

УДК 101.1

DOI:

10.15372/PS20150308

О.В. Трапезов

*Институт цитологии и генетики СО РАН, г. Новосибирск
trapezov@bionet.nsc.ru*

ПОВОРОТНЫЙ МОМЕНТ В НАУКЕ О ЖИВОМ: УСТАНОВЛЕНИЕ ЗАКОНОВ НАСЛЕДСТВЕННОСТИ

150 лет назад статья августинского монаха Грегора Менделя «Опыты над растительными гибридами» определила рождение новой науки – генетики. В этой статье были сформулированы законы, которые гласят, что любой признак определяется двумя факторами. Есть основание считать, что представления о бинарной комбинаторике и математических вероятностных вариантов возникли у Менделя в ходе длительных раздумий – в мысленном эксперименте. Опыты по скрещиванию гороха под окнами монастырской трапезной требовались только для того, чтобы проверить такое чисто умозрительное предположение.

Ключевые слова: генетика, эксперимент, закон, Грегор Иоганн Мендель

O.V. Trapezov

*Institute of Cytology and Genetics SB RAS
trapezov@bionet.nsc.ru*

THE CRITICAL MOMENT IN THE SCIENCE OF LIFE: HEREDIARY LAWS

150 years ago the paper of Augustine monk Gregor Mendel “The experiments with plants hybrids” symbolized the appearance of new science – genetics. The idea of this paper shows that every feature of the living organisms is determined by two factors. It can be proposed that binary combinations and mathematical relations variations are appeared in mental Mendel’s experiment in longterm mental experiment. The hybridological experiments were used for supporting that thought only.

Key word: genetic, Johan Gregor Mendel.

В истории мировой науки чрезвычайно редко можно отметить случаи, когда одна-единственная статья порождает целую область исследо-

ваний и открывает программу работ на многие десятилетия вперед. Такой была статья чешского монаха Грегора Иоганна Менделя (1822–1884) «Опыты над растительными гибридами», ставшая 150 лет назад, в 1865 г., фундаментом знания о наследственности и определившая рождение новой науки – генетики.

В 1822 г., в Моравии, в сельском городке Хейнцендорф (теперь Гинчице) в семье крестьянина Менделя родился второй ребенок – мальчик Иоганн. В возрасте одиннадцати лет Иоганна перевели из сельской школы в четырехклассное училище ближайшего городка, а затем в гимназию в городе Опава. В 1840 г. он окончил гимназию и одновременно школу кандидатов в учителя. Как писал сам Мендель, это обеспечило ему скромное существование.

Преодолевая трудности, Мендель продолжил учебу – сначала в философских классах в городе Ольмюц (теперь Оломоуц), где кроме философии преподавали также математику и физику, а в 1844–1848 гг. в Брюннском богословском институте. В двадцать один год, постригшись в монахи, он принял имя Грегор. В 1851–1853 гг. Мендель был вольнослушателем Венского университета. Из Вены он выезжал не только в Рим (где представлялся Папе), но и в университеты, на научные съезды и флористические экскурсии.

В мартовские дни 1853 г., в Венском университете Мендель учился окрашивать препараты в лаборатории профессора Франца Унгера – одного из первых в мире цитологов. Занятия в лаборатории не ограничивались только приготовлением препаратов. Наряду с вопросами, касающимися микроскопического уровня, Унгера занимали вопросы о движущих силах эволюции и он пытался очертить путь развития жизни от примитивных существ до человека. Свои изыскания Унгер опубликовал в «Венской газете» («Weiner Zeitung») – это были «Семнадцать ботанических писем».

На протяжении восьми лет, в 1856–1863 гг., Мендель проводил свои знаменитые эксперименты на модельном объекте – посевном горохе (*Pisum sativum*) и сформулировал законы, которые гласят, что любой признак определяется двумя факторами. Факторы эти он назвал «Elementen» – задатки, зачатки.

* * *

Можно ли считать, что у Менделя были предшественники?
Сложилось представление, что предшественники были.

Предшественники-теоретики. Здесь прежде всего нужно иметь в виду умозрительные гипотезы о материальных основах наследственности: представление об идиоплазме, предложенное в 1860-х годах мюнхенским ботаником К. Негели, идею об особых физиологических единицах английского философа Г. Спенсера, временную гипотезу пангенезиса, первоначально выдвинутую Ч. Дарвиным, а затем, в противопоставлении им, поддержанную немецким зоологом и теоретиком эволюционного учения А. Вейсманом. При всей несхожести, а в некоторых случаях принципиальной несовместимости этих гипотез их объединяла одна существенная черта – направленность на поиск *материальных* основ наследственности в виде взаимодействия элементарных биологических единиц. Негели называл такие единицы *мицеллами*, Спенсер – *физиологическими единицами*, Дарвин – *геммулами*, *корпускулами* (*крупинками*).

К. Негели, опираясь на представления об идиоплазме, пытался обосновать свою механо-ламаркистскую теорию эволюции. Он полагал, что передача наследственных свойств осуществляется мицеллами (молекулами кристаллической формы), совокупность которых составляет идиоплазму, заключенную в половых клетках. Плазма соматических клеток (трофоплазма) не обладает, по мнению Негели, способностью к передаче наследственности, поэтому вызываемые в ней под воздействием внешней среды изменения оказываются ненаследственными (модификации). Идиоплазма может наследственно реагировать как в результате доходящих до нее внешних воздействий, так и самопроизвольно, спонтанно, в силу внутренних (автогенетических) причин [1].

Г. Спенсер выдвинул также по сути механо-ламаркистскую гипотезу о физиологических единицах, которые содержатся как в соматических, так и в зародышевых клетках и претерпевают изменения под воздействием внешней среды [2].

Согласно представлениям Ч. Дарвина, особые саморазмножающиеся корпускулы наследственного вещества (геммулы) отделяясь всеми клетками организма, образуют его наследственную основу, концентрируясь в воспроизводящих органах и подвергаясь изменениям под воздействием среды.

Предшественники-экспериментаторы. Догадки о закономерностях наследственности возникли уже в XVIII в. у первых гибридизаторов растений. Впервые в европейской литературе гибридологические эффекты были описаны немецким ботаником Йозефом Готтлибом Кёльрейтером, наблюдавшим их в опытах по скрещиванию китайской и махровой

гвоздик, а также разных сортов табака (1760–1798 гг.). Кельрейтер наблюдал явления единообразия признаков гибридов в первом поколении и появление родительских форм в последующих. Он обнаружил, что при скрещивании или перекрестном опылении двух разных сортов гвоздик в первом поколении потомство отчетливо приобретало признаки одного из родителей – махровый цветок. Но во втором поколении, полученном уже от самоопылившихся гибридов, у части растений выявлялись признаки другого исходного сорта – китайской гвоздики. Это явление Кельрейтер педантично регистрировал так: признаки исходных сортов не исчезают в потомстве, они лишь по неким причинам то не проявляются, то проявляются, словно бы конкурируя друг с другом [3]. Однако он ошибочно истолковал эти явления как постепенное «возвращение» к исходным родительским видам, которые считал неизменными.

