением в объект.

Новые технологии позволяют создавать точные электронные изображения живых растений и животных. Формируется новая, компьютерная биология как отдельная часть биологии, со свои-

²⁰ Франк Г.М. Машинная биология будущего // Техника молодежи. 1968. № 4. С. 18.

²¹ Тирас Х.П., Асланиди К.Б. Тест-система для неклинического исследования медицинской и экологической безопасности на основе регенерации планарий. Тула, 2013.

ми специфическими объектами и методами. Она «начинается» с момента создания электронного изображения живого биологического объекта, составляющего предмет данной науки, и «заканчивается» анализом этого изображения (получением новой информации об объекте).

С цифровой техникой в биологию вновь «приходит» математика: прикладная математика призвана создавать новые программные продукты для анализа изображений, который является специфическим методом этой науки. Тем самым биология может полностью переходить на количественное описание живых объектов.

Новая наука формируется в рамках новой технологической среды, работа в которой вызывает новую этику субъект-объектных отношений – натуралистику эпохи компьютерной биологии²². Компьютерная натуралистика, безусловно, является естественным продолжением классического натурализма.

Спор естествоиспытателя и натуралиста – это «первородный грех» биолога, непрерывно шел, идет и будет идти в каждом исследователе. Нельзя быть биологом и не любить природу (признак натурализма), и нельзя исследовать природу без вмешательства в сам биологический объект (признак естествоиспытателя). В разные периоды истории в этической практике биологии «доминировал» натуралист (XVI–XVIII вв.) или естествоиспытатель (последние 150 лет). Есть основания полагать, что предстоящий век пойдет под знаком возрождения натурализма в его новой, компьютерной ипостаси. В определенном смысле, биология «возвращается» к развилке, у которой она оказалась 200 лет назад: в момент тотального перехода к экспериментальному методу. Вновь на передний план выходит наблюдение, но уже в новой ипостаси, обеспечивающей, в том числе, получение точных количественных данных об объекте.

Натуралистическая парадигма изначально базировалась на позиции наблюдателя: стороннего (читай – беспристрастного) регистратора происходящего процесса. При этом постулировался принцип невмешательства в биологический объект: «watch no touch».

Радикальный философ и физик справедливо отметит, что любое наблюдение тоже есть вмешательство, ибо сам факт наблюдения тоже можно интерпретировать как некое воздействие на ис-

²² Турас Х.П. На пути к этической биологии.

следуемый процесс. Однако здравый смысл подсказывает, что есть существенная разница, например, для регистрации формы тела пресноводного плоского червя – планарии, между видеосъемкой ее движения с помощью цифровой видеокамеры, смонтированной на микроскопе, и ее фиксации в формалине с последующим рассмотрением в том же микроскопе. В этой экспериментальной парадигме масштаб «работы» принципа дополнительности резко уменьшен.

Таким образом, сегодняшняя натуралистика позволила биологу «отдалиться» от объекта на разумное расстояние, что дает возможность получать информацию о живом биологическом объекте. Одновременно резко повысилось качество получаемой информации. В случае с планариями методы компьютерной биологии позволили создать принципиально новый метод прижизненной компьютерной морфометрии регенерации, который позволяет оценить действие на этот процесс рекордно слабых физических и химических факторов²³.

Особой проблемой получения точного знания о морфологии объекта является необходимое и достаточное число исследуемых объектов (животных или растительных моделей). В технологии классической гистологии эта задача была практически неразрешима: наиболее статистически точный результат получается при усреднении данных в группе, включающей не менее 20 животных. В то же время практика гистологического исследования показывает, что это число, в лучшем случае, включает пять независимых объектов: мышей, крыс или лягушек. Физически невозможно поставить опыт, в котором будет обработано 20 животных только в одной экспериментальной группе. А любой опыт включает не только экспериментальные, но и контрольные группы.

Техника компьютерной биологии, например, при исследовании той же регенерации планарий, позволяет в течение одного дня получить изображения 100–120 регенерирующих планарий. На обработку такого числа образцов методами классической гистологии потребовались бы многие месяцы, такой объем исследований в практике гистологии никогда не наблюдается. Тем самым, только этичные методы работы с животными (планариями) позволяют получить максимально точные сведения об исследуемом биологическом процессе.

