

.....

«И Случай, бог изобретатель...»
Александр Сергеевич Пушкин
«Случай ненадежен, но щедр»
Натан Яковлевич Эйдельман
«Случай правит миром»
Демосфен
«Всем правит случай. Знать бы еще, кто правит случаем...»
Станислав Ежи Лец, Непричесанные мысли

РАЗДЕЛ 4. БАЗИСНЫЙ ИНСТРУМЕНТАРИЙ КОНЦЕПЦИИ: механизмы поисковой оптимизации (от примитивного метода «проб и ошибок» до иерархического адаптивного случайного поиска)

4.1. Введение. Постановка проблемы

В последние десятилетия в научной и научно-популярной литературе, да и в обыденном использовании, все чаще встречается словосочетание *метод «проб и ошибок»* (для краткости буду далее всюду, даже в соответствующих цитатах, обозначать его МПиО – С.Г.). На первый взгляд, его смысл и основная идея довольно очевидны: использование случайности при поиске некоего полезного результата. Среди многочисленных попыток реализации МПиО как при объяснении (фактически, моделировании) некоторых процессов в природе и обществе, так и при решении практических задач в технике, имеется ряд весьма успешных (правда, на фоне также достаточно представительного ряда неудачных). По-видимому, растущая тенденция его применения и объясняется преобладанием положительных оценок этого метода над отрицательными [Гринченко, 2003а].

Это находит свое отражение в практически преобладающей в настоящее время (не только среди биологов-эволюционистов, но и среди более широкого круга специалистов – философов, прикладных математиков и др. – и даже неспециалистов) точке зрения на эволюцию живой природы именно как на *процесс «проб и ошибок»*. Под ним здесь обычно подразумевают генетическую «изменчивость», приводящую через «наследственность» к «естественному отбору» = «выживанию наиболее приспособленных».

В наиболее яркой форме эту точку зрения выразил в своей монографии «Феномен науки. Кибернетический подход к эволюции» В.Ф.Турчин: «В процессе эволюции жизни, насколько нам известно, всегда происходило и происходит сейчас увеличение общей массы живого вещества и усложнение его организации. Усложняя организацию биологических образований, природа действует по методу проб и ошибок. Существующие образования воспроизводятся во многих экземплярах, которые, однако, не вполне тождественны оригиналу, а отличаются от него наличием небольших случайных вариаций. Эти экземпляры служат затем материалом для естественного отбора. Они могут выступать и как отдельные живые существа – тогда отбор приводит к закреплению полезных вариаций, и как элементы более сложного образования – тогда отбор направлен также и на структуру нового образования (например, при возникновении многоклеточных организмов). И в том, и в другом случае отбор является результатом борьбы за существование, в которой более жизнеспособные образования вытесняют менее жизнеспособные. Этот механизм развития жизни, открытый Чарльзом Дарвином, можно назвать основным законом эволюции. В наши цели не входит обоснование или обсуждение этого закона с точки зрения тех законов природы, которые можно было бы провозгласить более фундаментальными. Будем принимать основной закон эволюции как нечто данное» ([Турчин, 2000(1977)], стр. 21). Можно констатировать, что позиция ряда авторов, наиболее развернуто представленная В.Ф.Турчиным, состоит в том, что «эволюция живой природы адекватно описывается именно в терминах МПиО».

Но действительно ли это так? *Достаточен* ли МПиО для воспроизведения хотя бы основных свойств биологической эволюции – притом, что *необходимость* его для этого очевидна? Не определяются ли существующие трудности в развитии её теории (в частности, связанные с необходимостью отражения имеющихся фактов «направленности» и «канализуемости» эволюции) именно с ограниченностью привлекаемого для её объяснения механизма МПиО как такового? Моя позиция при ответе на

эти вопросы следующая: эволюция живой природы адекватно описывается в терминах другого (хотя и *близкого* к упомянутому) *метода поисковой оптимизации*, а именно предложенного Л.А.Растригиным (см., напр., [Растригин, 1959а, б, 1960, 1965, 1968, 1979]) *метода «случайного поиска»*, точнее, его важнейшей разновидности – метода *«адаптивного случайного поиска»*, ещё точнее – *иерархии механизмов «адаптивного случайного поиска»*, представляющей собой «каркас» модели системы живой природы (см. [Гринченко, 1979-2003]). Метод же *«проб и ошибок»*, с моей точки зрения, следует трактовать как *слепой поиск* – предельно упрощенный, даже вырожденный, вариант алгоритма из класса методов *«случайного поиска»* (кстати говоря, в основу последнего – при его создании – МПиО и был положен!). А собственно МПиО должен во всех случаях рассматриваться лишь как *нулевое приближение* к этим своим более сложным аналогам, также базирующимся на использовании *случайности* как на фундаментальном свойстве оптимизационных алгоритмов этого класса. Необходимость в подобном уточнении терминологии вполне назрела, что будет продемонстрировано ниже на конкретных примерах.

Таким образом, задача настоящего раздела монографии – подробный анализ существующей в настоящее время практики употребления в научной литературе понятия (и термина) МПиО, его сходств и различий по сравнению с перечисленными вариантами метода случайного поиска (включая и его предельно вырожденный вариант – слепой поиск) – см. подраздел 4.2. На базе данного анализа будет сформирована объединенная *классификация* всех перечисленных методов оптимизации, и выработаны такие *определения* всех этих методов, которые позволили бы избежать в будущем множества недоразумений при их применении на практике (подраздел 4.3). В подразделах же 4.4-4.6 будут кратко рассмотрены примеры использования как собственно МПиО, так и методов поисковой оптимизации в целом для *интерпретации* таких центральных понятий ряда теорий биологической эволюции, как *«изменчивость»* и *«естественный отбор»*. А также их взаимосвязи в контексте модельных представлений об эволюционных процессах с позиций предлагаемой концепции.

4.2. Метод "проб и ошибок" (МПиО)

– англ. [“trial-and-error”], русск. сленг: «метод тыка», вариант: «метод научного тыка».

У.Р.Эшби, один из отцов-основателей кибернетики, отмечает: «Стоит сказать, что обычный термин “trial and error” является в высшей степени неточным. Слово “trial” (проба) стоит в единственном числе, хотя суть метода в том, что попытки повторяются все вновь и вновь. Слово “error” (ошибка) также плохо выбрано, ибо существенным элементом является достижение успеха в конце. Слова “поиск и остановка” (hunt and stick), по-видимому, описывают этот процесс и более образно, и более точно. Я буду преимущественно употреблять это название» ([Ashby, 1956(1959)], стр. 326-327). К сожалению, его не поддержали... С моей же точки зрения этот метод может быть определен, как *«абсолютно случайный» перебор некоторых «пробных» действий, с проверкой эффективности каждого, вырабатывающей соответствующую реакцию на него («удача» либо «ошибка»)*.

4.2.1. Об оценках МПиО

Л.А.Растригин так характеризовал его в ряде своих работ: метод «проб и ошибок» – метод, в котором решение ищется случайно, и при удаче принимается, а при неудаче отвергается с тем, чтобы вновь обратиться к случайности как источнику потенциально неограниченных возможностей. И далее: МПиО «строго говоря, нельзя назвать даже методом, так как трудно определить, в чем же, собственно, он состоит. В действительности его правильней было бы назвать методом случайных проб и исправления ошибок... этот метод опирается на два существенных предположения: нероковой характер ошибок (последствия неудачных результатов легко устранимы, стоимость исправления допущенной ошибки не велика) и отсутствие априорных (предварительных) соображений о том, как и в каком направлении делать пробы. Эти соображения почти неизбежно приводят к случаю. Действительно, случайность в такой ситуации является единственно разумной мерой: случайность почти ничего не стоит и всегда содержит в себе искомое решение. Это значит, что достаточно длительный поиск всегда приведет к решению задачи» (см. [Растригин, 1979], стр. 6).

Очень многими принято считать МПиО чуть ли не эталоном неэффективного процесса оптимизации, к которому поэтому можно относиться с иронией. Но это с одной стороны. С другой же стороны, оказывается, что существенная часть касающихся его публикаций содержит весьма положительные оценки его эффективности при решении самых различных задач.

Как же это может иметь место одновременно? Какие его свойства определяют столь противоположные оценки, как теоретиков, так и практиков? Всегда ли при этом имеется в виду одно и то же содержание метода? Прежде, чем отвечать на эти вопросы, приведу в подтверждение разноречивости оценок эффективности МПиО несколько цитат, содержащих такие (иногда эмоциональные) оценки. Большинство источников указанных цитат найдены в Интернете с помощью поисковых машин Google (www.google.com.ru), Яндекс (www.ya.ru), Рамблер (www.rambler.ru) и Апорт (www.aport.ru).

4.2.1.1. МПиО: оценки негативного характера

Для иллюстрации отрицательного отношения к МПиО приведу несколько цитат различных авторов.

Из области теории изобретательского творчества: «Главный недостаток МПиО – это, во-первых, медленное генерирование новых идей, а во-вторых, отсутствие защиты от психологической инерции (т.е. выдвижение идей тривиальных, обыденных, неоригинальных)... Причина неэффективности подобных методов в том, что они не меняют сути старой технологии перебора вариантов, сам этот перебор. Нужен принципиально новый инструмент творчества, а не “косметический” ремонт старого» [Альтшуллер, 1988].

Из той же области: «Стандартный метод решения изобретательских задач – это МПиО. Конечно, изобретатель не перебирает подряд все бесчисленное множество возможных вариантов. Нет, сначала идут пробы привычные, логичные, оправданные. Но когда они не срабатывают, когда труд ушедших месяцев, лет оказывается безрезультатным, в ход идет перебор любых, ненормальных, “диких”, случайных проб. И вот тогда “однажды” (...) МПиО парадоксально неэффективен. Он – главный виновник задержки изобретений. Самый страшный враг человечества – это тот нерациональный метод мышления, который именуется “героикой творческого труда”, которому поют дифирамбы и который считается столь же неотъемлемым свойством изобретателя, как борода у попа, как облака на небе, как звезды в космосе, как пятна на солнце, как вода в океане и как ещё сто тысяч таких же незыблемых и привычных “как”. МПиО считается нормой! Это порочный взгляд, потому что он предписывает обязательным применение порочного метода. Из-за самого существования которого человечество тысячелетиями систематически недосчитывается миллионов жизней. МПиО – своеобразный идол творческого труда (...) Я не очень-то разбираюсь в вероисповеданиях и не знаю, бывают ли идола добрыми. Одно я знаю совершенно точно: из всех самых злых идолов, когда-либо придуманных людьми, МПиО самый кровожадный. Мы привыкли приносить жертвы на алтарь нашей веры. Но ни одному божеству за все долгие тысячелетия преданности люди не платили такой дани, которую ежечасно вручают идола творчества. МПиО – злейший и ужаснейший враг человечества. И вместе с тем, этот метод загадочен, таинствен и завораживающе привлекателен, как в те далекие времена, когда слова “интуиция” и “озарение” не писались и даже не произносились из-за отсутствия языка и письменности... МПиО романтичен для поэтов. Для изобретателей-практиков он – тяжелейшая драма, обесценивающая годы неудачных поисков» [Верткин, 1987].

Обсуждая процесс поиска новых форм организации и управления в СССР в конце 80-х гг. XX века, С.П.Никаноров писал: «В настоящее время идут два параллельных, влияющих друг на друга, но не связанных функционально процессов. Первый представляет собой процесс ликвидации не оправдавших себя организационных форм, второй – тщательный поиск и освоение новых. Общая тенденция при этом состоит в том, чтобы усилить самостоятельность низовых звеньев народного хозяйства, что, как предполагается, будет стимулировать процессы их рациональной самоорганизации и приведет к образованию новых, эффективных организационно-экономических форм. Нельзя не видеть, что способ проб и ошибок прямо противоположен другому, который основан на расчете или, шире, – проектировании необходимых форм. МПиО чрезвычайно расточителен, он является медленно, негарантированно и неконтролируемо действующим, допускающим лишь в небольшой степени свое совершенствование. И, что, возможно, хуже всего, он ведет к деинтеллектуализации специалистов и руководителей. Специалисты, указывающие на якобы существующее преимущество рыночных систем во многих странах как на воплощение самоорганизации, упускают из виду не только мощное регулирующее влияние государства, в частности, использование системы типа PPBS, PATTERN и др., но и не придают значения вековому становлению рыночных отношений как конкретно-исторической форме, охватывающей все стороны общества» [Никаноров].

Из области банковской деятельности: «Используя печально известный МПиО, банки бредут тернистым путем комплексной или не очень комплексной автоматизации, теряя по дороге людей, деньги, время» [Аглицкий]. И т.д.

Таким образом, во всех перечисленных цитатах их авторы, не анализируя ни внутреннюю структуру, ни параметры МПиО, прямо или косвенно дают этому методу *отрицательную* оценку как таковому.

4.2.1.2. МПиО: оценки нейтрально-критического и нейтрального характера

Часто авторы характеризуют МПиО достаточно нейтрально или неоднозначно, но отмечают при этом его недостаточность при конкретных применениях и необходимость дальнейшего развития. Это демонстрируют следующие цитаты.

Из области педагогики: «Иллюзия же успешности педагогической науки и практики зиждется на неспособности большинства ученых видеть глубинные, сущностные пласты педагогического предмета. Дело в том, что в педагогике, в самой практике в начальных и широких границах можно обходиться так называемым “здравым смыслом”, “жизненным опытом”, “методом проб и ошибок” без помощи науки в собственном смысле слова. И представители педагогической науки довольствуются данным поверхностным описанием педагогических явлений» [Терегулов].

Из области исследования социального поведения: «Весьма важно уяснить социально-правовые аспекты проблемы терроризма, без чего противодействие этому явлению приобретает неакцентированный характер поиска решения по принципу проб и ошибок» [Гушер].

Из области теории компьютерного программирования: «В мире, где строительство и разрушение бесплатны, выбирается метод проб и ошибок, а фундаментальные исследования остаются для проста-

ков. Программное обеспечение разрабатывается именно в таком мире. Программист создает чертеж в виде программы на языке высокого уровня. Затем он позволяет компилятору и компоновщику в мгновение ока и почти без затрат построить программный продукт. Создание чертежа требует значительных усилий, но строительство с помощью компилятора и компоновщика практически бесплатно. Программисту вообще не надо беспокоиться о сносе и уборке обломков – по крайней мере, до тех пор, пока ему достаточно дискового пространства. Неудивительно, что идеология проб и ошибок так глубоко укоренилась в процессе разработки программного обеспечения, а сообщество программистов не удосужилось исследовать основные принципы разработки программного обеспечения. МПиО завел нас достаточно далеко. Но рост сложности современных программных систем подводит нас к жесткому пределу. За пределами определенного уровня сложности создание качественных архитектур методом проб и ошибок становится невозможным» [Бюрер, 2001].