Вслед за Кельрейтером, преобладание признаков одного из родителей в первом поколении гибридов и выявление признаков другого родителя во втором и последующем поколениях регистрировал английский селекционер-растениевод Томас Эндрю Найт (1759–1839). Проводя скрещивание различных сортов гороха, Найт сделал важное наблюдение: он обнаружил неделимость мелких признаков при различных скрещиваниях. Дискретность наследственного материала, о коорой было заявлено еще в древности, получила в его исследованиях первое научное обоснование.

Еще до Менделя, в середине XIX в., скрещивая разные сорта из семейства тыквенных, французские ботаники Огюстен Сажре (1763–1851) и Шарль Ноден (1815–1899) обнаружили, что все гибриды первого поколения похожи друг на друга. Крупнейшим достижением Сажре явилось обнаружение феномена доминантности. При скрещивании сортов овощных культур он нередко наблюдал подавление признака одного родителя признаком другого. Это в максимальной степени проявляется в первом поколении после скрещивания, а затем «подавленные» признаки снова выявлялись у части потомков следующего поколения. Тем самым Сажре удалось подтвердить, что элементарные наследственные признаки при скрещивании не исчезают.

К такому же выводу пришел Шарль Ноден, который, однако, пошел еще дальше, приступив к количественному изучению перекомбинации наследственных задатков при скрещиваниях. Но на этом пути его ждало разочарование. Неверный методический прием – одновременное изучение большого количества признаков привел к большой путанице в результатах, и ученый вынужден был отказаться от своих опытов. Именно эти недостатки в опытах Нодена учел Мендель, прежде чем выбрать

в качестве модельного объекта для подтверждения своих размышлений горох (*Pisum sativum*).

В 1861 г. Парижская академия наук объявила конкурс по изучению растительных гибридов с точки зрения их плодовитости, постоянства или непостоянства их признаков. В задачу конкурса входило «провести ряд точных исследований» и в числе прочих вопросов ответить на вопрос: сохраняют ли гибриды, размножающиеся самооплодотворением в течение ряда поколений, признаки неизменными или же, наоборот, они всегда возвращаются к формам их предков? Победителем конкурса была признана работа Шарля Нодена: «Новые исследования над гибриднойостью у растений».

В двухсотстраничной работе Нодена на вопросы, поставленные конкурсной комиссией, были даны довольно определенные ответы, а именно: 1) в первом поколении гибридов наблюдаются сходство всех потомков и их единообразие; 2) начиная со второго и последующих поколений происходит «разложение гибридных форм» на исходные родительские типы; 3) возврат к родительским формам и появление новых комбинаций связаны с разъединением сущностей (наследственных задатков).

Каждый, кто знаком с основами генетики, понимает, что выводы Нодена в принципе соответствуют закономерностям наследования признаков, установленным в работе Менделя. Не случайно с Ноденом переписывался и его цитировал сам Дарвин. В первой главе «Происхождения видов», рассматривая трудности при различении разновидностей, Дарвин пишет: «Потомство от первого скрещивания двух чистых пород (как я убедился на голубях) достаточно, а порою и вполне однородно в своих признаках, и все кажется крайне простым; но как только скрещивают эти помеси между собой в течение нескольких поколений, едва ли два из них похожи между собой, и тогда только обнаруживается вся трудность этой задачи» [4].

Итак, принято считать, что предшественники у Менделя были. Но следует сказать, что работа Менделя была вовсе не так уж недоступна другим исследователям. Ссылки на нее были во многих изданиях, включая «Британскую энциклопедию» 1881–1885 гг. (статья «Гибридизм»).

В конце декабря 1866 г. том «Трудов Общества естествоиспытателей Брюнна» с конспектом доклада Менделя вышел в свет. Этот том попал в 120 библиотек университетов и обществ естествоиспытателей Вены, Праги, Берлина, Мюнхена, Лондона, Парижа, Санкт-Петербурга,

Нью-Йорка... И еще 40 оттисков своей статьи Мендель разослал по частным адресам – друзьям и крупным исследователям-ботаникам. Но только три экземпляра были прочитаны, а ответ получен лишь от знаменитого ботаника, профессора Мюнхенского университета Карла Негели (1817–1891). Причем Негели отнесся к работе Менделя скептически, не оценив всей простоты и изящества его экспериментов. В своем письме Менделю он заявил, что поверит в его открытие лишь в том случае, если Мендель сумеет воспроизвести свои эксперименты на ястребинке (*Hieracium*), с которой Негели работал в то время, и получит аналогичные результаты. Последовав совету Негели, Мендель занялся скрещиванием ястребинок и получил результаты, отличавшиеся от тех, которые наблюдал на горохе. Ни Негели, ни Мендель (равно как и никто другой в то время) не знали, что у ястребинки семена образуются бесполом путем. Лишь позже выяснилось, что для ястребинки характерно факультативно-апомиктическое размножение, чем и объяснялось расщепление в первом поколении гибридов и отсутствие расщепления – во втором. Таким образом, Негели своим профессионализмом и высочайшим авторитетом поставил барьер, который оказался непреодолимым для идей Менделя.

В России работа Менделя получила высокую оценку еще в 1874 г., когда ее процитировал в магистерской диссертации и включил в свои лекции профессор Московского университета Иван Федорович Шмальгаузен. (Иван Федорович – отец автора теории стабилизирующего отбора Ивана Ивановича Шмальгаузена, заведовавшего кафедрой дарвинизма биофака МГУ до августовской сессии ВАСХНИЛ 1948 г.).

Даже три «переоткрывателя» менделевских законов наследственности: голландский ботаник и эволюционист Гуго де Фриз (1848–1935), проводивший опыты с маком, энотерой и дурманом (он был первым), немецкий доцент Карл Эрих Корренс (1864–1933), изучавший расщепление признаков у кукурузы, и австрийский ботаник Эрих Чермак фон Зейзенегг (1871–1962), анализировавший наследование признаков у гороха, – все они знали работу Менделя задолго до 1900 г., но не сразу поняли и оценили ее глубинный смысл. Все они самостоятельно сформулировали *закон расщепления* и *закон независимого комбинирования признаков*.

Почему же так произошло? Почему не понималась и не усваивалась идея Менделя, почему игнорировалась его опубликованная работа? Голландский историк науки О. Мейер допускает, что это было «чтение без понимания» [5]. По поводу того, чем это было обусловлено, более опре-

деленно выразился философ-эволюционист Ю.В. Чайковский: «...Законы Менделя мало на чем были видны, но они легли в основу генетики. Точно так же закон Ома безупречно работает всюду, но попробуйте открыть его в телевизоре, где он маскируется множеством иных законов» [6].