²³ Тирас Х.П., Асланиди К.Б. Указ. соч.

Этика биологического исследования и образования. Одним из неизученных аспектов взаимоотношений пары «биолог–объект» является «отрицательная обратная связь» между биологом и объектом его исследования. Этот негативный опыт относится к области рефлексии исследователя относительно собственной деятельности, его самооценки своего труда и его результатов. Речь идет о негативном воздействии на человека отрицательных эмоций, возникающей в ходе исследовательской работы в связи с необходимостью травмировать и умерщвлять исследуемых животных. Следует признать, что сегодня биология является «опасной наукой»²⁴.

Если вновь обратиться к паре «биолог–объект», то диалектика их взаимодействия этически и психологически (для человека) травматична для обеих частей этой пары. Этот аспект биологической практики остается до последнего времени вне поля биоэтики, хотя каждый биолог знает о ней и очень болезненно реагирует на попытки обсуждения этой темы. В биоэтической литературе эта тема развивается с 1999 г.²⁵. Любой «этически неблагоприятный» поступок не обходится даром: в ходе работы, приводящей к гибели животного, исследователь неизбежно испытывает отрицательные эмоции, получает психологическую травму. Не случайно большинство биологов и медиков не хотят обсуждать эту тему с кем-либо. Следует констатировать, что данный аспект проблемы – «отрицательная обратная связь» биолога и изучаемого им объекта – практически не исследован в прикладной психологии и масштабы проблемы до сих пор не осознаны.

Эта проблема особо значима для биомедицинского образования. Впервые, в художественной форме, на эту проблему обратила внимание биолог и писатель Л.Е. Улицкая в романе «Казус Кукоцкого» (2001 г.). Ее героиня Таня в 15 лет попадает в биологическую лабораторию и проводит тонкие операции на беременных крысах. В какой-то момент Таня осознает (!), **чем именно** она занимается: фактически она убивает саму крысу и ее не родившихся детены-

²⁴ Тищенко П.Д. Биовласть в эпоху биотехнологий. М., 2000; Турас Х.П. На пути к этической биологии.

²⁵ Турас Х.П. Естественная биоэтика – на пути от императива к убеждению // Философское осмысление судеб цивилизации. М., 2001. С. 216–218; Турас Х.П. Человек и лягушка.

шей. Будучи абсолютно не готовой к этому факту, Таня испытывает эмоциональный шок и навсегда уходит из экспериментальной медицины, которой намеревалась заниматься всю свою жизнь. В результате общество потеряло будущего прекрасного врача, ибо только человек с подобным отношением к пациенту может называться настоящим врачом. Естественно, этим молодым людям нужно время и помощь опытных преподавателей, чтобы понять и осознать меру своей ответственности и выработать готовность жить в условиях повышенной этической нагрузки.

Рассмотрим центральное противоречие, с которым сталкивается студент в ходе биологического образовательного процесса. Молодой человек приходит в биологию с чувством любви, восхищаясь живой природой, но с самого начала образования встречается с жестокими реалиями биологии как науки и научной дисциплины. Это необходимость в ходе учебных (!) практикумов оперировать позвоночных животных (лягушек, а потом крыс и мышей), что, в конечном счете, заканчивается гибелью подопытных животных.

В средней школе осознание последствий таких манипуляций стало обоснованием запрета на работу школьников с живыми животными. Паллиативом является общение с школьниками с животными под непосредственным наблюдением преподавателей вне школы, в различных детско-юношеских образовательных центрах.

Затем вчерашний школьник, любящий природу и ее обитателей, попадает в биологический или медицинский вуз. Этические «перегрузки» в этом случае могут быть весьма серьезными, вплоть до ухода из профессии.

Очевидно, что существующая практика биологического и медицинского образования требует серьезной этической экспертизы и коррекции. В первую очередь следует как можно раньше информировать учащихся о возможных этических рисках, которые имеются в биологии, должен работать принцип «предупрежден – значит защищен». Фактически речь идет о расширении в область биомедицинского образования известного в биоэтике принципа информированного согласия, который успешно себя зарекомендовал в клинической, медицинской практике и является общепринятым²⁶.