Из области синергетики, о проблеме коэволюции: «Движение от одного состояния к другому должно происходить по определенной траектории – это задача оптимизации. Однако, это движение (развитие) всегда целенаправленно. Так вот, модели призваны заменить технологии проб и ошибок (что иногда длится недопустимо долго) – технологиями научно обоснованными, и это наиважнейшая задача научной интеллигенции в XXI веке» [Курдюмов, 2001].

Из области методологии науки: «Большинство людей убеждено в существовании "научного метода". В то же время многие считают, что "научный метод" – это миф. Одна из причин такого мнения – понимание метода как совокупности правил, которые гарантированно, или без ошибок, должны давать результаты. Но метод, вообще говоря, – это только метод попыток или проб, или "проб и ошибок". Требование безошибочности часто заменяется требованием, чтобы ошибок было мало или чтобы вероятность ошибки была мала» [Серебряный, 1997]. И т.д.

Таким образом, перечисленные цитаты демонстрируют, что их авторы, опять-таки не анализируя МПиО и не формулируя для него каких-либо определений, дают этому методу *неоднозначную* либо *нейтрально-критическую*, а иногда и просто *нейтральную* оценку.

4.2.1.3. МПиО: оценки позитивного характера

Для иллюстрации положительного отношения к МПиО также приведу несколько цитат ряда авторов из самых различных областей деятельности.

Из области исследования социального поведения: «Неплохим примером того, как человек именно методом проб и ошибок добирается до своего истинного призвания, может послужить Жан Жак Руссо» [Эфроимсон, 1997-1998].

Из области педагогики: «Трактуя учение как субъектную деятельность ученика, Н.А. Менчинская отстаивала необходимость "проб и ошибок" при усвоении знаний. Ученик (конечно, под руководством взрослого) сам должен "строить" понятие (знание); отчленять признаки существенные от несущественных (а не получать их в готовом виде), опираться на свой личный опыт познания, соотносить его с тем, что предлагает взрослый, т.е. осуществлять развернутую поисковую деятельность, а не пользоваться готовыми "ориентирами". Настоящая поисковая деятельность без проб и ошибок невозможна» [Якиманская, 1995].

Из областей педагогики и программирования: «Итак, каков же наиболее эффективный метод изучения программного обеспечения? Экспериментирование. Да, простой МПиО получил самую высокую оценку среди 30 способов обучения (см. таблицу с оценками)» [Харн, 1996].

Из области программирования: «Использовать картинки в форматах GIF и JPEG нужно с умом. Попробуйте создавать файлы GIF с меньшим числом битов на элемент изображения (пиксель). Например, зачем сохранять изображение с одним байтом данных на каждый пиксель, если можно ограничиться всего одним битом (при условии, что в изображении не использованы 256 цветов). Такая сокращенная версия файла будет в 8 раз меньше, а передаваться в 8 раз быстрее. Методом проб и ошибок можно уточнить, сколько именно бит данных достаточно для получения удовлетворительного качества изображения» [Как улучшить...]; а также: «Эволюция Windows – МПиО, который должен привести, наконец-то, к чему-то стоящему, стабильному, устойчивому» [Windows Longhorn] и «Разработка по методу Linux – это МПиО, построенный на интенсивном тестировании» [Богатырев, 2001].

Из области компьютерного синтеза музыки: «Преимущества пошаговой записи, благодаря которым множество электронщиков использует её, заключаются не только в возможности записи сложнейших тем, коррекции в них ошибок и добавлении требуемых нюансов. Созданные таким образом фрагменты можно потом с легкостью реаранжировать, пустить наоборот, а также полностью изменить с помощью проб и ошибок» [Худяков].

Из области медицины и фармакологии: «Специалисты знают, что люди по-разному реагируют на гипотензивные препараты. Если лекарство позволяет нормализовать давление одного пациента, это не означает, что оно поможет и другому. Поэтому оптимальный метод поиска лекарства для гипертоника – это МПиО» [«Провизор», 1999]; «Методом проб и ошибок в той или иной степени пользовались и продолжают пользоваться все естественные науки, однако для таких наук о биологически активных соеди-

нениях, как фармакология или токсикология, этот метод является прямо-таки доминирующим» [Галактионов, 1988].

Из области сравнительного исследования биологической и технической эволюции: «Весь ход технического и научного прогресса, а также изучение природы живых существ и законов их эволюции показывает, что пути развития природы и техники различны. Для своего развития природа использует МПиО путем случайного перебора вариантов и закрепления удачных вариантов в генетическом коде, передаваемом последовательно по наследству. Человек использует МПиО путем целенаправленного (?! – С.Г.) перебора вариантов в информационной среде, способствующей накоплению и быстрому распространению этой информации в обществе. Это позволяет человеку в миллионы раз сократить время и затраты на поиск оптимального варианта, что обеспечивает колоссальный прогресс науки и техники даже в пределах жизни одного поколения» [Азарьев]. И т.д.

Таким образом, во всех перечисленных цитатах (кроме последней) их авторы, не анализируя ни внутреннюю структуру, ни параметры МПиО, дают этому методу *положительную* оценку как таковому.

•••••

Цитирование можно было бы продолжить, но и уже представленных в пункте 4.2.1 материалов достаточно для того, чтобы сделать некоторые предварительные выводы.

Первое, что бросается в глаза: большинство как негативных, так и позитивных оценок МПиО используют этот термин как данность и не содержат попыток уточнения его смысла. Но иногда в литературе встречаются высказывания, подобные приведенному в последней цитате из статьи И.А.Азарьева (относительно того, что МПиО «используется путем *целенаправленного* (?! – С.Г.) перебора вариантов»), которые явно расширяют диапазон его свойств, интуитивно предполагаемых большинством авторов и читателей. Действительно, что подразумевать под «целенаправленным перебором вариантов»? Имеется ли в виду, что такие варианты неравноправны с позиций некоторого целевого алгоритма, и, соответственно, могут выбираться не «абсолютно» случайно, а на основе некоторого имеющегося опыта о ходе предыдущей реализации данного поискового процесса? Похоже на то, что цитированный автор имел в виду именно это. Остается вопрос: может ли подобный гипотетический – модифицированный! – метод продолжать называться методом «проб и ошибок»? И не лучше ли присвоить такому методу собственное оригинальное наименование, более точно отражающее подобное расширение его свойств по отношению к сравнительно общепринятому понятию МПиО?

Существование этой и подобных ей расширительных интерпретаций МПиО заставляют более подробно рассмотреть определения этого термина, даваемые ему различными авторами.

4.2.2. МПиО: вербальные определения в изданиях энциклопедического характера

4.2.2.1. Определения МПиО, явно характеризующие поиск как «слепой»

Как ни удивительно, но, несмотря на чрезвычайно частое употребление в самых различных областях науки и практики (а зачастую – и в обыденной жизни) термина «метод / принцип / алгоритм / способ/процедура "проб и ошибок"», в большинстве ведущих энциклопедий (в частности, БСЭ, Encyclopedia Britannica, Брокгауз и Эфрон, ММЭ и др. – за несколькими исключениями, о которых будет упомянуто ниже) нет специальных статей, посвященных его определению и трактовке. Так, БСЭ дает ему определение в статье «Бихевиоризм»: «Для объяснения того, каким образом выбирается данная реакция (человека – С.Г.) в ответ на данное воздействие, Торндайк выдвинул принцип "проб и ошибок", согласно которому выработка всякой новой реакции начинается со слепых проб, продолжающихся до тех пор, пока одна из них не приведет к положительному эффекту» [БСЭ, т.3, 1970, С.402-403]. То есть в данном крайне лаконичном описании метода всё же делается акцент на тот факт, что пробы являются «слепыми», или, в эквивалентной трактовке, «равновероятно» случайными.

Словарь «Психология» также утверждает: «Главным течением американской психологии становится бихевиоризм, согласно которому психология не должна выходить за пределы внешне наблюдаемых телесных *реакций* на внешние *стимулы*. Динамика этих реакций мыслилась как слепой поиск, случайно ведущий к успешному действию, закрепляемому повторением {метод проб и ошибок}. Программные установки этого направления выразил Дж.Б.Уотсон (1913)» [Психология, 1990, «История психологии»].

Encyclopedia Britannica упоминает об алгоритме "проб и ошибок" ("trial and error") в статье «Кибернетические системы. Самообучающиеся механизмы» при описании процесса движения мыши в лабиринте: «Вначале мышь использует простой (simple) алгоритм "проб и ошибок", наталкиваясь на стенки до тех пор, пока не найдет выхода. В течение процесса этого типа поиска, она "учится" и запоминает план лабиринта. После однажды достигнутой (случайно) цели, мышь будет использовать полностью отличный, намного больше экономичный и, по-видимому, "интеллектуальный" алгоритм для достижения цели в последующем эксперименте, основанный на "знании" расположения лабиринта» [Cybernetic systems, 2000]. То есть «первичный» алгоритм, или собственно МПиО, рассматривается как «простой» (надо полагать, что в данном контексте определение «простой» использовано как синоним определения

«слепой» – blind). Но здесь автора энциклопедической статьи явно больше интересует механизм самообучения – совсем другой, "интеллектуальный" поисковый алгоритм, который в ходе повторов пробега мыши по лабиринту приходит на смену "простому". Можно ли будет этот последний алгоритм рассматривать как эволюционное развитие первого, из цитируемого текста неясно.

В другой статье «Поведение животных. Пробы и ошибки» (которую можно рассматривать как специальную, т.е. непосредственно определяющую термин, несмотря на то, что в ней речь идет скорее об *обучении* животного по МПиО, а не о самом методе) Encyclopedia Britannica формулирует: «В обучении по МПиО животное учится, чтобы вести себя специфическим способом путем ассоциирования (associating) всего, что ведет к желаемому эффекту. Если нога собаки поднята экспериментатором и затем дана пища, в дальнейшем собака, после нескольких таких проб, будет спонтанно поднимать свою ногу в предвкушении пищи. Как классическое психологическое кондиционирование (conditioning), так и обучение по МПиО называют ассоциативным обучением, потому что в обоих случаях необусловленный ответ ассоциирован с обусловленным стимулом. В природных ситуациях животное, вероятно, обучается ассоциировать некоторую свою спонтанную деятельность с некоторыми желательными результатами, фиксируя, таким образом, обусловленные стимулы и отклик. Обучение этого типа часто происходит в тех случаях, когда животные модифицируют свое поведение в течение возбуждающих желаний последовательностей типа питания и спаривания» [*Animal behaviour, 2000*]. То есть в данном определении вообще отсутствуют какие-либо указания на свойства МПиО как такового, он только именуется – в контексте описания обучения животного – без раскрытия деталей его поведения.

В статье «Мышление. Пробы и ошибки» (которую также будем рассматривать как специальную, хотя и она посвящена обсуждению подходов к «решению проблем», а не анализу МПиО как такового) Encyclopedia Britannica предлагает более обобщенную трактовку данного метода: «Деятельность в области решения проблем (problem-solving) распадается на две категории: первая подчеркивает простые (simple) пробы и ошибки; вторая требует некоторой степени понимания. Путем проб и ошибок индивидуум действует главным образом с помощью исследования и управления элементами проблемной ситуации в усилиях разобраться в своих возможностях и нащупать шаги, которые могли бы привести его ближе к цели. Это поведение наиболее подходит в случае, когда «решатель проблем» испытывает недостаток предварительного знания относительно характера решения, или когда нет единственного правила, лежащего в основе решения. Деятельность путем проб и ошибок не обязательно очевидна (как при попытке приспособить вместе части механической головоломки); она может быть неявной или опосредованной так же, как индивидуальное отражение задачи и символическое тестирование возможностей при их обдумывании» [*Thought, 2000*]. То есть в данном определении подчеркивается тот факт, что МПиО следует использовать именно при недостатке априорной информации о решаемой с его помощью проблеме, а его собственные свойства опять-таки не рассматриваются.

В свою очередь, база знаний de facto констатирует: «МПиО – способ выработки новых форм *поведения в проблемных ситуациях*. МПиО, широко используемый *бихевиоризмом* для объяснения *научения* как вероятностного процесса, получил распространение в психологии после работ Э.Л.Торндайка, согласно которым слепые пробы, ошибки и случайный успех, закрепляющий удачные пробы, определяют путь приобретения индивидуального опыта у животных и человека. Тем самым была выделена согласованность поведения со средой на вероятностной основе, что позволило при интерпретации категории *действия* выйти за пределы жесткой альтернативы: либо механистической, либо телеологической его трактовки. Последующая разработка проблемы научения обнаружила слабость и ограниченность объяснительных возможностей МПиО, поскольку он не учитывает характерную для поведения направленность (! – С.Г.) каждой пробы, её включенность в определенную психическую структуру. *Гештальтпсихология* подвергла МПиО критике, противопоставив ему решение проблемы путем *инсайта*. Непродуктивность и теоретическая слабость такого противопоставления была показана И.П.Павловым. Свое значение МПиО сохранил лишь в узкой сфере искусственно создаваемых *ситуаций*; в частности, он вошел в состав конструктивных принципов кибернетических устройств» [*База знаний de...*]. То есть, акцентируется внимание на несоответствии «слепого» МПиО современному пониманию поведения как направленного. И т.д.

•••••

Обобщая точки зрения, представленные в подпункте 4.2.2.1, можно констатировать, что все они:

- а) достаточно *близки*,
- б) рассматривают МПиО как «слепой»/«простой» алгоритм, который настолько элементарен, что не нуждается в пояснениях его структуры и параметров,
- в) обычно рекомендуют использовать МПиО при недостатке или полном отсутствии априорной информации об объекте его приложения.

4.2.2.2. Определения МПиО, не разделяющие понятия «слепого» и «направленного» поиска

В отличие от изложенной позиции, психологический словарь (также в специальной статье) дает определение, что «МПиО – форма научения, описанная Э.Торндайком в 1898 г., основанная на закреплении случайно совершенных двигательных и мыслительных актов, за счет которых была решена значимая для животного задача. В следующих пробах время, которое затрачивается животным на решение

аналогичных задач в аналогичных условиях, постепенно, хотя и не линейно, уменьшается, до тех пор, пока не приобретает форму мгновенного решения. В дальнейшем более точный анализ поведения методом проб и ошибок показал, что оно не является полностью хаотическим и нецелесообразным, как считал Торндайк, *но интегрирует в себе прошлый опыт* (курсив мой – С.Г.) и новые условия для решения задачи» [*Психологический словарь*]. То есть в данном случае автор статьи делает акцент, во-первых, на изменении вероятностных свойств метода в процессе его функционирования, и, во-вторых, на определенную целесообразность такого изменения. Практически это последнее определение кардинально отличается от вышеприведенной трактовки БСЭ и Encyclopedia Britannica. Недостатком данного определения является его неоднозначность: не вполне понятно, *с какого момента времени* указанная форма научения не должна больше рассматриваться как *полностью хаотическая и нецелесообразная*, и, главное, все ли специалисты, использующие данный термин в той или иной конкретной ситуации, согласны с тем, что он *интегрирует в себе прошлый опыт*?