* * *

Справедливо ли утверждение, что законы Менделя переоткрывались?

Мировая слава... через 35 лет после открытия. Сложилось так, что датой рождения генетики принято считать 1900 г., когда независимо друг от друга де Фриз, Корренс и Чермак повторили работу Менделя. Почему же работа Менделя была востребована после так называемого «переоткрытия»? Есть мнение, что в 1900 г. первым послал в печать свою статью знаменитый к тому времени открыватель мутационного процесса де Фриз. Следом за ним послали в печать имевшиеся наброски своих статей Корренс и Чермак.

Де Фриз послал свою статью в научный журнал без всяких ссылок на работу Грегора Менделя, но рецензентом в этом журнале оказался его «конкурент» Корренс. Он не мог смириться с тем, что де Фриз сделал открытие раньше него, и нашел ссылку на работу Менделя и противопоставил последнюю статье де Фриза. Оба, де Фриз и Корренс, были столичными профессионалами, а не периферийными учеными. В своих воспоминаниях Корренс писал, что узнал о работе Менделя лишь после 1899 г., когда раздумывал над своими опытами по скрещиванию, проведенными в период с 1896 по 1899 г. Однако при исследовании рабочих журналов Корренса была обнаружена запись с кратким рефератом работы Менделя, датированная апрелем 1896 г. В этой записи Корренс обращает внимание на соотношение 3:1 во втором поколении гибридов. Видимо, понимание значимости соотношения 3:1 пришло к Корренсу лишь после знакомства с работой Гуго де Фриза.

Американский генетик Альфред Стертевант, касаясь «переоткрытия» работы Менделя в 1900 г., справедливо замечает, что *была переоткрыта лишь сама статья* Менделя, но смысл и глубина его законов не были сразу полностью поняты ни одним переоткрывателем [7].

* * *

Если предшественники были, то почему, несмотря на солидный запас наблюдений по скрещиваниям, основоположником гибридологического анализа все же по праву считается Грегор Мендель? Почему Мендель, а не лауреат научного конкурса Парижской академии наук Шарль Ноден считается основателем генетики? Ведь экспериментальная работа Нодена более солидна, чем статья Менделя, в ней сообщаются данные по многим видам растений, а у Менделя взят, казалось бы, частный случай, один вид – горох. Более того, Ноден установил много интересных и важных фактов и ряд закономерностей раньше Менделя.

Ответ состоит в следующем. Во-первых, все исследователи до Менделя, разрабатывая проблему наследственности, прослеживали в ряду поколений судьбу *признака*, тогда как Мендель, для того чтобы понять механизм наследственности, проследил в ряду поколений судьбу не признака, а *двух невидимых факторов-детерминант*, определяющих признак (1:2:1). Тех «невидимых факторов», которые позже, в 1910 г., по предложению датского ботаника Вильгельма Людвиг Иогансена назовут генами (от греч. *genos* – род, происхождение). Во-вторых, Мендель, используя статистические расчеты, показал, что невидимых факторов-детерминант должно быть *два*, т.е. *признак кодируется бинарно*.

Николай Владимирович Тимофеев-Ресовский в своих лекциях отмечал, что главным моментом открытия Менделя была «нахальная гипотеза» о том, что есть *два начала*, одно из которых доминантно [8].

Можно провести аналогию с классификацией элементов периодической системы. Общеизвестны неудачные попытки группировки элементов по химическим свойствам, предпринимавшиеся до «однофамильца» Менделя – Менделеева. Гениальность великого химика заключалась именно в том, что в основу его системы элементов был положен их атомный вес. *Именно атомный вес элементов, а не их масса!*

У Менделеева, как и у Менделя, были некоторые предшественники. С одной стороны – практики. Они создавали системы классификации, но замыкались на частных проблемах и не доводили дело до конца, т.е. не видели или не обосновывали существование периодического закона. Составленные ими таблицы использовались в эмпирических исследованиях. С другой стороны, были и теоретики. Ближе всех к открытию периодической системы подошли Александр Эмиль Бёгуйе де Шанкуртуа (1820–1898) и Джон Ньюлендс (1837–1898). Де Шанкуртуа даже частично построил ряд элементов в порядке возрастания атомной массы.

Не опирался ли Грегор Мендель при поиске невидимых детерминант на идеологию христианского мыслителя Августина Блаженного?

Августин Блаженный (лат. Augustinus Sanctus, полное имя *Аврелий Августин*, 354–430) – крупнейший христианский мыслитель конца Античности. Придерживался традиций неоплатонизма – дохристианского способа философствования, когда метафизическая картина мира допускает присутствие сущностей, недоступных научному исследованию («идеи» у Платона, «монады» у Г. Лейбница, «дух» у Г. Гегеля).

«Математичность» работы Менделя не воспринималась коллегами. Он даже получил добродушное прозвище «наш ботанический математик». А иные говорили между собой, что, кажется, патера Иоганна потянуло к мистическим числам натурфилософов Окена и Шеллинга и эти «наследственные задатки» сильно напоминают «зародышевые причины» (*rationes seminales*) из сочинений святого Августина – покровителя монастыря, во дворе которого Мендель выращивал свои гибриды. Заметим, что Мендель родился спустя четырнадцать веков после Августина [9]. Это дает основание допускать, что размышления августинского монаха Иоганна Менделя о кодировании видимого признака невидимыми факторами-детерминантами можно трактовать иначе, чем это представлено в литературе.

Со времен Платона в науке господствовали представления, которые английский философ Карл Раймунд Поппер (1902–1994) назвал *эссенциализмом*: мир состоит из ограниченного числа неизменяемых сущностей (идей, в терминологии Платона), а изменчивые проявления видимого мира – лишь неполные и неточные отражения этих сущностей. Соответственно, истинное изменение может произойти только при появлении новой сущности, возникающей в результате либо акта Творения, либо спонтанного скачка (мутации).

Придерживавшийся традиций неоплатонизма (дохристианского способа философствования) Августин Блаженный считал, что Творец создал этот мир не в завершенном виде, а заложил в него основу для развития, для появления новых существ и предметов: «мир, подобно беременной матери, чреват причинами всего, чему предстоит народиться». Августин предложил теорию зародышевых причин, согласно которой вещи, обретшие бытие после первоначального творения мира Господом, присутствовали с самого начала в форме невидимых скрытых возможностей, актуализирующихся только с течением времени. Эти зародышевые причины (Августин полагал их также постижимыми) заложены Богом в материю, и из них-то и возникают живые твари.

Игра ума Августина Блаженного была поистине удивительной. Познание он разделил на два рода: *scientia* – разумное познание объектив-

ного мира, позволяющее людям пользоваться вещами, и *sapientia* – познание вечных божественных дел и духовных объектов. По Августину, они не противоречат друг другу. Наука сама по себе необходима, потому что человек вынужден жить в телесном мире. А поскольку Богом созданы и телесный мир, и зародышевые причины, и познающий человек, постольку познавая телесный мир и движущие его силы, человек познает мудрость Господа [10].