²⁶ Тирас Х.П. Право на информацию и принцип информированного согласия в биомедицинском образовании // Конструирование человека. Томск, 2008. С. 148–152.

Второе, что следует ввести в образовательную практику, это принцип постепенности в работе с живыми объектами: необходимо выстроить учебный процесс в работе с живыми объектами «от простого к сложному», чтобы студент начал обучение на менее сложных операциях и особых, устойчивых к повреждению, животных. Критически важным является выбор **первого экспериментального объекта**. Это животное должно быть достаточно устойчивым к различным повреждениям, которые могут нанести им неопытные исследователи в ходе накопления первоначального опыта наблюдений и манипуляций. Таким условиям полностью отвечают упомянутые выше пресноводные плоские черви – планарии. С 2004 по 2012 г. эти животные были использованы в курсе «Введение в биоэтику» на первом курсе бакалавриата Пущинского филиала МГУ как основной экспериментальный объект. Основное биологическое свойство планарий – способность к регенерации, они прекрасно переносят различные хирургические повреждения, которые неминуемы при работе неопытного исследователя. Следовательно, студент изначально знает, что при любых возможных повреждениях, которые он может нанести планарии, она не погибнет, а регенерирует утраченную или поврежденную часть тела или даже целый орган. Это резко снижает этическую нагрузку в образовательном процессе²⁷.

Заключение. К началу XXI в. биология оказалась в центре общественных ожиданий как лидер естествознания. Сегодня биология – это наука, призванная решить несколько важнейших проблем человечества: продовольственную, экологическую и повышения качества жизни населения Земли. Вместе с тем то же общественное мнение призывает биологов уменьшить сферу применения высших животных в биомедицинских исследованиях. Налицо этическая коллизия, быстрого решения которой не предвидится.

Расширенное развитие биотехнологии делает профессию биолога массовой, а этические проблемы практической биологии делают профессию биолога опасной, в первую очередь для самих ученых. Требуется серьезная гуманитарная экспертиза биологической практики, разработка и внедрение этически нейтральных подходов для успешного решения основных задач биологии и биологического образования.

²⁷ Тирас Х.П. Право на информацию и принцип информированного согласия в биомедицинском образовании. С. 148–152.

Одним из возможных направлений снижения этической нагрузки, ложащейся на биологов, является развитие компьютерной биологии, создающей новую технологическую среду этой науки, нацеленной на неинвазивные методы исследования и получения нового точного знания о биологических объектах и процессах. Цифровой технологический уклад изменил биологическую практику: вместо глаза и линейки биолог оперирует фотошопом и программами для анализа изображений. Одновременно этот уклад возрождает гуманистические по своей природе этические построения, рождается новая компьютерная натуралистика и возрождается новая (старая) этика натуралистов в XXI в. Биология получает основной вектор своего развития на длительную перспективу.

Список литературы

- Бобров Е.Г.* Карл Линней. 1707–1778. Л.: Наука, 1970. 286 с.
- Брубберг Г.* Карл фон Линней / Пер. с швед. Н. Хассо. Стокгольм: Швед. Ин-т, 2006. 44 с.
- Бэкон Ф.* Соч.: в 2 т. М.: Мысль, 1972.
- Гроф С.* Путешествие в поисках себя. М.: Изд. Трансперсон. Ин-та, 2008. 352 с.
- Корона В.В.* О сходствах и различиях между морфологическими концепциями Линнея и Гете // Гомология в ботанике. СПб., 2001. С. 23–29.
- Крайский А.В., Миронова Т.В., Султанов Т.Т.* Измерение поверхностного распределения длины волны узкополосного излучения колориметрическим методом // Квантовая электроника. 2010. Т. 40. № 7. С. 652–658.
- Линней К.* Философия ботаники. СПб., 1805.
- Мейен С.В.* Принцип сочувствия // Пути в неизвестное. Писатели рассказывают о науке. Сб. 13. М., 1977. С. 401–430.
- Павлов И.П.* Полн. собр. соч.: в 6 т. М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1952. Т. 6. 463 с.
- Тирас Х.П.* Виртуальный биологический музей как зеркало компьютерной революции // Химия и жизнь. 2000. № 11–12. С. 24–29.
- Тирас Х.П.* Гете и Линней – уроки классики // Философский век. Альманах. Вып. 3. Карл Линней в России. СПб., 2007. С. 93–102.
- Тирас Х.П.* Естественная биоэтика – на пути от императива к убеждению // Философское осмысление судеб цивилизации. М., 2001. С. 216–218.
- Тирас Х.П.* Компьютерная биология – основания и определения // Тр. 1-й Всерос. научно-практ. конф. «Компьютерная биология – от фундаментальной науки к биотехнологии и биомедицине». Пушкино, 2011. С. 81–82.