Известный энциклопедический Интернет-сайт www.dictionary.com (со ссылкой на The American Heritage® Dictionary of the English Language, Fourth Edition) дает МПиО следующее определение: «Метод достижения корректного решения или удовлетворительного результата с помощью попыток использования различных средств или теорий до тех пор, пока ошибка уменьшится в достаточной степени или будет ликвидирована» [*Trial-and-error*]. Как видим, здесь алгоритм генерации «попыток» вообще не рассматривается.

Иногда в качестве синонима МПиО используют термин «эвристический метод». Так, в Толковом словаре английского языка Random House «под эвристикой понимается метод дискуссии, а также изучение эвристической процедуры (методики). Термин "эвристический" (heuristically) толкуется там же более вариативно: 1. Служащий для того, чтобы указывать; стимулирующий интерес как средство дальнейшего исследования. 2. Вдохновляющий человека, чтобы изучать, обнаруживать, понимать, или решать проблемы по-своему, как экспериментируя, оценивая возможные ответы или решения, так и методом проб и ошибок: эвристический обучающий метод. 3. Имеющий отношение, или основанный на экспериментировании, оценке, или методах проб и ошибок. 4. Компьютеры, Математика. Имеющий отношение к решению проблемы методом проб и ошибок в том случае, когда алгоритмический подход непрактичен» [*Хуторской, 1998*]. И здесь алгоритм генерации «проб» не рассматривается.

Большое внимание данному вопросу уделяется на энциклопедическом Интернет-сайте, представляющем проект Principia Cybernetica. В специальной статье The trial-and-error method Ф.Хейлиген и В.Ф.Турчин вначале определяют его как метод, в котором «генерируются различные возможные конфигурации, после испытания их "приспособленности" хорошие сохраняются, а плохие или "ошибки" устраняются (элиминируются)» [*Heylighen, Turchin, 1996*]. Таким образом, в данном определении авторы вообще не упоминают о способе генерации новых конфигураций и тем более о центральной проблеме – используется ли при этом прошлый опыт или нет?

Но далее в этой же статье они разъясняют это довольно общее определение следующим образом: «Согласно неodarвинистской точке зрения, эволюция происходит путем создания случайных комбинаций (живой) материи, с последующей борьбой за существование, в результате которой некоторые комбинации выживают и размножаются, в то время как другие погибают. Поппер (Popper) описывает это как работу общего метода *проб и устранения ошибок*. Кэмпбелл (Campbell) использует термин "слепое изменение и выборочное сохранение" (blind variation and selective retention) [*Кэмпбелл, 1964*]. Ньюэлл (Newell) и Саймон (Simon) в их теории "решения проблем" (problem solving) назвали этот механизм "генерируй и тестируй" ("generate and test"). Здесь мы будем говорить просто о методе "проб и ошибок". Мы не должны использовать термин "слепой", потому что в культурной эволюции или при "решении проблем" мы часто имеем дело с *осознанным и направленным выбором* (курсив мой – С.Г.). Но даже по отношению к биологической эволюции мы не можем увериться, а тем более подтвердить фактами, что вариации слепы. Верно, что мы создаем нашу теорию и проверяем её фактами в предположении, что вариации слепы. Но реально мы не используем факт, что вариация, в действительности, слепа или случайна («случайна» и «слепа» используются как синонимы! – С.Г.), то есть все физически и логически возможные выборы равновероятны. Успех теории (? – если имеется в виду *успех* теории биоэволюции, то это слишком сильное и, как минимум, спорное утверждение: подробности см. ниже – С.Г.) доказывает, что слепота, в нынешнем состоянии теории, является достаточной, но не доказывает, что она необходима. Основное требование – то, что большое количество возможных состояний или решений исследуется через процесс вариации. Принцип настолько мощен, что любой тип вариации или пробы, *управляемый предвидением или нет* (курсив мой – С.Г.), сопровождаемый устранением "плохих" или "непригодных" проб, и сохранением или размножением "пригодных" проб, приведет к эволюции. Факт, что успешные шаги сохранены, ведет к необратимому накоплению, "эффекту храповика", который и позволяет движение только в специфическом общем направлении, без движения назад (см. принцип асимметричных переходов)» [*Heylighen, Turchin, 1996*].

Этот комментарий весьма разноречив. С одной стороны, Ф.Хейлиген и В.Ф.Турчин ссылаются – как на одно из сходных понятий – на введенный Кэмпбеллом термин «слепое изменение и выборочное со-

хранение» (причем в статье Ф.Хейлигена с этим названием, помещенной на том же сайте, «слепота изменений» не подвергается сомнению [Heylighen, 1993]). С другой стороны, упоминание Ф.Хейлигена и В.Ф.Турчина, что «реально мы не используем факт, что вариация, в действительности, слепа или случайна», и прямое формулирование того, что «основное требование – то, что большое количество возможных состояний или решений исследуется через процесс вариации», указывают на то, что авторы вообще не различают в МПиО «тип вариации или пробы: управляемый предвидением или нет».

С этой позицией можно было бы согласиться, если бы не одно «но»: она не вполне согласуется с исторически сложившейся традицией употребления термина МПиО преимущественно в смысле использования именно *слепых* вариаций – хотя, как было показано выше, имеют место и отдельные трактовки их как *направленных* (*целенаправленных*). В любом случае практика одновременного использования двух достаточно противоречивых определений одного и того же термина не может быть признана вполне приемлемой.

•••••

Обобщая точки зрения, представленные в подпункте 4.2.2.2, можно констатировать, что все они:

а) *неоднозначны*,

б) в части из них МПиО рассматривается как *достаточно сложный алгоритм, который обладает возможностью варьировать размер своей памяти от нуля до некоторой заметной величины, что обеспечивает «направленность» поиска, и*

в) *опять-таки* рекомендуют использовать МПиО *при недостатке или полном отсутствии априорной информации об объекте его приложения.*

Подытоживая же данные, приведенные в пункте 4.2.2 в целом, приходится признать, что информационный поиск в изданиях энциклопедического характера не дал результата – *однозначного определения* сущности МПиО. Следовательно, с этой целью следует обратиться к научным публикациям, в которых он используется.

4.2.3. МПиО: интерпретации в научных изданиях различных отраслей знания

4.2.3.1. Общефилософский аспект

Наиболее общую интерпретацию МПиО дает К.Поппер: «Если мы хотим разъяснить, почему человеческое мышление стремится испробовать все мыслимые решения всех проблем, с какими бы оно ни сталкивалось, то можем сослаться на одну в высшей степени общую закономерность. Метод, с помощью которого пытаются решить все проблемы, обычно один и тот же – это МПиО. Этот же метод, по сути дела, используется и организмами в процессе адаптации. Ясно, что его успешность в огромной степени зависит от количества *и разнообразия* (курсив мой – С.Г.) проб: чем больше мы делаем попыток, тем более вероятно, что одна из них окажется удачной (...) Если МПиО развивается все более и более сознательно, то он начинает приобретать характерные черты “научного метода”. Этот “метод” вкратце можно описать следующим образом. Столкнувшись с определенной проблемой, ученый предлагает, в порядке гипотезы, некоторое решение – теорию. Если эта теория и признается наукой, то лишь условно; и самая характерная черта научного метода состоит как раз в том, что ученые не пожалеют сил для критики и проверки обсуждаемой теории. Критика и проверка идут рука об руку: теория подвергается критике с самых разных сторон, и критика позволяет выявить те моменты теории, которые могут оказаться уязвимыми. Проверка же теории достигается посредством как можно более строгого испытания этих уязвимых мест. Конечно, это опять-таки вариант МПиО. Теории выдвигаются в качестве гипотез и тщательно проверяются. Если результат проверки свидетельствует об ошибочности теории, то теория элиминируется; МПиО, в сущности, метод элиминации. Его успех зависит главным образом от выполнения трех условий, а именно: предлагаемые теории должны быть достаточно многочисленны (и оригинальны); они должны быть достаточно разнообразны; осуществляемые проверки должны быть достаточно строги. Таким образом, мы сможем, если нам повезет, гарантировать выживание самой подходящей теории посредством элиминации менее подходящих. Если это описание развития человеческого мышления вообще и научного мышления в частности признать более или менее корректным, то оно поможет нам понять, что имеется в виду, когда говорят, что развитие мышления происходит “*диалектически*”» [Поппер, 1995].

Обсуждая эту точку зрения К.Поппера, В.Н.Садовский пишет: «Существенным моментом попперовской интерпретации диалектики является его утверждение о том, что “диалектическое развитие можно “объяснить”, показав, что оно происходит в соответствии с МПиО”, более того – что МПиО является более широким, чем метод диалектики, который, таким образом, оказывается частным случаем МПиО. У правоверного приверженца марксистско-гегелевской диалектики это утверждение может вызвать шок, но оно, тем не менее, представляется хорошо оправданным. Действительно, теория научного метода, основанная на концепции проб и ошибок, носит более общий характер, чем диалектическая триада, не устанавливает каких-либо ограничений на единственность исходного тезиса, на необходимость “снятия” синтезом тезиса и т.п., и поэтому диалектика действительно выступает частным случаем МПиО. Думаю, что у нас есть все основания сказать, что *попперовское установление связи диалектики и метода проб*

и ошибок является важным моментом рационального истолкования реального смысла диалектики (курсив автора – С.Г.)» [Садовский, 1995].

Правда, есть и критики попперовского мнения о том, что МПиО является более универсальным, чем метод диалектики: «МПиО Поппера хорош в кустарной мастерской, им оперируют в философии современные ремесленники, но он бессилён в познании Мира. В природе этим методом детеныши животных постигают окружающую среду обитания, и там его роль велика, но на уровне человеческого разума он носит прикладной характер и нередко служит прикрытием махизма в наиболее одиозной форме» [Крейдик, 2002] – но и данный автор не отрицает применимости его в соответствующих областях науки.

Общим для подобных общепублицистических публикаций является тот факт, что МПиО рассматривается здесь как данность, не требующая дальнейшего анализа её внутренней структуры, и интерпретируется, по существу, именно в наиболее очевидной форме – как *слепой* поиск (хотя термин «слепой» и не употребляется в явном виде).

4.2.3.2. Биолого- и психолого-поведенческий аспект

В данной области науки МПиО был изначально сформулирован, и в ней он к настоящему времени занимает свое достойное место при объяснении разнообразных поведенческих феноменов. Но и здесь его интерпретации можно подразделить на две основные группы.

4.2.3.2.1. Трактовки МПиО, явно или неявно характеризующие поиск как «слепой»

К этой группе можно отнести мнения следующих авторов.

Пример: «Как отмечают экспериментаторы, все высшие животные действуют, руководствуясь своим прежним опытом, а новый опыт приобретают путем слепых проб и ошибок, случайно. И лишь обезьяны решают задачи также и первично. То есть, предварительно оценивая возможные результаты своих действий. Конечно, это не значит, что такая оценка не основана вообще на прежнем опыте. Это означает лишь то, что из конкретного опыта обезьяны способны извлекать куда больше полезной информации, чем другие животные, способны даже как-то абстрагировать и данные абстракции использовать в иных случаях, которые кажутся экспериментаторам совершенно новыми, неизвестными подопытным особям. Как конкретные ситуации, они, конечно, новы, но в каких-то общих чертах, безусловно, должны быть сходны с прошлым опытом. Иначе шимпанзе (у рассуждающих о "первичности" экспериментаторов) оказываются способнее людей и даже вообще действующими по какому-то мистическому наитию. Вероятно, здесь задействованы механизмы типа тех, что определяют существование в животном мире феномена "инсайта", то есть внезапного озарения, осуществления адаптивной реакции без предварительных проб и ошибок. Разумеется, эта реакция берется не с потолка, а есть просто результат неожиданного сопоставления различного опыта, зафиксированного в мозге. Вопрос именно в способности к таким нестандартным сопоставлениям. Этот феномен чаще встречается у молодых особей, у которых традиционное поведение и возрастная консервация психики ещё не подавляют способность к творчеству. Возможно, физиологическое доверие к прежнему опыту (ибо любой феномен психики имеет нейрофизиологическую природу) у обезьян сравнительно расшатано в силу отмечавшегося выше естественного многообразия их отношений к миру. Устройство мозга высших приматов больше, чем у других животных, рассчитано на нестандартные ситуации. Приматы более свободны в своем поведении, в выборе действий, то есть, как говорилось, менее специализированы» [Хоцеј].

Другой пример: «Выбор действий животных во вновь возникающих ситуациях обеспечивают УРИ - условные рефлексы исследовательские, разведочные. В основном это действия методом проб и ошибок, просто случайные - в момент опасности действовать наобум лучше, чем вообще не действовать. В случае удачи УРИ закрепятся в "основном составе" условных рефлексов и будут передаваться через обучение новым поколениям» [Лебедев, 1993].

Третий пример: «Поражающая адекватность экологического поведения – как отдельных особей, так и целых сообществ – результат миллионолетия проб и ошибок. Те, кто ошибался так, что уже не мог выравнять равновесие между своей жизнью и жизнью среды, оставались лишь в палеонтологических летописях» [Левин]. И т.д.

Этот ряд можно продолжать, но уже понятно, что подобные примеры демонстрируют в целом позитивную оценку их авторами роли МПиО (причем, явно или неявно, в его «слепой» интерпретации) в организации поведения биологических объектов.

4.2.3.2.2. Трактовки МПиО, либо смешивающие понятия «слепого» и «направленного» поиска, либо вообще их не разделяющие

К этой группе можно отнести мнения следующих авторов.

Пример из этологии: «Выживаемость на конкретном историческом отрезке (все текущие проблемы сохранения видов) прежде всего зависит от этологической пластичности вида, т.е. способности активно адаптироваться к стрессовым воздействиям (локальная агрессия другого вида, трансформация среды обитания) через способность их социумов к активному перемещению в ландшафтно-географическом пространстве (задействование новых мест гнездования, иных путей пролета - "динамический" адекватный ответ) или активному задействованию, методом проб и ошибок, пустующих средовых прослоек (временных, или гриннеловских ниш - трофических, гнездовых, защитных) в том же регионе ("статиче-

ский" адекватный ответ). Последнее всегда связано с той или иной нетипичностью в поведении особей и социума и может вести к обособлению новой экоморфы (синантропной или "дикой"). Способность адекватного ответа зависит от базовых (врожденных) характеристик психики (определяют общий уровень этологической пластичности таксона, принципиальную способность "отреагировать") и особой перцептивной истории конкретного социума (определяет конкретные варианты реагирования)» [Михайлов, Социо-...]. С моей точки зрения, указание здесь на «врожденные характеристики психики» – это специфическая формулировка наличия памяти в его трактовке алгоритма МПиО.