На похожий подход к методологии совместных теолого-научных изысканий указывает специалист по теории познания, философии и методологии науки профессор МГУ А.В. Яковлев, обращаясь к исследованиям известного физика современности Я. Барбура (Jan Barbour), который констатирует: «...Хотя наука многое объясняет из того, что существует в мире, есть такие проблемы и вопросы, которые выходят за пределы возможностей науки в принципе. Например, такой глубоко метафизический вопрос: *почему вообще существует мир?*» [11]. Барбур и другой физик современности – Роберт Рассел склоняются к необходимости формирования общей методологии теологических и научных исследований, считая, что и в науке, и в религии всегда сосуществуют конкурирующие доктрины, ведутся дискуссии, в каждой сфере есть свои эксперты, которые оценивают предлагаемые новации с точки зрения их претензии на разумность и истинность [12].

Допускается, что христианство открывало возможность особого подхода к познанию сотворенного мира, о чем свидетельствует тот факт, что в Китае, где уже в XIII в. использовались многозарядные ракетные установки и технологии вообще обгоняли те, что имелись в Западной Европе, вплоть до XV столетия *так и не вывели второго закона Ньютона*. Ньютоновская астрономия была не лучше, чем астрономия Птолемея, но глубоко религиозный Ньютон в 1687 г. издал грандиозный трактат «Математические начала натуральной философии», где дал *иное математическое объяснение* движения планет, и в последующие столетия оно показало себя более успешным [13].

В этом же контексте упомянем британского математика и философа Роджера Пенроуза и его попытку сформулировать математическую модель устройства мироздания. Пенроуз утверждает, что «Богом данные» математические идеи существуют как бы вне времени и независимо от людей [14]. Так, особенности современной математики заключаются в том, что она, на первый взгляд, исследует искусственно изобретенные объекты. Ведь мы не наблюдаем в природе многомерных пространств, групп, полей и колец, свойства которых активно изучают математики. Но

всякая строгая математическая теория рано или поздно находит применение. Для чего столько лет нужно было биться над доказательством гипотезы Пуанкаре? «Формулой Вселенной» называют утверждение Пуанкаре из-за его важности для понимания процессов мироздания и из-за того, что оно дает ответ на вопрос о форме Вселенной. По какой орбите, например, полетит космический корабль к созвездию Псов? Какие препятствия встретит на своем пути?

Возможно, в этом скрыты причины того, что в России первый анализ работы Г. Менделя, выполненный ботаником Иваном Порфеньевичем Бородиным, одним из организаторов Русского ботанического общества и «Ботанического журнала», академиком Императорской Санкт-Петербургской академии наук, появился в 1903 г. не в «Ботаническом журнале», а в журнале «Мир божий» [15].

* * *

Возможно, Мендель провел мысленный эксперимент, развивая идею двоичного кодирования признака, и затем его результаты подтвердились методами, взятыми из статистической физики. Предполагается, что мысленные эксперименты дают нам знания о мире. Откуда приходят эти знания? Мысленное экспериментирование, основанное на интуиции и использующее априорные знания о природе, относят к форме платонизма. Концепция ментальных моделей предполагает манипулирование мысленными моделями вместо моделей физических. С философской точки зрения проблема мысленного эксперимента состоит в том, что он связывает нас с реальным эмпирическим миром. Но ведь согласно очень популярной позиции источником нового знания является реальный эксперимент. По Канту, именно эмпирический опыт (в частном случае – эксперимент) является источником нового знания.

Возможно ли познать реальность только посредством мышления, без эмпирических данных? Примеров совсем немного: мысленный эксперимент Галилея, позволивший сделать вывод о независимости скорости падения тел от их веса; мысленный эксперимент Ньютона с вращающимся ведром, обосновывающий наличие абсолютного пространства; эйнштейновский опыт в лифте, моделирующий свободно падающую в гравитационном поле систему отсчета; шрёдингеровский кот в темной комнате, иллюстрирующий неполноту квантовой механики при переходе от субатомных систем к макроскопическим.

Перечисленные эксперименты следует отнести к типу «платоновских», поскольку считается, что источником получаемого в них нового

знания является *интуиция платоновского типа*, позволяющая охватить мысленным взором непосредственно абстрактные объекты математики и законы природы. И все же при мысленном эксперименте должно соблюдаться одно условие – правдоподобие [15].

Неудивительно, что научно-философское исследование сегодня концентрируется на вопросе: почему спустя тысячелетия в теории математического программирования оказался наиболее применимым бинарный принцип счисления и почему математики, создававшие первые компьютеры, в качестве базового принципа обратились к арифметическому архетипу – математике Древнего Египта, построенной на принципе двоичности? Эта математика возникла раньше греческого и вавилонского исчислений, радикально от них отличается, и занятно видеть, как работа современных вычислительных машин основывается на наиболее архаичном – древнеегипетском двоичном принципе.

Как ни удивительно, этот математический архетип был выбран из-за его простоты и надежности. В бинарной системе счисления быстро и легко выполняются все арифметические действия, существенно упрощаются все логические операции. Хранимая в памяти программа, представленной в двоичном коде, позволяет не только производить вычисления, направляя команду в устройство управления, а данные в арифметическое устройство, но и преобразовывать сами команды, например в зависимости от результатов вычислений, используя для преобразования коды команд и оперируя с ними, как с данными.

Единственное неудобство, связанное с использованием как египетской непозиционной, так и компьютерной позиционной бинарной системы счисления, это громоздкая запись значений. Приведем пример, как число из десятичной системы переводится в электронную бинарную систему счисления:

$$\begin{aligned}45 &= 22 \times 2 + 1 \\22 &= 11 \times 2 + 0 \\11 &= 5 \times 2 + 1 \\5 &= 2 \times 2 + 1 \\2 &= 1 \times 2 + 0 \\1 &= 0 \times 2 + 1\end{aligned}$$

Следовательно, электронная бинарная запись числа 45 – это 101101. Здесь, как и в египетской математике, действие умножения сводится к многократным прибавлениям множимого, а деление – к вычитанию.

Использование единого математического принципа древними египтянами и создателями современной вычислительной техники очевидно [16].

Можно допустить, что рассуждения Менделя находились во власти идеи архетипа двоичности (бинарности) мироустройства, предполагающей, что структура устройства жизненных форм является достоверно познаваемой, когда невидимый платоновский мир диктует двоичные правила устройства миру видимому? (Архетипы, по Карлу Юнгу (1875–1961), – прообразы, первообразы, первоначала, возникшие в далеком прошлом. В космологических учениях архетипы выступают в качестве универсальных символов мировой гармонии, отображающих геометрически упорядоченную картину мира – Космос, победивший первичный Хаос. Архетип, связанный со стремлением человека к упорядочиванию хаоса внешнего мира, Юнг усматривает в понятии числа: «Число больше, чем что-либо другое, помогает навести порядок в хаосе видимости. Оно – это инструмент, изначально предназначенный либо для создания порядка, либо для постижения уже существующего, но еще неизвестного порядка, устройства или упорядоченности» [17]).