Тирас Х.П. На пути к этической биологии // Практична філософія. 2006. № 1 (19). С. 221–229.

Тирас Х.П. Право на информацию и принцип информированного согласия в биомедицинском образовании // Конструирование человека: Сб. тр. Всерос. науч. конф. с международ. участием (г. Томск, 12–15 июня 2008 г.): в 2 т. Т. 1. Ч. 1. Томск, 2008. С. 148–152.

Тирас Х.П. Человек и лягушка. Биоэтика XXI в. // Химия и жизнь. 2002. № 9. С. 23–27.

Тирас Х.П., Асланиди К.Б. Тест-система для неклинического исследования медицинской и экологической безопасности на основе регенерации планарий. Тула: Изд-во ТулГУ, 2013.

Тирас Х.П., Рождественская З.Е., Ильясов Э.Ф., Петров А.Б., Майоров С.Р. Компьютерная биология – проблемы и перспективы // Горизонты биофизики / Ред. Г.Р. Иваницкий. Серпухов, 2003. С. 62–66.

Тищенко П.Д. Биовласть в эпоху биотехнологий. М.: ИФРАН, 2001. 139 с.

Франк Г.М. Машинная биология будущего // Техника молодежи. 1968. № 4. С. 18.

Russel W.M.S., Burch R.L. The Principles of Humane Experimental Technique. Methuen, L., 1959. 238 p.

Ethics and practice of biological research: 200 years of evolution

Harlampij Tiras

CSc in biology, assistant professor. Institute of Theoretical and Experimental Biophysics of RAS, Pushchino State University. Prosp. Nauki 3. Moskovskaja obl., Serpuhovskij r-n, Pushhino, 142290, Russian Federation; e-mail: tiras1950@yandex.ru

The central objective of biology is a complete description (of the organization) of wildlife. Basic biological discipline is the morphology that includes search and recording of information about the structure of the object, its description and preservation of the received information for further analysis. The computer revolution in the creation of live digital images of biological objects has stimulated the process of “mathematization” of biology. This has led to the emergence of a new technological paradigm in biology and revived naturalistic ethics, which allows remote (non-invasive) study of the object.

Keywords: ethics of naturalism, non-invasive methods, quantitative description, computational biology, digital images

References

- Bacon F. *Sochineniya* [Works]. Moscow: Mysl' Publ., 1972. (In Russ.)
- Bobrov, E.G. *Karl Linnei. 1707–1778*. [Carl Linnaeus. 1707–1778]. Leningrad: Nauka Publ., 1970. 286 pp. (In Russ.)
- Broberg, G. *Karl fon Linnei* [Carl Linnaeus], transl. by N. Khasso. Stockholm: Shvedskii institute Publ., 2006. 44 pp. (In Russ.)
- Frank, G.M. “Mashinnaya biologiya budushchego” [Machine Technology of the Future], *Tekhnika molodezhi*, 1968, no 4, p. 18. (In Russ.)
- Grof, S. *Puteshestvie v poiskakh sebya* [A Quest in Search for Oneself]. Moscow: Transpersonal Inst. Publ., 2008. 352 pp. (In Russ.)
- Korona, V.V. “O skhodstvakh i razlichiyakh mezhdru morfologicheskimi kontseptsiyami Linneya i Gete” [On the Similarities and Differences of Morphological Conceptions of Linnaeus and Goethe], *Gomologiya v botanike* [Homology in Botany]. St.Petersburg: St.Petersburg Union of Scientists Publ., 2001, pp. 23–29. (In Russ.)
- Kraiskii, A.V., Mironova, T.V, Sultanov, T.T. “Izmerenie poverkhnostno-gorizontnogo raspredeleniya dliny volny uzkopolosnogo izlucheniya kolorimetricheskim metodom” [Measures of the surface distribution of wavelength of the narrow-banded radiation by the colorimetric method], *Kvantovaya elektronika*, 2010, vol. 40, no 7, pp. 652–658. (In Russ.)