Примеры из области поведения бактерий: «Некоторые бактерии также используют примитивную форму управления поведением по МПиО. Бактерии этого вида имеют тенденцию плавать по прямым линиям, и имеют ровно столько "памяти", чтобы знать, улучшаются ли окружающие условия или ухудшаются по направлению их движения. Если они ощущают, что условия улучшаются, они продолжают двигаться вперед. Если они чувствуют, что условия становятся хуже, они останавливаются, переворачиваются и направляются в случайном, обычно ином, направлении. Они исследуют направления, и отдают предпочтение хорошим, отвергая плохие. И поскольку это заставляет их мигрировать в направлении больших концентраций молекул пищи, они выжили» [Дрекслер]. Хочу сразу же подчеркнуть, что данный автор совершенно определенно говорит о МПиО как о методе с «памятью», который, естественно, демонстрирует свою высокую эффективность. Интересно сравнить эту оценку с совершенно противоположной, хотя и относящейся к тому же объекту моделирования: «То, что принцип пробных движений и "проб и ошибок" совершенно недостаточен уже для понимания поведения низших организмов, недавно прекрасно показал F.Alverdes в своем сочинении "*Neue Bahnen in der Lehre vom Verhalten der niederen Organismen*" (Berlin), 1923, О проблеме происхождения языка» – пишет М.Шелер [Шелер]. Не состоит ли причина столь негативной оценки данным автором существа МПиО именно в иной его интерпретации – т.е. как «слепого» метода, памятью не обладающего? Мое мнение – это именно так!

Ещё пример. П.В.Симонов пишет: «Нейрофизиологические механизмы стадии генерализации условного рефлекса практически совпадают с феноменом доминанты, обнаруженным академиком А.А.Ухтомским (1875-1942): доминанта есть временно господствующая рефлекторная система с первичным очагом в одном из отделов мозга, направляющая работу нервных центров в данный момент и определяющая вектор поведения. Сформировавшись, она обладает четырьмя типичными свойствами: стойким возбуждением, повышенной возбудимостью, благодаря чему возникает способность к суммированию самых разнообразных раздражений, и, наконец, выраженной инерционностью. В сущности, с такими характеристиками мы и встречаемся тогда, когда наблюдаем стадию генерализации условного рефлекса. Способность доминанты откликаться на самый широкий круг внешних стимулов, по-видимому, реализуется с участием гиппокампа. К доминанте, по мнению А.А.Ухтомского, "пристает все нужное и ненужное, из чего потом делается подбор того, чем обогащается опыт". Но возникающие при этом реакции не носят случайного характера. Их ограничивает видовой и ранее накопленный индивидуальный опыт (! – С.Г.). Скажем, собака, стремящаяся избавиться от болевого раздражения, не переходит к хаотическим пробам и ошибкам, а перебирает действия, в прошлом приводившие к решению аналогичной задачи. Или обезьяна. Убедившись, что палка для доставания приманки из глубокой щели оказалась слишком тонкой и короткой, она из кучи берет палку толще и длиннее. Но не наоборот» [Симонов]. Интересно, что в данной цитате МПиО упоминается (неявно) в форме «перехода к хаотическим пробам и ошибкам». Наличие же «индивидуального опыта» прямо характеризует его как метод с «памятью».

С другой стороны, В.Ф.Турчин указывает «Простая рефлекторная связь между возбудимой и мышечной клеткой естественно возникает в процессе эволюции по МПиО: если оказывается, что корреляция между возбуждением одной клетки и сокращением другой полезна для животного, то эта корреляция устанавливается и закрепляется» ([Турчин, 2000(1977)], стр. 37). Здесь проблема памяти собственно МПиО не обсуждается.

Рассматривая вопрос об источниках информации для выработки сохраняющих реакций, А.А.Ляпунов пишет: «... весьма важно *прижизненное обучение* (курсив цитируемого автора – С.Г.), т.е. способность к прижизненному накоплению информации для сохраняющих реакций. Эта информация может формироваться путем проб и ошибок» (см. [Ляпунов, 1980], стр. 227). И здесь проблема памяти собственно МПиО не затрагивается.

Наконец, В.Ф.Турчин обобщает: «...любая сложная система, возникшая в процессе эволюции по МПиО, должна иметь иерархическую организацию» ([Турчин, 2000(1977)], стр. 51) – переходя уже к иным аспектам соотношения модельного механизма МПиО как такового со структурой системы, в которую он встроен (по моему мнению, «иерархообразующим» является всё же не столько МПиО, сколько его обобщение – метод адаптивного случайного поиска: см. ниже, подраздел 4.3).

Но высказываются и несколько иные мнения относительно *необходимости* МПиО: «Какой бы хорошей ни была модель, она не может точно предсказать, что случится в действительности, однако хорошая модель во сто крат предпочтительней проб и ошибок вслепую. Моделирование можно назвать некой заменой метода проб и ошибок - термин, к сожалению, давно уже присвоенный "крысиными" психологами» ([Dawkins, 1976(1993)], стр. 63). Со мнением, что «хорошая модель во сто крат предпочти-

тельной проб и ошибок вслепую» трудно спорить – но необходимо предварительно понять, где биологические объекты могут взять информацию, достаточную для построения «хорошей» модели своего поведения в перманентно изменяющейся внешней среде, и какими *методами и средствами* могут её реализовать как в онтогенезе, так и, особенно, в филогенезе.

Отмечу и позицию, лишняя раз демонстрирующую опасность использования *неоднозначно* определенного термина: «Недавно было доказано, что сфекс-аммофила иногда убивает гусеницу вместо того, чтобы парализовать её, а подчас парализует её наполовину. Но из того, что инстинкт, как и интеллект, может ошибаться, что ему свойственны также и индивидуальные отклонения, совсем не следует, что инстинкт сфекса приобретен, как утверждалось, путем разумных (! – С.Г.) проб и ошибок» [Бергсон]. Как хотелось бы узнать, что именно подразумевается под «разумными» пробами и ошибками...

А также позицию, демонстрирующую опасность *неверного использования* термина: «Новое поведение находится путём случайного поиска (? – С.Г.) в окрестности уже освоенного поведения. Случайный поиск исключительно неэффективен (??? – С.Г.). Максимум, что можно ещё пытаться угадать – это информация из нескольких бит. Уже 10 бит, то есть тысяча равноправных вариантов – много даже для человека. Поэтому поиск нового должен происходить на фоне уже освоенного и известного. Причём это новое должно быть минимально информационно насыщено (минимально содержательно). После успешного нахождения "новых бит" и согласования их с имеющимися знаниями, они включаются в "освоенные" знания. И далее поиск нового продолжается такими же мельчайшими шажками» [Корниенко, 1999]. Ниже будет показано, что термин «случайный поиск» достаточно хорошо, в том числе формально, определен, и использование его в данном контексте совершенно неоправданно.

И т.д. Этот ряд также можно продолжать, но уже понятно, что подобные примеры демонстрируют самые различные оценки их авторами роли МПиО в организации поведения биологических объектов в зависимости от его интерпретации: как «слепого» либо «направленного» (т.е. с памятью).

4.2.3.3. Биолого-эволюционный аспект

Помимо процитированной выше позиции В.Ф.Турчина, существует ещё довольно большое число работ, авторы которых уверенно ставят знак равенства между МПиО и механизмом биологической эволюции, причем даже полагают это «общепризнанным». Как следствие такого подхода, опираясь на наглядные, очевидно весьма высокие, окружающие (и включающие!) нас результаты биологической эволюции, они положительно оценивают и МПиО как её теоретический (я бы всё же сказал – гипотетический) механизм.

Так, обсуждая проблему синтеза научного метода как такового, А.Г.Фонотов отмечает: «Ф.Бэкон первым дал метод исследования, синтезирующий природное (подчинение природе, подражание ей) и сознательное человеческое (через целенаправленный поиск) начала. Суть этого метода, его краеугольный камень состоит в использовании МПиО и практической проверке полученного в результате этого знания. В настоящее время общепризнанно, что аналогичным образом действует эволюция (при всей условности понятия "действует" применительно к эволюции). В этом смысле научный метод был не изобретен, а открыт. Но открыт он был (благодаря практической ориентации философии Бэкона) как материальное воплощение взаимодействующих науки и практики. Это значит, что производственная деятельность, и в первую очередь материальное производство, в своей эволюции сначала неосознанно и спонтанно, а потом сознательно и целенаправленно начинает опираться на научный метод» [Фонотов].

Иногда в подобных публикациях МПиО рассматривается как «слепой», что не приводит к его критике автором: «Средством приспособления, более того, способом существования жизни (биологической формы движения материи) является слепой поиск оптимума, т. е. такого состояния, которое может быть охарактеризовано как качество соответствия организма (вида и всего живого) среде. Поиск осуществляется посредством случайных проб. Пробным материалом служат особи. Их должно быть много и они должны быть разные» [Искрин, 2001].

По существу тот же смысл в данное понятие вкладывает и Р.Докинз: «Характерной чертой эволюционного процесса стала его внутренняя спонтанность, случайность, которая, тем не менее, ведет к закономерностям развития и прогресса. Недаром метафорой эволюции стал слепой часовщик» ([Dawkins, 1988], цитируется по [Капица, 1999]).

В известной книге «Сумма технологии» С.Лем констатирует: «Один из фундаментальных законов биоэволюции состоит в непосредственности её действий. Ибо в эволюции каждое изменение служит только сегодняшним задачам приспособления. Эволюция не может производить таких изменений, которые служили бы лишь подготовкой для других, предстоящих через миллионы лет; о том, что будет через миллионы лет, биоэволюция "ничего не знает", поскольку она является "слепым" конструктором, действующим методом "проб и ошибок". Она не может в отличие от инженера "остановить" неисправную машину жизни, чтобы, "продумав" её основную конструктивную схему, в один прием радикально её перестроить» ([Лем, 2002], стр. 54). Е.А.Седов начинает предисловие к своей монографии «Эволюция и информация» словами: «Аргументом в пользу правомерности обобщающего информационного подхода к анализу эволюционных процессов может служить уже то, что все эволюционные процессы осуществля-

ются путем «проб и ошибок», сочетающим спонтанные стохастические изменения информации и её детерминированный отбор» [*Седов, 1976*], стр. 3).

Рассматривая проблему филогенетического разнообразия, Г.А.Заварзин пишет: «Филогенетическая классификация предполагает существование генетически консервативной системы, на которую накладывается функционально значимая фенотипическая оболочка, определяемая внешними условиями – экологической нишей, представляющей своеобразное техзадание, соответствующее системе, определяемой сообществом, то есть вводящим внешнее понятие цели. Отсюда появляется целесообразность как соответствие системе, достигаемая естественным отбором, методом проб и ошибок» [*Заварзин, 2001а*], стр. 169). И т.д.

Чаще всего именно в подобных публикациях МПиО явно рассматривается как направленный (обладающий возможностью обучения, т.е. *памятью*). Так, например, Г.Фоллмер пишет: «Мир, в котором мы живём, донныне не был настолько хаотичным, каким бы он мог быть, а является относительно константным и упорядоченным. Ожидание закономерности, способность обучаться посредством проб и ошибок, склонность на основании прошлого "заключать" о будущем, сохранили поэтому донныне диспозицию к индуктивным заключениям. Живые существа, которые бы этим не обладали, например, параиндуктивисты или существа без условных рефлексов были бы подавлены в естественном отборе и вымерли» [*Фоллмер*].

Или, рассматривая его как самый примитивный или «слепой», делают вывод о необходимости пересмотра такого определения: «Эволюция от первой живой клетки до микроорганизма, плавающего в океане, заняла больше миллиарда лет – это на первом этапе, когда природа пользовалась самым примитивным методом проб и ошибок. Ещё миллиард лет заняла эволюция от микроорганизмов до ящеров. Эволюция от ящеров до обезьян заняла сотни миллионов лет. От теплокровных животных до первобытного человека – десятки миллионов. А путь от первобытного человека до нас с вами занял уже "всего" десятки тысячелетий. Эволюция все время ускоряла свой бег. А между тем, если бы природа действовала методом проб и ошибок, скорость эволюции должна была, по крайней мере, быть постоянной или даже замедляться!» [*Амнуэль*].

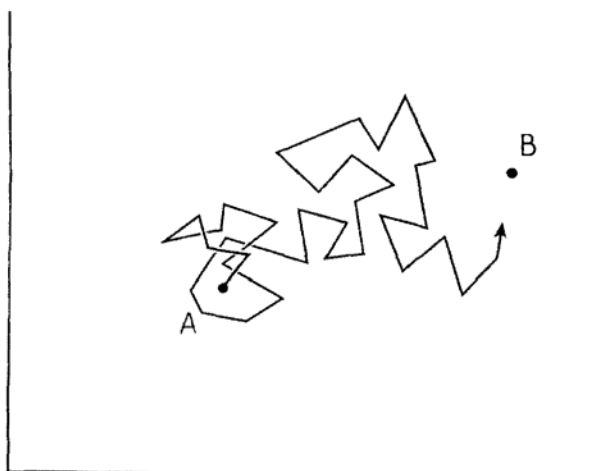
Ещё один пример похожего подхода с подобным же выводом: «Пока нет никаких доказательств участия метилирования ДНК в адаптивной изменчивости эукариот, но участие его в эпигенетическом наследовании некоторых признаков уже не вызывает особых сомнений. Метилирование вполне может лежать в основе некоторых проявлений адаптивной эволюции эукариот. Вопрос только в том, насколько подобная адаптация управляема, т.е. способен ли геном модифицировать сам себя, причём не методом проб и ошибок, а вполне целенаправленно» [*Ядерное мышление, 2001*].

Таким образом, трактовка МПиО как механизма естественного отбора часто подвергается справедливой критике, хотя аргументация иных авторов также не свободна от неточностей.

Например: «Теория передачи информации, возникшая на базе теории вероятности, без особого труда вынесла смертный приговор концепции естественного отбора (это зависит от того, что именно поднимать под данной концепцией! – С.Г.). Оказалось, что МПиО имел бы в биоэволюции такие же или даже более ничтожные шансы на успех, чем создание "Войны и мира" обезьяной, тыкающей наугад в клавиши пишущей машинки. Здесь требовался какой-то новый принцип развития, охватывающий к тому же не только живую, но и неживую материю (...) Вспомним, что мнимая мудрость эволюции, которая на самом деле слепа, объясняется по Дарвину, естественным отбором путем проб и ошибок единственно удачного варианта из огромного числа "пустышек". Ничего подобного не наблюдается при становлении живого организма из родительской клетки, которое с самого начала происходит вполне однозначно, в строго определенном порядке, заданном направлении и в заранее установленный срок. Другими словами, процесс явно идет от начала до конца строго по плану, неуклонно и целесообразно» [*Силин, 1997*]. Что касается «становления живого организма из родительской клетки», то этот процесс (онтогенез), конечно же, имеет совершенно иной характер, нежели процесс собственно эволюции такого организма (филогенез), но из этого факта совсем не следует, что первый процесс как-то опровергает второй. А рассуждения об обезьяне и пишущей машинке довольно часто встречаются в публикациях, рассматривающих их как «доказательство» ошибочности дарвинизма как такового. К сожалению, эти авторы, помимо прочих неточностей (в частности, неучета иерархичности системы живого) строят свои умозаключения на неверном, с моей точки зрения, аргументе трактовки механизма эволюции именно как МПиО = синонима «слепого» поиска.