Судьба идеи двоичности мироустройства порой была трагичной. Пример – события, произошедшие в 1760-е годы в Российском государстве, когда патриарх Никон, человек жестокий и властный, накануне воссоединения Украины с Россией решил реформировать церковь, и в частности заменить бинарный архетип двоеперстие на троеперстие. В итоге треть населения России ушла в раскол, русское государство сотрясли Соловецкое сидение, восстание Степана Разина и Стрелецкий бунт.

Закономерности, открытые Менделем, подтвердили интуитивные представления о высшем начале природы с рациональными принципами, сложившиеся в VI веке до н.э. у Пифагора, который первым указал на духовную подоплюку природного бытия: мир создан числом, а число есть нематериальная, неосязаемая реальность. Именно пифагорейцы увидели взаимосвязь между религией и математикой, которая начиная с того далекого времени оказала сильнейшее влияние на человеческое мышление [13].

И все же, вероятнее всего, возникновение у Менделя идеи о двоичном кодировании признака объясняется влиянием школы знаменитого физика Кристиана Доплера (1803–1853), на чьей кафедре Мендель консультировался в течение семи лет. Нельзя исключить и то, что в основе двоичного кодирования признака лежит булева алгебра с двоичной системой счисления. Во всяком случае, есть основание считать, что пред-

ставление о бинарной комбинаторике («AaBbCc» и «aаввсс») и математические вероятностные варианты (1:2:1) возникли у Менделя в ходе длительных раздумий – в мысленном эксперименте, в котором проигрывалось существование идеальных невидимых объектов в возможном мире.

Какие организмы нужно было взять в скрещивание для проверки этих размышлений? Вывод один: работать надо только с самоопылителями – и Мендель выбирает опыты с горохом, которые уже проводил английский селекционер Томас Эндрю Найта (1758–1838). Оценивая этот выбор, К. Корренс писал впоследствии, что успех Менделя был обусловлен тем, что он выбрал для своих опытов именно этот объект, так как цветки гороха опыляются почти исключительно своей собственной пылью. Никакие чужие половые клетки не могли нарушить своим вмешательством чистоту опыта.

До начала скрещиваний Мендель перебрал 34 сорта гороха и оставил для опытов только семь пар сортов. Каждая пара отличалась от другой только по *одному* признаку. У одного сорта семена были гладкими, у другого – морщинистыми; стебель одного сорта был высокий (до 2 м), стебель другого едва дотягивал до 60 см; окраска венчика цветка в одном сорте была пурпурной, в другом – белой. В течение трех лет Мендель аккуратно следил за семенами и растениями всех семи пар сортов, чтобы убедиться, что это чистые от загрязнения другими семенами сорта. Убедившись в том, что его сорта действительно «свободны от примесей», Мендель приступил к межсортовым скрещиваниям.

Подчеркнем, что гибридизационные эксперименты с горохом Мендель использовал лишь для подтверждения своих мыслей о существовании конструкции из невидимых двоичных детерминант наследственности. Опыты по скрещиванию гороха в небольшом (35×7 м) палисаднике под окнами монастырской трапезной требовались только для того, чтобы проверить чисто умозрительное предположение. Подтверждения существования неких двух невидимых факторов, определяющих проявление видимого признака, Мендель получал в модельном эксперименте, в восьмилетних статистических подсчетах многих тысяч горошин. Объект для моделирования не только был продуман, но и выбран идеально. Оставалось лишь косвенно измерить с помощью статистики вероятностные варианты (1:2:1). А эти статистические методы уже накапливались в особой области физики – статистической физике, которая изучает свойства и поведение частиц, состоящих из огромного количества отдельных частиц – молекул, атомов, электронов.

До Менделя статистика в биологии отсутствовала. К статистическим выкладкам Менделя многие относились скептически, их неоднократно изучали и тщательно проверяли. В подавляющем большинстве случаев было установлено, что данные его наблюдений абсолютно совпадают с вероятностным ожиданием, отклонений удивительно мало [18].

* * *

Вероятностные представления о живом в 1865 г., оказались совершенно новыми, особенно применительно к описанию биологической картины мира.

Мендель понимал, что в подсчетах признаков на выбранном модельном объекте должно работать *одно из основных положений теории вероятности – закон больших чисел*, когда совокупное действие большого числа подсчетов и измерений приводит к достаточно надежному статистическому результату, почти не зависящему от стихии случая. Ведь при ходе экспериментальной верификации расчетов, по замечанию самого Менделя, у него всходили не все саженцы. В одном случае из 539 зерен было получено 529 растений, в другом – 639 из 687 и т.д. Зерна могли склевать птицы, их могла повредить зерноедка и т.д. и т.п. В отдельных же семьях, т.е. в малых выборках, Мендель наблюдал значительную вариацию в распределении признаков среди потомков. Так, он привел данные о десяти растениях, у которых наблюдались различные соотношения, в том числе такие, как 28:6, т.е. 3,29:0,71, и 19:10, т.е. 2,72:1,38 [19].

Мендель не только дал точную количественную оценку явления, но и впервые применил для анализа биологических процессов метод вероятностей. В своих «Опытах над растительными гибридами» (1865), он прямо пишет о том, что по теории вероятности в среднем каждая форма пыльцы А и а соединяется одинаковое число раз с каждой формой зачатковой клетки А и а; поэтому одна из пыльцевых клеток А встречается при оплодотворении с зачатковой клеткой А, другая – с зачатковой клеткой а; таким же образом одна пыльцевая клетка а соединяется с зачатковой клеткой А, другая – с а. Численные же соотношения в потомстве отражали, говоря современным языком, вероятности. Во всяком случае, до Менделя этим методом никто в биологии не пользовался.

Теория вероятностей рассматривается как математическая (абстрактная) наука о закономерностях массовых случайных событий – наука о случайном. Случайность, в буквальном ее понимании, означает отсутствие

закономерности. Иногда даже утверждается, что случайное событие есть такое событие, которое происходит с некоторой вероятностью [20].

Датой рождения теории вероятностей часто называют 1654 г., когда французский религиозный мыслитель Блез Паскаль (1623–1662) и математик Пьер Ферма (1601–1665), анализируя азартные игры, заложили основы теории вероятностей, указав, независимо друг от друга, на правильное решение так называемого *парадокса раздела ставки*. Уже одно название «*исчисление вероятностей*» представляет собой парадокс: вероятность противоположна достоверности; вероятность – это то, что мы не знаем и что поэтому мы, казалось бы, не можем вычислять. В этом содержится противоречие, по крайней мере кажущееся. Разбираясь в этом противоречии, великий Галилей решил одну из первых задач так называемой *комбинаторики* – важного инструмента расчета вероятностей. В дальнейшем Якоб Бернулли (1654–1705) показал, что равные результаты при равных шансах наблюдаются тем точнее, чем длиннее серия событий, превратив тем самым *случайное* в *необходимое*, что составило суть *закона Бернулли*. Там, где счет событий идет на миллиарды, вероятностные предсказания становятся достоверными. Закон Бернулли лег в основу важного раздела естествознания – *статистической физики*.