Linneaus C. *Filosofiya botaniki* [Philosophy of Botantics]. St.Petersburg, 1805. (In Russ.)

Meien, S.V. “Printsip sochuvstvviya” [Sympathy Principle], *Puti v neznaemoe*, vol. 13. Moscow: Sovetskij pisatel’ Publ., 1977, pp. 401–430. (In Russ.)

Pavlov, I.P. *Polnoe sobranie sochinenii* [Complete Collection of Works], vol. 6. Moscow, Leningrad, 1952. 463 pp. (In Russ.)

Russel, W.M.S., Burch R.L. *The Principles of Humane Experimental Technique*. Methuon, London, 1959. 238 pp.

Tiras Kh.P. “Estestvennaya bioetika – na puti ot imperativa k ubezhdeniyu” [Natural Bioethics - on the way from the imperative to believe], *Filosofskoe osmyslenie sudeb tsivilizatsii* [Philosophical comprehension of the fate of civilization]. Moscow: IF RAN Publ., 2001, pp. 216–218. (In Russ.)

Tiras, Kh.P. “Chelovek i lyagushka. Bioetika XXI veka” [A Man and a Frog. Bioethics of the 21st Century], *Khimiya i zhizn’*, 2002, no 9, pp. 23–27. (In Russ.)

Tiras, Kh.P. “Gete i Linnei: uroki klassiki” [Goethe and Linneaus: classic lessons], *Filosofskii vek*, vol. 33. Karl Linnei v Rossii. St.Petersburg, 2007, pp. 93–102. (In Russ.)

Tiras, Kh.P. “Na puti k eticheskoi biologii” [On the way to the ethical biology], *Praktichna filosofiya*, 2006, no 1(19), pp. 221–229. (In Russ.)

Tiras, Kh.P. “Pravo na informatsiyu i printsip informirovannogo soglasiya v biomeditsinskom obrazovanii” [The right to the information and the principle of informed consent in the biomedical education], *Konstruirovaniye cheloveka: Sbornik trudov Vserossiiskoi nauchnoi konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem. Tomsk, 12–15 iyunya 2008 g.* [Construction of human: Collection of papers of the Russian scientific conference with international participation. Tomsk, 12–15 June 2008], vol. 1, ch. 1. Tomsk: Tomsk State Pedagog. Univ. Publ., 2008, pp. 148–152. (In Russ.)

Tiras, Kh.P. “Virtual’nyi biologicheskii muzei kak zerkalo komp’yuternoi revolyutsii” [Virtual biological museum as a mirror of computer revolution], *Khimiya i zhizn’*, 2000, no 11–12, pp. 24–29. (In Russ.)

Tiras, Kh.P., Aslanidi, K.B. *Test-sistema dlya neklinicheskogo issledovaniya meditsinskoi i ekologicheskoi bezopasnosti na osnove regeneratsii planarii* [Test-system for the non-clinical research on medical and ecological safety on the basis of planaria regeneration]. Tula: Tula State Univ. Publ., 2013. (In Russ.)

Tiras, Kh.P., Rozhdestvenskaya, Z.E., Il’yasov, E.F., Petrov, A.B., Maiorov, S.R. “Komp’yuternaya biologiya – problemy i perspektivy” [Computer biology – problems and perspectives], *Gorizonty biofiziki* [Horizons of Biophysics], ed. by G.R. Ivanitskii. Serpukhov: GP Serpuhovskaja tipografija Publ., 2003, pp. 62–66. (In Russ.)

Tiras, Kh.P. “Komp’yuternaya biologiya – osnovaniya i opredeleniya” [Computer biology – basics and definitions], *Trudy I Vserossiiskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii “Komp’yuternaya biologiya – ot fundamental’noi nauki k biotekhnologii i biomeditsine”*. Pushchino, 2011, pp. 81–82. (In Russ.)

Tishchenko, P.D. *Biovlast’ v epokhu biotekhnologii* [Bio-authority in the age of bio-technology]. Moscow: IFRAN Publ., 2001. 139 pp. (In Russ.)