Понятие слепого поиска активно используется и в теории генетических алгоритмов, которые конструируются исходя из бионического принципа, т.е. воплощения в технических устройствах (в данном случае – в компьютерных программах) свойств того или иного биологического объекта (конечно, в том виде, в каком последний видится их конструкторам): «Общепринято, что в генетических алгоритмах мутациям соответствуют одиночные замены генов, обеспечивающие стохастическое движение в ближайшей окрестности. В такой схеме слепого поиска мутации рассматриваются как минорный элемент генетического алгоритма, так что на практике рекомендуют строго ограничивать их вклад с целью подавления вносимого ими шума» [*Воробьев*].

Итак, когда МПиО рассматривают как «слепой», делают вывод о его недостаточной эффективности: зачастую некоторые критики, как они говорят, «случайного поиска» [Waddington, 1968(1970)], подразумевают в своем рассмотрении именно *слепой* поиск, недостатки которого очевидны. Так, К.Х.Уоддингтон пишет: «Форма гравия на дне реки определяется случайными процессами, т.е. (? – С.Г.) возникает в результате случайного поиска (??? – С.Г.)» [там же], и демонстрирует такой процесс на соответствующей иллюстрации *фиг. 2* этой статьи.



Фиг. 2. Схема процесса случайного поиска, в котором система должна перемещаться из пункта *A* в пункт *B* в результате случайных изменений в отдельных субъединицах.

В действительности указанные процессы вообще *непоисковые* и даже *неоптимизационные*. Здесь мы видим рисунок, неотличимый на вид от приводящихся в учебниках иллюстраций броуновского движения какой-либо микрочастицы в жидкости. Кроме того, применение термина «случайный поиск» в данном контексте вообще неоправданно (более подробно это будет продемонстрировано ниже, в пункте 4.3.2). В результате эффективная концовка

цитируемой статьи: «Мы, разумеется, не должны считать, что глаз позвоночного животного, нога лошади или шея жирафа представляют собой в сколько-нибудь серьезном смысле результат случайного поиска» [там же], стр. 115) повисает, таким образом, в воздухе...

Но, по моему мнению, именно подобные терминологические недоразумения послужили основным препятствием к использованию идеологии *случайной поисковой оптимизации* для объяснения смысла и особенностей эволюционных процессов в Биосфере Земли. В частности, отрицательное мнение столь авторитетного специалиста, как К.Х.Уоддингтон, о процессах якобы «случайного поиска» в эволюции (но, к сожалению, относящееся совсем к другим, *непоисковым* процессам), прозвучало на известном симпозиуме по теоретической биологии ещё в 1968 году. Поддержанное рядом его коллег, оно вполне могло оказаться непреодолимым барьером на пути привлечения в эволюционные представления оптимизационных поисковых понятий. Даже публикация книги В.Ф.Турчина (1977, 2000) не смогла разрушить этот барьер...

4.2.3.4. Социально-экономико-эволюционный аспект

Авторы целого ряда публикаций в данной отрасли знания полагают, что эволюционирование природы и общества в соответствии с моделью МПиО также является общепризнанным и вполне адекватно. Например: «Общепризнано, что эволюция в природе и обществе происходит постепенно и медленно, путем постоянных проб и ошибок. Её результатом является отбор качеств, свойств, умений, навыков и других признаков, которые способствуют лучшей адаптации систем к изменяющимся условиям природной и социальной среды» [Рузавин].

Другой пример. Э.М.Галимов пишет: «Паскаль сказал: “Предвидеть – значит управлять”. Именно в человеческом обществе “управлять – значит предвидеть”. В стае вожак – наиболее опытная особь. В человеческом обществе лидер – личность, наделенная максимальной способностью к предвидению. В человеческом обществе управление методом “проб и ошибок” – наиболее примитивная форма управления, находящаяся, по сути дела, на уровне биологической организации управления» (см. [Галимов, 2001], стр. 12).

Подобным же образом можно интерпретировать и высказывания Ф.А. фон Хайека: «В условиях спонтанного порядка незачем знать ни обо всех преследуемых целях, ни обо всех используемых средствах, чтобы учитывать их в своем поведении. В этом нет нужды, поскольку такой порядок формируется сам по себе. И если правила, создающие порядок, становятся все более совершенными, так это не потому, что люди начинают лучше понимать свою задачу, а потому, что процветания достигают те группы, которым удастся изменять правила поведения так, чтобы способность к адаптации у них возрастала. Характер этой эволюции не прямолинеен, он складывался в процессе постоянных проб и ошибок, непрерывного “экспериментирования” в сферах, где происходило “соперничество” между порядками разного типа. Разумеется, никакого специального намерения ставить эксперименты здесь не было – и всё же

изменения правил поведения, вносимые исторической случайностью, действующей аналогично генетическим мутациям, оказывались неким подобием экспериментирования» [фон Хайек, 1992].

Позиция Ф.А. фон Хайека поясняется его комментатором следующим образом: «Если Ф.Хайек отрицает конструктивизм как способ изменения общества, то он обязан следовать эволюционистской традиции. В соответствии с ней источник изменений – спонтанные изменения, мутации ("МПиО"), а естественный отбор ("на выживание") закрепляет новации, оказавшиеся полезными или, по крайней мере, безвредными. По Ф.Хайеку, этот метод хорошо работает в очень широком диапазоне: "идея эволюции ни в коей мере не ограничивается живыми организмами; скорее эволюция начинается в каком-то смысле уже на уровне атомов, образующихся из элементарных частиц. Таким образом, через многообразные процессы эволюции мы можем объяснить как молекулы – самые примитивные из сложных организмов, так и сложный современный мир". Конечно, подобное утверждение можно сделать и обосновать, опираясь на достижения самых различных наук (начиная с физики), только в наше время. В то время, когда К.Маркс начинал, не было даже открытия Ч.Дарвина, ключевого для теории эволюции. Тем не менее, дух этой теории, если так можно выразиться, в то время уже существовал. Ф.Хайек отмечает, что Ч.Дарвин читал А.Смита как раз в то время (в 1838 г.), когда формулировал собственную теорию. А первые слова о генетическом развитии, по его мнению, были сказаны немецким философом и историком культуры И.Гердером. "Таким образом, современная биология заимствовала понятие эволюции из исследований культуры, имеющих более древнюю родословную» [Гребнев, 1993].

Цитированные источники являются примерами исследований, в которых существо МПиО, его внутренняя структура не подвергаются анализу: «слепой» он или нет. Но в ряде других работ данной области исследований содержится обоснование необходимости введения в МПиО *памяти*, например: «Признано, что природа и общество эволюционируют согласно принципу "проб и ошибок". Результатом эволюции природных систем является отбор качеств, свойств, способов и методов, которые способствуют процессу их адаптации к изменяющейся внешней среде. Однако приобретенные качества, умения и навыки отдельных природных систем могут быть использованы в будущем лишь при условии их генетического фиксирования, что практически невозможно. Социальные же системы обладают возможностями для сбора, хранения и использования информации (не только о своем развитии, но и о жизнедеятельности других систем) при помощи "коллективной памяти". Этой особенностью социальных систем определяется их отношение к рефлексии. Так, известно, что эти системы благодаря указанной способности носят название "рефлектирующие системы»» [Лизунова, Яровикова].

Другой пример: «Обычаи складываются на основе удовлетворения индивидами своих потребностей: определенные способы поведения, удовлетворяющие ту или иную потребность и в силу этого выгодные для индивида, закрепляются, становятся привычными. Первоначальным механизмом возникновения обычаев является МПиО (метод "грубого эксперимента и отбора"): одни способы поведения оказываются менее болезненными по сравнению с другими, более эффективно обеспечивают удовольствие и оберегают человека от страдания, а потому имеют больше шансов на сохранение. Групповая жизнь людей и их борьба за существование способствовали распространению функционально полезных способов поведения в социальной группе и превращению их в обычаи. Обычаи являются основной социетальной силой. Они опосредствуют в обществе удовлетворение всех человеческих потребностей и накладывают социальные ограничения на биологически детерминированное поведение каждого члена общества. Поскольку возникновение обычаев не осознается людьми, то их происхождение всегда "окутано тайной", а сами обычаи наделяются для людей "силой фактов". Основными свойствами народных обычаев У.Г.Самнер считал их инертность, изменчивость, тенденцию к совершенствованию и согласованности» [Самнер]. Здесь следует указать, что именно обычаи могут выступать, с одной стороны, в роли ограничений поиска, а с другой – отражать соответствующую память системы.

Фиксируя же в таких исследованиях понимание свойств МПиО именно как «слепого» поиска, высказывают резко критическую к нему оценку: «природа оказалась беззащитной перед вооруженным человеком. В свою очередь человек выявил себя совершенно неспособным к "разумному", осмотрительному использованию так трагически "свалившегося на его голову" рассудка. Он по-прежнему шел окольным, недомысленным путем проб и ошибок, в основном страшных и дорого обходящихся и ему и природе. Самым же зловещим симптомом недоумия человечества является полное игнорирование им горьких и страшных уроков собственной истории, главный из которых, как известно, состоит в том, что уроки эти никого и ничему не научили» [Диденко, 1999].

Хотя есть и противоположные мнения, например: «Психика, освоив определенные состояния, стремится перерастить себя. Этот же механизм отличает и динамику искусства. Искусство далеко не всегда отклоняется только в сторону, предначертанную логикой предыдущих процессов. И там, и здесь зачастую идет слепой поиск» [Кривцун, 1998].

Среди множества публикаций на данную тему в последние годы начали появляться и такие, в которых намечаются конкретные пути преодоления недостатков МПиО применительно к интерпретации эволюционных процессов. Вот что пишут С.П.Курдюмов и Е.Н.Князева: «Синергетика открывает принципы управления, экономии и ускорения эволюции. Один из важнейших выводов синергетики состоит в том, что механизмы слепого жесткого отбора, механизмы чисто рыночного типа не являются единственно возможными в эволюции сложных систем. Мы не должны забывать о том, что живая природа научи-

лась многократно сокращать время выхода на нужные структуры посредством матричного дублирования – ДНК. Подобный механизм для открытых нелинейных систем называется резонансным возбуждением. В принципе есть возможность строить формы социальной организации не методом слепого отбора, многократных проб и ошибок. Не обязательно следовать постепенному и долгосрочному пути становления и развития общества рыночного типа. Иначе мы сейчас, в конце XX века, начнем повторять всю эволюцию капиталистического общества, которая протекала 400-500 лет. У нас нет этих 500 лет. Необходимо ясно осознать, что существует путь многократного сокращения временных затрат и материальных усилий, путь резонансного возбуждения желаемых и – что не менее важно – реализуемых на данной социальной среде структур. Возможен также путь направленного морфогенеза – спонтанного нарастания сложности в открытых нелинейных социальных средах. Последний представляет собой некий аналог биологических процессов морфогенеза и "штамповки" типа редупликации ДНК» [Курдюмов, Князева].

•••••

Подытоживая данные, приведенные в пункте 4.2.3, приходим к мнению, что научные издания различных отраслей знания также не дают однозначного определения для МПиО. Как видим, лишь часть авторов ставят перед собой задачу более подробного рассмотрения особенностей МПиО, но и они не предлагают формальных его определений. Что касается трактовок МПиО, то в приведенных цитатах налицо весь их спектр: от «простейшего» = «слепого» до использующего накопленный индивидуальный опыт неопределенной глубины. Соответственно столь же широк и диапазон оценок МПиО: от крайне негативных до весьма позитивных.

4.2.4. МПиО: формальные определения

Возможно, впервые подход, который может быть интерпретирован как «мостик» к формальному определению МПиО, высказал в 1960 году У.Р.Эшби: «В психологических работах адаптацию методом проб и ошибок иногда рассматривают как лишь один из способов адаптации, и к тому же не самый лучший. Приведенные выше соображения показывают, что МПиО занимает гораздо более фундаментальное положение среди методов адаптации. Они, в сущности, показывают, что тогда, когда организм должен приспособиваться (удерживать свои существенные переменные в физиологических пределах), действуя через среду типа "черного ящика", процесс проб и ошибок *необходим* (здесь и ниже курсив У.Р.Эшби), ибо только такой процесс позволяет извлечь нужную информацию. Таким образом, процесс проб и ошибок можно рассматривать с двух совершенно разных точек зрения. С одной стороны, в нем можно видеть просто попытку достижения цели; когда цель не достигается, эффективность его мы оцениваем цифрой 0. С такой точки зрения это лишь «второсортный» способ достижения цели. Существует, однако, другая точка зрения, которая ставит этот метод неизмеримо выше, так как он может играть не-оценимую роль в *получении информации*, абсолютно необходимой для успешной адаптации. Именно поэтому процесс проб и ошибок *должен* быть использован (организмом) при адаптации» ([Ashby, 1960 (1964)], стр. 137).

Позднее Л.А.Растрингин специально подчеркивал, что «огромной заслугой Эшби является то, что он предложил искать управление X (в гомеостате Эшби – С.Г.) не целенаправленно, а случайно – путем проб и ошибок. Ему же принадлежит заслуга обоснования такого на первый взгляд «неразумного» способа поведения» ([Растрингин, 1965], стр. 30; [Растрингин, 1968], стр. 54). Тем самым он обосновал мнение, что теория МПиО может рассматриваться как элемент именно теории управления, конкретнее – её последовательно вложенных друг в друга составляющих «техническая кибернетика»-«теория оптимизации»- «теория поисковой оптимизации»-«теория случайного поиска».

Далее Л.А.Растрингин пишет: «МПиО, используемый гомеостатом для отыскания решения, сводится, по сути дела, к случайному перебору элементов некоторого допустимого множества управлений (случайному поиску), проверке эффективности и соответствующей реакции на каждое управление. Четко разграничиваются два вида реакций на случайное управление. Отрицательная реакция R^- возникает в ответ на управление, которое не приводит к выполнению поставленных целей. Эта реакция в соответствии с алгоритмом гомеостата вызывает очередную случайную пробу управления. Положительная реакция R^+ следует при выполнении в объекте целей управления. Она сохраняет в объекте то управление, которое привело к выполнению поставленных требований. Алгоритм такого поведения удобно записать в виде

$$X_{i+1} = \begin{cases} \Xi, & \text{если } R^-, \\ X_i, & \text{если } R^+, \end{cases}$$

где X_i - управление на i -м шаге поиска, а Ξ - случайное управление из класса допустимых управлений. Как легко заметить, такой алгоритм имеет целесообразное поведение, направленное на поиск и сохранение в системе стабильного состояния, которое обеспечивает положительная реакция R^+ . Этот алгоритм естественно назвать алгоритмом с «наказанием случайностью», так как случайное управление вводится как реакция на неудачу (...) Применение описанной схемы *слепого* (курсив мой – С.Г.) поиска прямо к оптимизации многопараметрических систем не приводит к успеху, (...) поскольку алгоритм го-

меостата (т.е. в данном контексте МПиО – С.Г.) решает вопрос об отыскании решения в принципе; он гарантирует конечность времени отыскания условий, удовлетворяющих целям управления. Вопросы быстроедействия не решаются этим алгоритмом, так как он предназначен для управления объектами самого широкого класса с единственным ограничением – конечность вероятности отыскания решения» ([Растрингин, 1968], стр. 65-69).