Проблема соотношения необходимости и случайности, детерминизма и вероятности остается одной из сложнейших в современном естествознании. Уже сама случайность подчиняется определенным законам необходимости, и без этого не было бы теории вероятностей.

Идея вероятности повлекла за собой радикальные преобразования в базовых моделях мироздания и его познания, переход от ньютоновской парадигмы устройства Вселенной к вероятностной. Вместе с тем природа вероятности во многом остается загадкой. Как отмечал несостоявшийся «отец» атомной бомбы, физик и философ с мировым именем Карл фон Вейцеккер, «вероятность представляет собой один из выдающихся примеров “эпистемологического парадокса”, когда мы можем успешно применять наши базовые понятия, не имея их реального понимания» [21].

Можно сказать, что именно идея вероятности утвердила представление о существовании гена как дискретной единицы наследственности и помогла проникнуть в глубинные механизмы процессов наследования. Видимо, не случайно в 1960-е годы в новосибирском Академгородке генетик Д.К. Беляев поддержал инициативу математика А.А. Ляпунова, физиолога М.Г. Колпакова и физика по образованию В.А. Ратнера по созданию в Новосибирском государственном университете специализации по математической биологии. В итоге это направление, возглавляе-

мое сегодня академиком Н.А. Колчановым, стало одной из характерных особенностей профиля Института цитологии и генетики СО РАН.

* * *

В работе Менделя проявилось осознание связи между ошибкой, метафизикой и методологией. Мендель был не только математиком, но еще и священнослужителем, и он верил (впрочем, как и глубоко религиозный Ньютон) в то, что божественный план устройства видимого мира постижим человеческим разумом, нельзя только ошибаться в расчетах, познавая этот план. Прошедший физическую школу Доплера, Мендель хорошо знал о проблеме экспериментальной ошибки. Нужно было исключить саму возможность появления в расчетах ошибки и предпринять соответствующие меры предосторожности, ведь любая, даже незначительная ошибка в подсчетах могла помешать ему в статистическом поиске свидетельств наличия невидимых бинарных факторов, определяющих видимое проявление признаков в ряду поколений. Поскольку случайности и ошибки в его поиске, естественно, имели право на существование, это и дает ответ на вопрос, почему Менделю потребовались такие огромные выборки и почему он был столь щепетилен в постановке опыта. Нужно было проверить свои предположения на помехоустойчивость, и поэтому Мендель привлек к работе незаинтересованных помощников – патера Линденталья, патера Винкельмайера и еще пропойцу-садовника Мареша.

* * *

Математизированная форма записи, которую, вначале не поняли ни биологи, ни математики.

Из всего рабочего архива Менделя сохранился лишь один-единственный, да и то пострадавший от чьих-то рук лист с расчетами. Но известен итог: *впервые для осмысления закономерностей кодирования конкретного признака двумя невидимыми факторами Мендель применил математическую символику*. Сейчас мы не знаем, на каком этапе работы он пришел к осознанию целесообразности именно этого способа решения своей задачи. Мы не знаем, как он обрабатывал свои данные поначалу. Но он искал принципы кодирования признака, а принципиальные схемы всегда абстрактны.

Скорее всего, Мендель использовал идею немецкого философа-идеалиста и математика Готфрида Вильгельма Лейбница (1646–1716), мечтавшего распространить алгебраический символизм на все области познания. Буквы у Лейбница служили для того, чтобы именовать основные логические операции, например запись: $a > b$ означает, что высказывание a больше высказывания b . Философия Лейбница концентрируется вокруг двух основных идей, тесно связанных между собой: идеи универсальной символики и идеи логического исчисления. Эти две идеи легли в основу современного математического анализа и современной символической логики.

Символизация в научной сфере – это переход от естественного языка как средства выражения наших мыслей к языку искусственному [22]. Рассказывают, что Ньютон представил Лейбницу приблизительно такую анаграмму: *aaaaabbbbeeeei* и т.д., которой он попросту хотел сказать, что умеет образовывать (по способу неопределенных коэффициентов) степенной ряд, формально удовлетворяющий предложенному уравнению [23].

И вот в чем-то похожую буквенно-алгебраическую символику Мендель использовал для обозначения невидимых наследственных факторов (по предложению датского ботаника Йогансена впоследствии названных генами). Нормальные, не измененные мутацией наследственные факторы, формирующие стандартный фенотип, или норму, были обозначены знаком плюс (+). Факторы, измененные в результате мутации, записаны латинскими буквами a , b , c и т.д. Для обозначения доминирования одного фактора над другим у Лейбница позаимствованы символы «больше» ($>$) и «меньше» ($<$). Символы связываются между собой по определенным правилам, как в математике: $+ > a$ означает, что нормальный признак доминирует над признаком мутантным.

Здесь следует сделать оговорку о том, что буквенная символика впервые была предложена в 1766 г. Й. Кельрейтером при описании признаков у гибридов китайской и махровой гвоздик, а также у разных сортов табака. Однако Мендель придал ей совершенно иное звучание. *Введение Менделем двоичной буквенной символики объясняло характер наследования признаков и закономерности расщепления.* Что он имел в виду, когда записывал, например, AA или Aa ? Один наследственный фактор пришел от отца, а другой – от матери. На основе буквенной символики возникла математизированная форма биологической записи, которую вначале не поняли ни биологи, ни математики. Позже это будет интерпретироваться как передача в цепи поколений наследственной информации, алгебраичной по своей природе [24].

* * *

Теперь стоит поговорить о несовершенстве человеческой логики и попытке создать легенду об удачливом дилетанте-монахе.

В работе Менделя, прошедшего физическую школу Кристиана Дюплера, господствовала логика физического наблюдения, и каждый из выводов в «Опытах над растительными гибридами» был сформулирован с предельной завершенностью. Например, так: в этом поколении наряду с доминирующими признаками вновь появляются также рецессивные со всеми их особенностями, и притом в ясно выраженном среднем отношении 3:1. Каждому из выводов предшествовали тщательные статистические выкладки.

Поэтому в 1936 г. последователь Менделя выдающийся английский математик и генетик Рональд Фишер (ученик Фрэнсиса Гальтона – двоюродного брата Ч. Дарвина) в своей статье «Переоткрыты ли труды Менделя?» [25], проводя ревизию менделевской статистики, указывал на то, что Мендель получил подозрительно хорошее совпадение своих результатов с теоретически ожидаемыми, в то время как согласно распределению χ^2 вероятности этого результата слишком низкая. Фишер высказал подозрение: а не обманывали ли Менделя садовники аббатства? Не могло ли так быть, что они округляли свои подсчеты, чтобы сделать па-теру Иоганну приятное?