По-видимому, данное математическое выражение с его комментариями и можно рассматривать как единственное существующее в литературе формальное определение МПиО (по крайней мере, других подобных определений мне не удалось найти ни непосредственно в специальной литературе, ни с помощью Интернет-поиска). Отмечу, что *характеристики случайности* поискового управляющего воздействия Ξ детализируются в дальнейшем комментарии как «слепой» поиск, причем в силу этого – весьма малоэффективный. Таким образом, единственное имеющееся формальное определение МПиО рассматривает его именно как «слепой».

4.2.5. МПиО: предварительные выводы

В результате анализа вышеприведенных определений и разнообразных точек зрения на МПиО, как представляется, можно сделать следующие предварительные выводы:

а) в литературе удалось найти лишь единственное *формальное* определение МПиО (Л.А.Растрингин), определяющее его как «слепой» поиск;

б) достаточно многочисленные *вербальные* определения и трактовки МПиО неоднозначны – в них, как правило, не рассматривается его внутренняя структура, в частности, не конкретизируется и не учитывается фактор фундаментального значения: наличие либо отсутствие *памяти* в процедуре генерации *пробы*; таким образом, в значительном числе интерпретаций не делается различия между вариантами МПиО без памяти («слепого» поиска) и с памятью («направленного» поиска), тогда как во многих других случаях МПиО рассматривается конкретно как «слепой» (т.е. МПиО в *узком смысле* / в узкой трактовке) либо как «направленный» (т.е. МПиО в *расширенном смысле* / в расширенной трактовке);

в) указанная *многозначность* трактовок термина МПиО приводит к многочисленным недоразумениям при его использовании в различных отраслях знания, в частности – к суждениям о его эффективности в диапазоне от резко отрицательных до весьма положительных (что можно объяснить именно различной интерпретацией МПиО, подразумеваемой тем или иным автором);

г) поскольку в работах У.Р.Эшби, Л.А.Растрингина и других показано, что МПиО является элементом более широкой отрасли знания: *теории управления* и, конкретнее, её важных составляющих – *технической кибернетики, теории оптимизации, теории поисковой оптимизации и теории случайного поиска*, – следует сравнить его с относительно соответствующими методами, предложенными в их рамках.

Для этого рассмотрим последние несколько подробнее, имея в виду, что, развитые в области технической кибернетики, эти методы оказались сравнительно мало известными и почти не используемыми в биологических областях естественных наук.

4.3. Оптимизация, поисковая оптимизация и случайный поиск

4.3.1. Оптимизация

Оптимизация (от лат. *optimum* – наилучшее) – «процесс нахождения экстремума (глобального максимума или минимума) определенной функции или выбора наилучшего (оптимального) варианта из множества возможных» [Солнышков, БСЭ, 1974]. **Оптимизация** – «минимизация или максимизация определенным образом заданного критерия, который характеризует качество или эффективность принимаемого решения» [Растрингин, 1979]. **Оптимизация** – «итеративный процесс улучшения решения задачи, сформулированный в постановке поиска экстремума целевой функции» [Оптимизация].

Данные определения отражают наиболее широко распространенные представления об этом понятии. Иногда после слов «функции» добавляют «или функционала» (переменной величины, заданной на множестве функций), что несколько расширяет определение, не меняя по существу его смысла.

Анализ приведенных выше и иных определений термина «оптимизация» позволяет выделить в этом термине две основные составляющие [Гринченко, 2002а]:

1) указание на наличие моделирующего некоторую реальность *целевого критерия* (целевой функции / целевого функционала, критерия оптимизации, экстремальной характеристики, показателя экстремума, критерия качества и др.), экстремальное (максимальное или минимальное) значение которого необходимо либо однократно определить (если его положение не зависит от времени), либо перманентно отслеживать (в противном случае);

2) указание на наличие соответствующих *средств определения* экстремума данного целевого критерия: при наличии достаточной информации о виде оптимизируемой функции – вполне формальных, при её отсутствии – поисковых.

Подобная структура термина «оптимизация» задает целый спектр возможных комбинаций-«двоек»: «конкретные свойства целевого критерия» – «конкретные свойства алгоритма определения экстремума».

Так, целевая функция оптимизируемого объекта либо может быть выражена математически, либо может и не иметь математического представления (в этом случае она лишь должна быть измерима). Целевая функция может зависеть от одной либо от многих переменных. При этом переменные могут относиться как к множеству целых чисел, так и к множеству действительных чисел. Целевая функция может иметь либо единственный локальный экстремум на заданном множестве переменных (который в этом случае совпадает с глобальным экстремумом), либо множество локальных экстремумов (в этом случае она называется многоэкстремальной, и возникает дополнительная задача нахождения среди последних глобального экстремума). Целевая функция может быть не только экстремального типа: возможно наличие функциональных ограничений а) типа равенств и б) типа неравенств. Необходимо также отметить, что и допустимое множество значений переменных в общем случае также ограничено. Кроме того, целевая функция и ограничения типа равенств и типа неравенств могут быть как статическими, так и динамическими (зависящими от времени). Наконец, существуют задачи оптимизации, в которых задаются сразу несколько критериев экстремального типа – это многокритериальные задачи, требующие для своего решения использования специальных методов.

В простейшем случае формальная постановка задачи оптимизации записывается следующим образом. Критерий оптимизации обычно означают буквой Q , а его зависимость от принимаемого решения – в виде скалярной функции $Q(\vec{x})$, где $\vec{x} = (x_1, \dots, x_i, \dots, x_n)$ – вектор оптимизационных переменных, характеризующий принимаемое решение. Это решение всегда как-то ограничено различными внешними обстоятельствами (например, ресурсами), в результате чего возникает понятие множества допустимых решений S , каждый элемент x_i которого приемлем для решения задачи оптимизации, т.е. $\vec{x} \in S$. Тогда задачу оптимизации (конкретно – минимизации) можно записать в виде: $Q(\vec{x}) \Rightarrow \min_{\vec{x} \in S}$, т.е. функцию $Q(\vec{x})$ следует (знак « \Rightarrow » в формуле) минимизировать (для максимизации используется знак «max»), варьируя вектор \vec{x} в пределах множества S ($\vec{x} \in S$). Решение этой задачи называют оптимальным и обозначают \vec{x}^* . Это решение обладает следующим очевидным свойством: $Q(\vec{x}^*) = \min_{\vec{x} \in S} Q(\vec{x})$.

Исходя из характера и особенностей представления целевого критерия, и выбирается соответствующий алгоритм решения задачи оптимизации. Для случаев, когда существует математическое выражение целевой функции и ограничения отсутствуют, – это методы *спуска* (последовательные итерационные шаги в направлении градиента/антиградиента оптимизируемой функции): градиентный метод, обобщенный метод Ньютона, методы сопряженных направлений и т.п. Если ограничения имеются, возникает задача нахождения условного экстремума, которая решается как методами, непосредственно обобщающими методы нахождения безусловного экстремума, так и специальными методами. Эти последние развиты в группе смежных научных дисциплин, которую исторически принято называть *математическим программированием* (данное название связано с тем, что целью решения задач является выбор *программы* действий: не путать с технологией написания компьютерных программ). В состав этой группы входят выпуклое, линейное, кусочно-линейное, квадратичное, дискретное или целочисленное, динамическое, стохастическое, нелинейное и т.п. программирование [Карманов, 1974]. Если же необходимо найти глобальный экстремум многоэкстремальной целевой функции, чаще всего используют сочетание стохастического метода Монте-Карло и какого-либо метода спуска.

Случаи, когда математическое выражение целевой функции либо отсутствует вообще (и можно её только каким-то образом измерять), либо целевая функция вычисляется математически (точнее, на компьютере) как последовательность сложных нелинейных математических преобразований, требуют использования *поисковых* оптимизационных методов (см. ниже, пункт 4.3.2).

В последние годы усилился интерес к построению *оптимизационных моделей* различных сложных процессов и явлений реального мира, как природных, так и антропогенных, имманентными элементами которых являются механизмы, реализующие процессы оптимизации тех или иных целевых критериев [Оптимизационная модель, 1989; Разумовский, 1998, Гринченко, 1999б]. Включение этих элементов в состав указанных моделей отражает наиболее глубинные закономерности адаптивного поведения сложных систем в природе и обществе.

4.3.2. Поисковая оптимизация

Поисковая оптимизация – последовательность действий, реализующих неизвестную а priori траекторию движения к экстремуму оптимизируемой функции: класс итеративных процессов **оптимизации**, использующийся в тех случаях, когда аналитическая зависимость целевой функции от оптимизационных переменных либо неизвестна, либо её вычисление представляет собой сложную задачу [Уайльд, 1967; Первозванский, 1970]. В обоих случаях от целевой функции $Q(\vec{x})$ требуется только воз-

возможность измерения (вычисления) в области определения её переменных \vec{x} . Поисковый метод описывается итеративным процессом (рекуррентным выражением), определяющим переход от $(N-1)$ -го шага к N -му: $\vec{x}_N = \vec{x}_{N-1} + \Delta\vec{x}_N$, причем шаг $\Delta\vec{x}_N$ зависит от ситуации в точке \vec{x}_{N-1} ; в простейшем случае $\Delta\vec{x}_N = \varphi(\vec{x}_{N-1})$, где φ - алгоритм поискового процесса оптимизации. В более сложном случае **адаптивной поисковой оптимизации** сам вид и параметры функции φ зависят от более глубокой предыстории поиска [Растргин, 1980, 1981]. Таким образом, когда количество начальной информации об объекте недостаточно для достижения цели управления, естественный путь восполнения – определение её в процессе поиска [Гринченко, 2002б].

Поисковая оптимизация применяется для решения как статических задач (целевая функция в которых не зависит от времени), где её целесообразно называть *собственно поисковой оптимизацией*, так и динамических (в последнем случае её традиционно называют *экстремальным управлением* объектом, характеристики которого от времени зависят). Теория поисковой оптимизации была в основном разработана в 1960-1980-х гг. рядом отечественных и зарубежных ученых, среди которых можно выделить Д.И.Батищева, Р.Буша, Ч.С.Дрейпера, Ю.М.Ермольева, А.Г.Ивахненко, В.В.Казакевича, А.А.Красовского, В.М.Кунцевича, И.Т.Ли, Ф.Мостеллера, Ю.И.Неймарка, А.А.Первозванского, Л.А.Растргина, Р.Г.Стронгина, А.А.Фельдбаума, Я.З.Цыпкина, У.Р.Эшби, Д.Б.Юдина и др. (см. например, [Казакевич, 1944; Ashby 1956, 1959; Фельдбаум, 1959; Дрейпер, Ли, 1960; Кунцевич, 1961, 1966; Буш, Мостеллер, 1962; Красовский, 1963; Моросанов, 1964; Цыпкин, 1968; Ивахненко, 1969; Арефьев, 1969; Первозванский, 1970; Мандровский-Соколов, Туник, 1970; Юдин, 1974; Казакевич, 1975; Ермольев, 1976; Казакевич, Родов, 1977; Корвин, 1978]).

Важнейшим направлением теории поисковой оптимизации является теория случайного поиска. Впервые изобретенный в 1959 году выдающимся русским ученым Л.А.Растргиным [1959а, б], в последующие годы случайный поиск самым широким образом используется в различных областях науки и техники – от оптимального проектирования конкретных технических систем до проблем создания общей теории поиска (см., например, [Растргин, 1960, 1965, 1966, 1968, 1979, 1981, 1987]). Очень скоро метод случайного поиска стал мощным вычислительным методом поиска новой информации и принятия решения при оптимизации сложных объектов. Происходящий в то время бурный рост публикаций по проблемам случайного поиска (760 источников в библиографии [Случайный поиск (теория и применение), 1973], 661 источник в библиографии [Гринченко, 1977], и 1128 источников – в библиографии [Гринченко, 1983в]) косвенно указывает на высокую эффективность метода.

Начиная с 70-х гг. получило довольно широкое распространение одно из направлений теории поисковой оптимизации, связанное с методологией синтеза новых алгоритмов на базе бионических представлений. В частности, использования для этого моделей эволюции живой природы: эволюционного подхода (Г.Бремерманн [Bremermann, 1968]), «эволюционного моделирования» (Л.Фогель, А.Оуэнс, М.Уолш [Fogel et al., 1966(1969)], И.Л.Букатова [Букатова, 1979, 1987; Букатова и др., 1991]), эволюционного формообразования (А.И.Половинкин [Половинкин, 1970]), эволюционной глобальной оптимизации (Э.М.Куссуль, А.Лук [Kussul, Luk, 1972, Куссуль, 1978]; Р.Джарвис [Jarvis, 1975]), эволюционной адаптации коллективом вероятностных автоматов (Ю.И.Неймарк с соавт. [Григоренко, 1971; Мухин и др., 1973; Ранопорт, 1999, 2001]), «эволюционной стратегии» (И.Рехенберг [Rechenberg, 1973], Г.-П.Швэфель [Schwefel, 1975], К.Беллман, Дж.Борн [Bellman, Born, 1979]), «генетической адаптации» (У.Петерзон, К.Восс, К.Вебер [Weber, 1972; Petersohn et al., 1974]), «генетических алгоритмов» (Дж.Холланд, Д.Голдберг, Д.И.Батищев, В.М.Курейчик, С.А.Исаев и др. [Holland, 1975; Goldberg, 1989; Батищев, 1995; Курейчик, 1998; Исаев, 2000]) и тому подобных. Использование именно эволюционной и генетической терминологии оказалось удобным языком при синтезе широкого спектра новых разновидностей алгоритмов поисковой оптимизации. Среди авторов бионических работ в области поисковой оптимизации, опирающихся на аналогии с иными биологическими объектами, следует упомянуть В.Ф.Коропа, Л.Н.Фицнера, Л.А.Растргина, Н.П.Дидиченко и др. (см., например, [Гринченко, 1975; Короп В., 1974, 1976; Короп А., 1976; Фицнер, 1977; Гринченко, Растргин, 1976, 1977, 1981; Растргин, Гринченко, 1978; Дидиченко, 1984]). Близки к ним и «муравьиные алгоритмы» (М.Дориго [Штовба, 2003]).