В 1965 г. вышла работа другого английского исследователя – Гэвина де Бира, отстаивавшего те же взгляды, что и Р. Фишер. В следующем, 1966-м году появилась написанная в той же тональности работа Ф. Вейлинга «Не слишком ли “точным” был Мендель в своих опытах? – Исследование по χ^2 -тесту и его значению для оценок генетических механизмов расщепления» [18].

Противостояние сторонников учения Менделя и его критиков подробно освещается в вышедшей в 1970 г. в Издательстве Чикагского университета книге У.Б. Провайна «Теоретические основы популяционной генетики» в разделе «Дарвиновский отбор: полемика 1900–1918 гг.» [26].

Даже в 2006 г. в журнале «Вестник Российской академии наук» доктор психологических наук А.В. Юрьевич напишет следующее: «Можно предположить, что с тех пор как возникла наука, сформировалась и область феноменов, которые можно причислить к теневой науке, хотя характер и выраженность этих феноменов менялись с течением времени. Например, А. Кон в книге с красноречивым названием “Лож-

ные пророки: обман и ошибки в науке и медицине” [27] приводит “доказательства” того, что уже основатели науки Нового времени – Ньютон, Кеплер, Галилей и др., – регулярно грешили подделкой научных данных. Широкою огласку получил случай Г. Менделя после того как математик Р. Фишер доказал (не доказал! – *О.Т.*), что количественные данные, приводившиеся “великим монахом” в подтверждение открытых им законов генетики, в принципе невозможно было получить” [28].

Почему время от времени всплывает такое мнение? Я склоняюсь к такому ответу: эта атака на Менделя преследовала и до сих пор преследует конкретную цель – создать легенду об удачливом дилетанте-монахе, которому «просто случайно» посчастливилось стать основателем генетики. И все же. Проверки «дела Менделя – Фишера» с привлечением компьютерной обработки менделевских опытов показали, что они лишь чуть лучше, чем у исследователей, которые повторяли его эксперименты, и потому должны быть признаны абсолютно достоверными [9].

Священнику Менделю полагалось служить мессы. Но сняв монашеское облачение и положив на отведенное место требник, каноник превращался в естествоиспытателя, и в это время ему было не до молитв. Он, прошедший школу Доплера и цитолога Унгера, знал, что наука живет по другим законам, наука – это царство логики, эксперимента, это повторение результатов опыта независимыми экспериментаторами.

Эксперимент Менделю требовался, чтобы с помощью статистики на большом массиве данных расшифровать процесс, происходящий в «черном ящике». И прослеженное в модельном эксперименте на горохе подтверждало его размышления: *судьба признака определяется действием двух невидимых факторов*. Восьмилетние статистические расчеты подтвердили: родители передают своим детям не признаки, а нечто другое – то, что эти признаки обуславливает. Это *другое* может реализоваться немедленно, а может не реализоваться до какой-то поры, передаваться от поколения к поколению, ничем себя не проявляя. Это *другое* (информация) не исчезает и не возникает, как не исчезает втуне и не возникает «из ничего» материя.

И получив экспериментальное подтверждение своим размышлениям, Мендель вводит в представление о наследственности идею о «зачатках», «наследственных задатках» («Elementen», «Anlagen») – носителях информации о признаках. Информации, вступающей в скрытый от глаз исследователя процесс и в этом процессе перерабатывающейся. На основе идеи об «Elementen», «Anlagen» и возникнет генетика.

Дальнейший ход мысли Менделя таков. Каждому признаку соответствует материальный субстрат – «наследственный задаток», содержащийся в половых клетках организма. Каждая половая клетка несет в себе полный набор задатков по числу признаков будущего растения. При слиянии мужской и женской клеток в зиготу в ней окажется по два задатка для каждого признака. Когда развившееся из этого оплодотворенного яйца новое существо произведет половые клетки, два задатка снова разойдутся и в гамете – яйцеклетке или сперматозоиде – набор будет одинарным. Наследственное вещество дискретно, поэтому комбинации невидимых задатков варьируют по законам математических перестановок и у будущих растений возникнут новые видимые комбинации признаков. Эти комбинации, эти математически вероятностные варианты были предсказаны Менделем в расчетах, и для их экспериментальной проверки выращивались растения в палисаднике под окнами монастырской трапезной.

Ни Менделю, ни его учителю цитологу Францу Унгеру, ни кому-либо другому из естествоиспытателей в начале 60-х годов XIX в. еще не было известно, что в клеточных ядрах накануне деления клетки выявляются окрашивающиеся тельца-хромосомы, что они удваиваются в числе, а удвоившись, расходятся к полюсам клетки и образуют два ядра двух будущих новых клеток. И никто тогда не знал, что половые клетки (пыльца растений, яйцеклетки и спермии животных, икра рыб и земноводных, яйца птиц и рептилий) формируются особым путем, когда хромосомы не удваиваются, а лишь расходятся к разным полюсам клетки-предшественницы. И в каждой из двух половых клеток, из нее образованных, оказывается *половинное*, а точнее, *одинарное* число хромосом. Лишь при слиянии их, при оплодотворении яйцеклетки набор снова становится *парным*.

Эти процессы были обнаружены двумя американскими исследователями: аспирантом Колумбийского университета Уильямом Сэттоном (1876–1916) и эмбриологом Томасом Хантом Морганом (1866–1945), которого чаще называют автором хромосомной теории наследственности. В 1902 г. Сэттон сопоставил менделевские законы наследственности с поведением хромосом и усмотрел параллелизм в наследовании генов и хромосом и сформулировал хромосомную теорию: *факторы, определяющие наследственность, т.е. гены, находятся в хромосомах*. За создание хромосомной теории в 1933 г. Морган был удостоен Нобелевской премии.

И конечно, во времена Менделя еще никем ни разу не было произнесено слово «ген», которым обозначают единицу *наследственного вещества*, ответственного за элементарное различие. И никто еще не отождествлял «наследственное вещество» с содержащейся в хромосомах ДНК – дезоксирибонуклеиновой кислотой, в которой сочетаниями азотистых оснований записаны формулы белковых молекул, порядок их синтеза и пространственная упаковка [9].

Мендель исследовал «черный ящик». Он знал только то, какая входит в него «информация» со сходящимися и расходящимися алгебраическими рядами невидимых наследственных задатков «*AaBbCc*» и «*aaavvss*» и что получается после того, как эта «информация» проходит сквозь цепь невидимых глазу событий. Мендель сразу предложил своим читателям воспринять идею «черного ящика», и потому не оказалось тех, кто был способен понять его. Сорок семь страниц «Опытов над растительными гибридами» предлагали особую систему понятий, вводящих в *неведомый невидимый* мир, где говорят на особом языке. Видимо, по этой причине в 117 библиотеках из 120, в которые был разослан том со статьей Менделя, это издание простояло на полках, заинтересовав разве одних библиотечных мышей, и только три экземпляра открывались. Это потом, лишь через 35 лет после опубликования работы Менделя и через 16 лет после его смерти, стала складываться и бурно развиваться новая наука. А ведь Мендель так рассчитывал найти поддержку. Он полагал, что его результаты будут подкреплены другими исследованиями.