4.3.2.1. Методы поисковой оптимизации

Методы собственно поисковой оптимизации подразделяют на две основные группы:

- 1) методы, использующие как пробные, так и рабочие шаги поиска;
- 2) методы, в которых пробные и рабочие шаги совмещены.

При экстремальном управлении пробные и рабочие шаги совмещены всегда.

Кроме того, методы поисковой оптимизации различаются по способу определения направления движения к экстремуму. Здесь можно выделить два основных подкласса: методы регулярного поиска (Гаусса-Зейделя, градиентный, наискорейшего спуска и т.п.) и методы случайного поиска. Эффектив-

ность каждого из них зависит от конкретных условий: формы поверхности целевой функции (наличия гребней, оврагов и т.д.), погрешности её вычисления/измерения и др.

Процесс оптимизации по методу градиента разбивается на два этапа. На первом этапе с помощью пробных шагов производится определение составляющих градиента, т.е. частных производных критерия качества по оптимизируемым переменным. Во время второго этапа совершается рабочий шаг, т.е. производится смещение в направлении обратном градиенту. Новое значение функции качества на каждом шаге поисковой оптимизации находится после определения всех очередных новых значений варьируемых переменных, и после проверки выполнения ограничений по каждой переменной.

Метод случайного поиска использует для выявления предпочтительных состояний пробные смещения от текущей точки в случайных направлениях. Простейший алгоритм случайного поиска «с линейной тактикой» использует только два оператора: случайного шага (ξ) и повторения предыдущего шага. Действие каждого из этих операторов может привести к одному из двух результатов: минимизируемая функция на N -м шаге поиска Q_N либо уменьшится, либо не уменьшится. В зависимости от результата включается тот или другой оператор (в первом случае – «повторить шаг», во втором – ξ). В более сложных случаях алгоритмы случайного поиска обладают свойством адаптивности, реализуемом с помощью запоминания как траектории поискового процесса (значений поисковых переменных и целевых функций, а также соответствующих ограничений), так и параметров самого алгоритма (величины и направления поискового шага, глубины памяти и т.п.) [Растрвигин, 1968].

При собственно поисковой оптимизации существует задача определения момента, когда поиск следует завершить. Поскольку значение экстремума целевой функции а priori неизвестно, определять этот момент с помощью задания величины допустимого отклонения от цели невозможно. Но это можно делать по достижению числом последовательных неудачных поисковых шагов (или проб) некоторого заранее определенного предела. Последнее можно интерпретировать как признак того, что поиск производится вблизи экстремального значения целевого критерия. Указанная задача отсутствует в системах экстремального управления, отслеживающих экстремум оптимизируемого критерия перманентно.

4.3.2.2. Экстремальное управление

«**Экстремальное регулирование** (Э.р.), способ автоматического регулирования, состоящий в установлении и поддержании такого режима работы управляемого объекта, при котором достигается экстремальное (минимальное или максимальное) значение некоторого критерия, характеризующего качество функционирования объекта. Критерием качества, который обычно называется целевой функцией, показателем экстремума или экстремальной характеристикой, может быть либо непосредственно измеряемая физическая величина (например, температура, ток, напряжение, давление), либо к.п.д., производительность и др. Э.р. осуществляется в условиях неопределённости в отношении поведения объекта управления. Поэтому при Э.р. сначала получают необходимую исходную информацию об объекте (для этого на управляемый объект подаются пробные воздействия, изучается реакция объекта на эти воздействия и выбираются те из них, которые изменяют целевую функцию в нужном направлении), а затем на основе полученной информации вырабатывают рабочие воздействия, обеспечивающие достижение экстремума критерия качества (см. *Поисковая система* управления). Таким образом, при Э.р. решаются две задачи: нахождение градиента целевой функции, определяющего направление движения к экстремуму в пространстве регулируемых координат при наличии помех, возмущений и инерционности объекта оптимизации; организация устойчивого движения системы в направлении точки экстремума за минимально возможное время либо при минимизации каких-либо других показателей. Автоматическое устройство, вырабатывающее управляющие воздействия на объект, называется экстремальным регулятором» [Коровин, БСЭ, 1978].

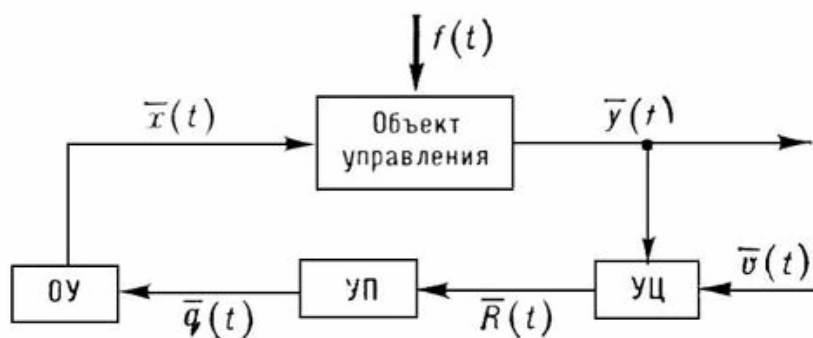
«**Поисковая система** (П.с.) управления, система автоматического управления, в которой управляющие воздействия методом поиска автоматически изменяются таким образом, чтобы осуществлялось наилучшее (в каком-то смысле) управление объектом; при этом характеристики объекта или внешние возмущения могут изменяться неизвестным заранее образом. Принцип автоматического поиска лежит в основе действия самоприспосабливающихся систем... Структурная схема П.с. показана на рисунке.

Состояние объекта управления определяется управляющими воздействиями $\bar{x}(t) = [x_1(t), \dots, x_m(t)]$, внешними возмущениями $\bar{f}(t) = [f_1(t), \dots, f_k(t)]$ и выходными параметрами $\bar{y}(t) = [y_1(t), \dots, y_n(t)]$. В П.с. входят: устройство формирования цели управления (УЦ), устройство организации поиска (УП) и органы управления (ОУ). УЦ состоит из измерительного и вычислительного устройств и по показателям состояния объекта вырабатывает показатель цели управления $\bar{R}[x(t)]$.

Функционал $\bar{R}[x(t)]$ может изменяться и перенастраиваться в зависимости от переменных

$\bar{v}(t) = [v_1(t), \dots, v_i(t)]$. УП включает устройства логического действия и зависимости от изменения

$\bar{R}[x(t)]$; оно вырабатывает командные сигналы $\bar{q}(t)$, необходимые для приближения системы к заданному значению показателя цели управления.



Поиск осуществляется следующим образом: на вход объекта подаются пробные воздействия, и оценивается реакция на них объекта, проявляющаяся в виде изменения значения целевой функции $\bar{R}(t)$; далее в УП определяются те воздействия, которые изменяют показатель цели в нужную сторону; вслед за этим вырабатываются и подаются на вход объекта

соответствующие сигналы, т. е. прикладываются рабочие воздействия. Затем на объект управления снова подаются поисковые воздействия, и цикл повторяется. Наиболее распространённые методы поиска: метод Гаусса-Зейделя, при котором последовательно отыскивается экстремум выхода по 1-й, 2-й, ..., m -й координате входного воздействия; метод градиента, состоящий в том, что новое входное воздействие получается из предыдущего в результате движения системы по градиенту выходного функционала; метод случайного поиска, при котором используются пробные смещения в случайных направлениях; метод стохастической аппроксимации, состоящий в последовательном приближении к экстремуму с учётом результатов предыдущих поисковых шагов, с постепенным уменьшением размера шага» [Казакевич, БСЭ, 1975].

При экстремальном управлении возникает новая проблема выбора наилучшего соотношения между двумя противоречивыми требованиями: минимизации времени переходного процесса в область экстремума из произвольной точки (так называемых «потерь на поиск») и минимизации отклонения оптимизируемой величины от экстремального значения в установившемся режиме (так называемых «потерь на рыскание»). Потери на поиск уменьшаются с ростом величины поискового шага. Однако потери на поиск характеризуют работу алгоритма лишь на подходе к экстремуму. Алгоритм, имеющий наименьшие потери на поиск, быстро выведет систему в район экстремума. Но на этом не заканчивается экстремальное управление: от алгоритмов поиска требуется надежная работа в районе экстремума, позволяющая отслеживать его «блуждание» или «уплывание». Потери на рыскание существенно зависят от величины поисковых шагов, поэтому для снижения этих потерь размеры поисковых шагов следует уменьшать. Это находится в противоречии с требованием быстродействия (для повышения которого величину рабочего шага нужно, наоборот, увеличивать). Отсюда следует, что выбор компромиссных значений величин шагов на всей траектории поиска следует проводить адаптивно, с учетом особенностей поведения оптимизируемого объекта в процессе поиска [Растринин, 1974].

Таким образом, экстремальное управление осуществляют в условиях неопределенности в отношении поведения объекта управления, решая в общем случае как задачу «поиска» – реализации перемещения к области экстремума в пространстве регулируемых координат (при наличии помех, возмущений и инерционности объекта оптимизации), так и задачу организации устойчивого движения («рысканий») системы вблизи точки экстремума.

Здесь считаю необходимым лишний раз подчеркнуть, что понятие «экстремальное управление» никоим образом не совпадает с понятиями «экстремальные состояния», «экстремальные ситуации» и «экстремальные периоды развития». Эти последние относят к состояниям, ситуациям и периодам, достаточно резко, часто катастрофически, отличающимся от их «нормальных» аналогов в природных и общественных системах (см., напр., [Буровский, 2000]). Кстати говоря, в этой связи иногда даже используют сленговую форму «периоды экстремумов» [там же], что никак нельзя считать удачным словоупотреблением. То есть прилагательное «экстремальный» может употребляться в разных смыслах, и его использование в составе термина «экстремальное управление» отражает только тенденцию стремления к экстремуму (т.е. максимуму либо минимуму) некоторой целевой функции – но никак не оттенок «катастрофичности» либо «исключительности» этого процесса. Но всё же указанная многозначность может послужить причиной различных недоразумений. По этой причине из двух весьма схожих, практически синонимичных терминов «экстремальное управление» и «поисковая оптимизация» именно последний выбран в настоящей работе в качестве основного.

При теоретических исследованиях и практических разработках систем экстремального управления – преимущественно в области технической кибернетики и её приложений – выявлен ряд результатов, относящихся к особенностям структуры и соотношений параметров в таких системах. Эти результаты позволяют свое перенесение и на иные отрасли знания, модели процессов в которых могут быть интерпре-

тированы как поисковые оптимизационные и адаптивные [Гринченко, 1979а, б, 1989, 2000б] – см. раздел 5 настоящей монографии.

4.3.3. Адаптивный случайный поиск

Простейший пример метода *случайного поиска* рассмотрен выше. В более сложных вариантах этот алгоритм обладает свойством адаптивности, реализуемым с помощью запоминания как траектории поискового процесса (значений поисковых переменных и целевых функций, а также соответствующих ограничений), так и параметров самого алгоритма (величины и направления поискового шага, глубины памяти и т.п.). Именно это свойство делает его весьма эффективным средством решения сложных экстремальных задач самого различного типа. Более того, именно механизм адаптивного случайного поиска является средством – причем, по моему мнению, единственно адекватным – моделирования поведения системы природы. Действительно, довольно трудно представить себе некоторый живой объект, параметры адаптивного поведения которого (например, значение градиента целевой функции) *рассчитывались* бы в каком-то гипотетическом вычислительном блоке (что необходимо для любого *регулярного* метода оптимизации). Применительно же к адаптивному случайному поиску – это вполне реально, поскольку он *не требует* никаких подобных вычислений, а *оценивает* искомый градиент на базе нескольких имеющихся конкретных реализаций целевой функции (экстремального вида). Добавлю для читателя, знакомого с теорией автоматов, что алгоритм случайного поиска легко формулируется на языке *вероятностных автоматов* – это просто два разных языка описания одной и той же сущности.

Адаптивный случайный поиск *по определению всегда содержит*, помимо вероятностной, *существенную регулярную составляющую*. Это может, в частности, выражаться в различии вероятностей выбора величин приращений по каждой из координат поискового пространства ξ (т.е. поиск осуществляется не в гипершаре, а в *гиперконусе*), в ненулевой глубине памяти алгоритма адаптации и т.п.

4.3.4. Память алгоритма как основа классификации методов поисковой оптимизации

Любая схема поисковой оптимизации представляет собой *контур*, содержащий, как минимум, два элемента: «блок вычисления целевой функции» оптимизации и «блок генерирования поисковой переменной» (т.е. собственно «оптимизатор», в свою очередь, включающий два основных субблока: «селектор» и «генератор»), и связи между ними. Оптимизатор, в соответствии с алгоритмом A (ориентированным на поиск экстремума – например, минимума – целевой функции Q), вырабатывает (в соответствии с оценкой селектором $\Theta(Q)$ тенденции изменения Q) на выходе генератора величину (в общем случае векторную) поисковой переменной X . Выходом блока вычисления целевой функции является её (скалярная) величина $Q(X)$. В зависимости от тенденции изменения последней селектор $\Theta(Q)$ получаемого результата принимает одно из двух значений: «удача» либо «ошибка» – см. рис. 4.1а.

В контуре поисковой оптимизации эти процессы многократно («по кругу») повторяются, перманентно отслеживая тем самым минимум целевой функции $Q(X)$. Для удобства поисковые «шаги» обычно нумеруют, интерпретируя их как дискретное время хода процесса оптимизации. При модельных расчетах в технических приложениях этот процесс останавливают извне, когда считают, что достигнут достаточно успешный результат. При *экстремальном управлении* натурными техническими объектами этот процесс происходит перманентно.

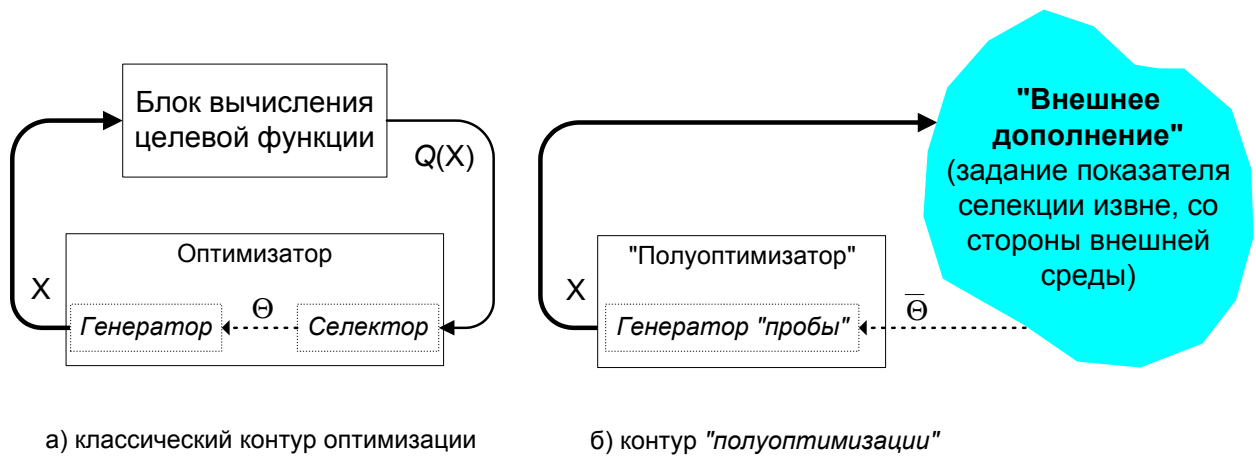
Таким образом, в соответствии с [Растргин, 1981], можно записать: $Q(X) \xrightarrow{A} \min_{X \in \Omega} \Rightarrow X^*$

где $\Omega: \begin{cases} H(X) \geq 0; \\ G(X) = 0. \end{cases}$ – область допустимых значений поисковой переменной X , определяемая системой

целевых требований $H(X)$ и $G(X)$, A – поисковый алгоритм, X^* – значение переменной X , соответствующее экстремуму целевой функции $Q(X)$.