В своей книге «Мендель», Б.Г. Володин пишет: «Мендель так и не отправил оттиска своей работы единственному, который мог бы более чем кто-либо понять его – Дарвину. А ведь он так интересовался трудами по гибридизации. В 1862 г. Мендель был в Лондоне. Он не знал английского языка и полный текст “Происхождения видов” проштудировал лишь год спустя, когда книгу издали на немецком языке. Но содержание труда было ему известно... по полемике, развернувшейся в средствах массовой информации. Младший, четвертый, сын Дарвина – Леонард провел специальное расследование: не был ли Мендель в их доме? Не был» [9].

Имя Грегора Менделя естествоиспытатели узнали из книги В. Фоке «Гибриды растений» (1881), в которой автор представил добросовестный и педантичный обзор всех трудов по проблеме гибридизации. Фоке упоминает имя Менделя в монографии пятнадцать раз. Благодаря добросовестности Фоке к «отцу генетики» через 16 лет после его смерти пришла заслуженная слава. Ведь именно из книги Фоке о Менделе узнают

и Корренс, и Чермак, и автор мутационной теории голландский ботаник де Фриз.

Примечания

1. *Нэгели К.* Происхождение естественно-исторического вида и понятие о нем. М.: тип. Лазаревского инст. 1866. 71 с.
2. *Спенсер Г.* Основания биологии. 1899. Соч. Т. II. С. 439.
3. *Кельрейтер И.Г.* Учение о поле и гибридизации растений. М.; Л.: ОГИЗ–Сельхозгиз, 1940. 245 с. *Joseph Gottlieb Kytreyuter's* Vorläufige Nachricht von einigen das Geschlecht der Pflanzen betreffenden Versuchen und Beobachtungen. Т. 4. Leipzig: in der Gleditschischen Handlung, 1766. 156 с.
4. *Дарвин Ч.* Происхождение видов путем естественного отбора или Сохранение благоприятных рас в борьбе за жизнь. Перевод с шестого издания (Лондон, 1872). Отв. редактор академик А.Л. Тахтаджян. Санкт-Петербург. «Наука». С.-Петербургское отделение. 1991. 539 с.
5. *Meijer O.G.* Hugo de Vries no Mendelian? // *Annals of Science*. 1985. V. 42. P. 189-232.
6. *Чайковский Ю.В.* Активный связный мир. Опыт теории эволюции жизни. М.: Товарищество научных изданий КМК. 2008. 726 с.
7. *Sturtevant A.* The History of Genetics. Harper and Row. N. Y.: 1965.
8. *Константинов Н.Н.* Размышления о Тимофееве-Ресовском. В кн.: Николай Владимирович Тимофеев-Ресовский: Очерки. Воспоминания. Материалы. М.: Наука. 1993. 395 с.
9. *Володин Б.Г.* Мендель (vita aeterna). 1969.
10. *Герье, В.* Блаженный Августин / Герье Владимир Иванович. М.: Т-во Печатня С.П. Яковлева, 1910. XV, 682 с.
11. *Barbour J.* Religion in an age of science: The Gifford Lectures, 1989–1991. Vol. I. Ch. I: Ways of Relating Science and Religion; Ch. 3: Similarities and Differences. N.Y. 1990. P. 3–30; 66–92. *Яковлев В.А.* Метафизика: эвристические программы и принципы науки // *Философия науки*. 2013. № 1 (56). С. 3–19.
12. *Russel R.J.* Science and theology: mutual interaction // *Bridging Science Religion* / Ed. By T. Peters. G. Bennett. L. 2003. P. 19–34.
13. *Гейзенберг В.* Понимание в современной физике. В кн.: Физика и философия. Часть и целое: Пер. с нем. М.: Наука. Гл. ред. физ. – мат. лит. 1989. 400 с.
14. *Бородин И.П.* Очерки по вопросам оплодотворения в растительном царстве // *Мир Божий*. 1903 а. № 4. С. 257–272. *Бородин И.П.* Очерки по вопросам оплодотворения в растительном царстве // *Мир Божий*. 1903 б. № 11. С. 199–210. *Бородин И.П.* Очерки по вопросам оплодотворения в растительном царстве // *Мир Божий*. 1903 в. № 12. С. 255–274.
15. *Kuhn, T.S.* A Function for Thought Experiments, reprinted in T. Kuhn, The Essential Tension, Chicago: University of Chicago Press, 1977, 240–265. *Sorensen, R.A.* Thought Experiments and the Epistemology of Laws // *Canadian Journal of Philosophy*. 1992. 22: 15–44.
16. *Литовка И.И.* Математика древнего Египта: парадоксы двоичного счисления // *Философия науки*. 2006. № 1 (28). С. 61-86. *Литовка И.И.* История протонауки и теоретические модели развития науки // *Философия науки*. 2008. № 4. С. 31–48.
17. Архетип и символ: Сб. работ Юнга. М., 1991. 304 с.
18. *Weiling F.* Mendel bei seinen Versuchen “zu genau” gearbeitet? – Der χ^2 test
19. *Рокцикий П.Ф.* Введение в статистическую генетику. Минск. Вышэйшая школа. 1978. 448 с.

20. Сачков Ю.В. Вероятность как загадка бытия и познания // Вопросы философии. 2006. № 1. С. 80–94.
21. Weizsacker C.F. Probability and Quantum Mechanics // Brit. J. Phil. Sci. 24 (1973). P. 321.
22. Люсьи А.П. Сквозь символы. Диалектика символизации/десимволизации как фундаментальное основание прикладной культурологии // Вопросы философии. 2009. № 10. С. 48–59.
23. Пуанкаре А. О науке: Пер. с франц. М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы. 1983. 560 с.
24. Петухов С.В. Гиперкомплексные числа, генетическое кодирование и алгебраическая биология // Метафизика. 2012. № 3 (5). С. 64–86.
25. Fisher R.A. Has Mendel's Work Been Rediscovered? // Annals of Science. 1936. Vol. 1. No. 2.
26. Provine W.B. The Origin of Theoretical Population Genetics. Chicago; London: Chicago Univ. Press, 1970. P. 90–129.
27. Kohn A. False Prophets: Fraud and Error in Science and Medicine. Oxford: Oxford Univ. Press, 1986.
28. Юрьевич А.В. Теневая наука // Вестник российской академии наук. 2006. № 3. С. 234–241.

Дата поступления 29.03.2015