Очевидно, что проблема построения зависимостей $Q(X)$ для конкретных приложений выходит за рамки теории поисковой оптимизации, и решается всегда средствами соответствующих прикладных наук. Другое дело – проблема синтеза собственно алгоритма поиска A , «встроенного» в оптимизатор. Как представляется, к основным особенностям такого алгоритма можно отнести следующие:

- 1) в простейшем случае он фиксирован, т.е. имеет постоянную структуру и параметры;
- 2) в более сложных случаях он может изменяться в ходе поиска в зависимости от получаемых результатов и накапливаемого *опыта* (последнее называют *адаптацией* поиска);



а) классический контур оптимизации б) контур "полуоптимизации"

Примечания: X - вектор поисковых переменных; $Q(X)$ - целевая функция; $\bar{\Theta}(\Theta)$ - показатель селекции: "удача"/"ошибка"

Рис. 4.1. Схемы поисковой оптимизации: а) типовая и б) «полуоптимизации» с «внешним дополнением».

3) он может содержать случайную компоненту, в потенции обеспечивающую возможность нахождения *всех* решений задачи оптимизации, т.е. реализацию *глобального* поиска;

4) он также может содержать дополнительную регулярную компоненту, формирующуюся на базе ранее полученного *опыта* поисковой оптимизации и обеспечивающую повышение эффективности *локального* (а затем – и *глобального*) поиска экстремума соответствующей целевой функции;

5) сочетания регулярной и случайной компонент в таком алгоритме могут быть самыми разнообразными.

Из вышеперечисленных пунктов 2) и 4) следует, что *опыт*, накапливаемый в процессе поиска экстремума оптимизируемой целевой функции, является основой для введения механизма адаптации алгоритма A , обуславливающего возможность кардинального улучшения эффективности поисковых характеристик последнего. Таким образом, предположение, что *важнейшим параметром алгоритма A является именно глубина его памяти τ* , не выглядит необоснованным.

Введение параметра τ позволяет получить простой и ясный показатель выявления типовых вариантов реализации поискового алгоритма A , т.е. фактически сформировать *классификатор* поисковых методов оптимизации: для этого достаточно выделить его типовые значения 0 и 1 ($\tau=0, \tau=1$), а также типовой интервал значений, больших единицы ($\tau>1$) – см. табл. 4.1.

Глубина памяти	$\tau=0$		$\tau=1$	$\tau>1$
Поисковый алгоритм	$\bar{A}(t)$	$A(t,t) = A(t)$	$A(t,t-1)$	$A(t,t-1,t-2,t-3,\dots,t-\tau,\dots)$
Генератор	$X(t,t) = X(t)$		$X(t,t-1)$	$X(t,t-1,t-2,t-3,\dots,t-\tau,\dots)$
Селектор	$\bar{\Theta}$ – «полу-оптимизация»	$\Theta(\Omega)$ – глобальная оптимизация	$\Theta(Q)$ – локальная оптимизация	
Типовая схема	Слепые блуждания (с селекцией посредством внешнего дополнения)	Слепой поиск (с селекцией посредством целевых ограничений): МПиО в узком смысле	Простейший случайный поиск	Адаптивный случайный поиск

4.3.4.1. Простейший случайный поиск (глубина памяти $\tau=1$)

Действительно, структура алгоритмов «простейшего» случайного поиска (например, описанный выше алгоритм с линейной тактикой либо его вариант с нелинейной) зависит от знака приращения целевой функции оптимизации $\Delta Q(t,t-1) = Q(X(t)) - Q(X(t-1))$, т.е. от последовательных во времени *двух* пар значений (поисковой переменной X и целевой функции $Q(X)$): $A(t,t-1) = A(X(t), Q(X(t)), X(t-1), Q(X(t-1)))$. Именно двух этих пар значений достаточно для

построения алгоритмом $A(t, t-1)$ (в соответствующем пространстве) простейших линейных прогнозов тенденции изменения целевой функции, и действий при поиске её экстремума в соответствии с этим прогнозом. Например, в зависимости от знака $\Delta Q(t, t-1)$ происходит выбор нужной ветви из двух возможных в алгоритме «простейшего» случайного поиска с «линейной» тактикой:

$$\Delta \mathbf{X}(t) = \begin{cases} a\xi & \text{при } \Delta Q(t, t-1) \geq 0; \\ \Delta \mathbf{X}(t-1) & \text{при } \Delta Q(t, t-1) < 0; \end{cases} \quad \text{где: } a - \text{ величина шага поиска (т.е. } |\Delta \mathbf{X}| = a), \text{ а } \xi - \text{ единич-}$$

ный (т.е. $|\xi| = 1$) случайный вектор, равномерно распределенный по всем направлениям пространства оптимизируемых переменных \mathbf{X} . Забегая несколько вперед, отмечу, что такая «линейная» тактика поведения – прямое повторение удачного шага – довольно характерна для поведения живых систем (хотя и не исчерпывает всего разнообразия используемых ими тактик).

Алгоритм «простейшего» случайного поиска, реализующий преемственность последовательных значений поисковой переменной \mathbf{X} , относится к классу методов *локальной* оптимизации.

4.3.4.2. Адаптивный случайный поиск (глубина памяти $\tau > 1$)

В свою очередь, вариант $\tau > 1$, т.е. возможность запоминания сразу *нескольких* пар значений (поисковой переменной \mathbf{X} и целевой функции Q), т.е. удлинение памяти о предыстории поиска – делает алгоритм более гибким и, следовательно, более эффективным. В частности, большой объем запоминаемой информации позволяет строить более сложные *нелинейные* прогнозы тенденции изменения целевой функции $Q(\mathbf{X})$. Поскольку нет никаких логических причин для ограничения теоретически возможной глубины памяти τ поиска, эта величина, по-видимому, может возрастать до весьма больших значений. Как следствие, предел совершенствования адаптивных алгоритмов поисковой оптимизации не просматривается ни в технических приложениях, ни в природе.

Алгоритм «адаптивного» случайного поиска, опирающийся как на преемственность последовательных значений поисковой переменной \mathbf{X} (что обеспечивает *локальность* поиска), так и на возможность прогнозирования рельефа целевой функции Q (что позволяет назвать его глобальную составляющую «регулярной», а реализуемое ею свойство поиска – «регулярной» *глобальностью*), следует отнести к классу методов *локально-глобальной* оптимизации.

4.3.4.3. Слепой поиск / слепые блуждания (глубина памяти $\tau = 0$)

Наиболее интересным с точки зрения основной проблемы настоящего раздела работы является противоположный вариант алгоритма A , с нулевой глубиной памяти $\tau = 0$, т.е. зависимости его только от *текущего* момента времени t : $A(t) = A(\mathbf{X}(t), Q(\mathbf{X}(t)))$. Как можно интерпретировать реализуемый на его основе оптимизационный процесс? Зависимость алгоритма $A(t)$ строго лишь от *текущего* момента времени t (а не от его *предыстории*, хотя бы и «вчерашней», «сиюминутной» и т.д.) эквивалентна возможности оперирования только с одной точкой в соответствующем пространстве (т.е. только с *одной* парой значений – поисковой переменной \mathbf{X} и целевой функции $Q(\mathbf{X})$). Поскольку из геометрии известно, что через *одну* точку можно провести *любое* число кривых *любого* вида (в том числе и их частного случая – прямых), возможность *прогнозирования* алгоритмом $A(t)$ будущего поведения целевой функции $Q(\mathbf{X})$ в такой ситуации отсутствует *по определению*.

Кроме того, нулевая память поисковой переменной \mathbf{X} однозначно определяет и характер поиска: он также *по определению* не может обладать *преемственностью* её последовательных значений. Тем самым для данного варианта поиска сразу же отсекается использование всей группы *регулярных* алгоритмов, существенным образом зависящих от информации о предыдущих значениях как поисковой переменной, так и оптимизируемой функции. И как следствие – на первый план выходит дополнительная ей группа алгоритмов, активно эксплуатирующая идею *случайности*. В рассматриваемом варианте поиск представляет собой так называемый «случайный наброс», который является неотъемлемым элементом любого алгоритма «глобального» поиска. Именно такой наброс поисковых точек в допустимую область значений переменной \mathbf{X} позволяет *в принципе* достигнуть глобального экстремума оптимизируемой функции $Q(\mathbf{X})$. Как следствие этого факта, можно утверждать, что *память поискового алгоритма нулевой глубины реализует свойство «вероятностной» глобальности поиска*, в то время как рассмотренные выше *память единичной глубины реализует свойство локальности поиска*, а *память, глубина*

которой превышает единицу, – комбинацию свойств локальности + «регулярной» глобальности (степень эффективности которой прямо связана с величиной глубины памяти) поиска.

Таким образом, поскольку последовательные значения \mathbf{X} не обладают преемственностью, и использование для селекции результатов поиска сравнения значений $Q(\mathbf{X})$ на смежных (хотя бы двух) шагах исключено, то и «вести себя» алгоритм случайного поискового наброса – как элемент контура оптимизации – теоретически может лишь одним из четырех альтернативных способов:

1) либо подчиняясь внешним влияниям на алгоритм A со стороны целевой функции $Q(\mathbf{X})$, которые должны поступать на него в ходе поискового процесса;

2) либо подчиняясь каким-то иным внешним влияниям на алгоритм A , не являющимся оценками целевой функции и замыкающими контур оптимизации лишь формально, но которые могут поступать на него в ходе поискового процесса (если, конечно, в принципе существует субъект, который может их задавать);

3) либо в соответствии с некоторой комбинацией первых двух альтернатив;

4) либо реализуя чисто гипотетическую ситуацию, когда налицо *только* процесс каких-то изменений переменной \mathbf{X} , а влияния на алгоритм A в ходе этого процесса вообще отсутствуют как таковые; тем самым этот алгоритм может функционировать только согласно некоторой, заранее обусловленной и отраженной в его структуре (случайной или даже регулярной) схеме, которая никак не связана с оценкой результатов его деятельности со стороны внешних по отношению к нему факторов (оценок целевой функции или иных влияний извне) – т.е. алгоритм A вырождается в способ организации *программного поведения* соответствующей системы.

Первая альтернатива приводит к представлению о первом варианте алгоритма поисковой оптимизации с нулевой глубиной памяти ($\tau=0$). Он должен содержать две необходимые составляющие:

- ❖ первая – это генератор поисковой переменной \mathbf{X} , реализующий такие её изменения (в области Ω допустимых её значений), которые обычно называют «случайным набросом» поисковых точек в допустимую область;
- ❖ вторая – это селектор Θ получаемого результата, опирающийся на единственный доступный параметр алгоритма, который может выступать в данной роли – систему целевых требований $H(\mathbf{X})$ и $G(\mathbf{X})$; то есть выход поисковой переменной \mathbf{X} за пределы допустимой для неё области Ω может трактоваться как пересечение ею «порога» селекции, с последующим исключением (элиминированием) данного поискового действия из протокола процесса оптимизации.

Таким образом, если полагать понятия «случайного поискового наброса» и «слепого поиска» в достаточной степени близкими, практически синонимами, то можно утверждать, что наименование «*слепого поиска*» наилучшим образом подходит к алгоритмам первой альтернативы (см. табл. 4.1). Нужно лишь отметить, что упомянутый выше «протокол» обычно ведут при технических приложениях подобных методов, а как это может выглядеть в природе? Ниже этот вопрос будет кратко рассмотрен.

Вторая же альтернатива базируется на понятии «*внешнего дополнения*» (введенном применительно к сложным системам Стаффордом Биром), которое по самому определению находится вне рамок рассматриваемой поисковой системы и по отношению к последней, в определенном смысле, эквивалентно «сверхъестественному влиянию». «Внешнему дополнению» достаточно принимать лишь два значения – «удача» либо «ошибка». Тогда необходимые составляющие поискового алгоритма, который здесь следует обозначить как \bar{A} , выглядят следующим образом (второй вариант поискового алгоритма с нулевой глубиной памяти ($\tau=0$)):

- ❖ первая – та же, что и в варианте первой альтернативы: генератор поисковой переменной \mathbf{X} , реализующий её случайные изменения – «случайный наброс»;
- ❖ вторая – это селектор $\bar{\Theta}$ получаемого результата, реализуемый здесь «внешним дополнением»; то есть *любые* значения поисковой переменной \mathbf{X} , в момент генерации которых внешнее дополнение дает сигнал «ошибка», будут расцениваться как неудачные и исключаться из протокола процесса «*полуоптимизации*» (название которой отражает очевидное: отсутствие в данном варианте естественного замыкания классического контура оптимизации – собственной внутрисистемной целевой функции), а при сигнале «удача» – расцениваться именно как удачные и включаться в такой протокол (см. рис. 4.1б).

Таким образом, для «*полуоптимизационных*» алгоритмов второй альтернативы можно предложить наименование «*слепых блужданий*», не смешивая их с ранее введенным (для первой альтернативы) понятием «слепого поиска» (см. табл. 4.1). Отмечу, что и здесь остается тот же вопрос: как может выглядеть подобный «протокол» не в технических приложениях, а в природе?

Третья альтернатива, формирующаяся как комбинация первых двух, представляет собой механизм, который при должной настройке может обладать наилучшими характеристиками его составляющих, и, тем самым, отражать более сложную моделируемую на его основе ситуацию, чем это доступно каждой из его составляющих в отдельности.

Наконец, четвертая альтернатива была отвергнута ранее как предельно вырожденная, делающая рассматриваемый процесс генерации флуктуаций X вообще «неоптимизационным», что полностью выводит нас за рамки проблематики настоящей работы.

4.3.5. Место МПиО в классификаторе поисковых методов оптимизации

Приведенная выше, в пункте 4.3.4, аргументация показывает, что термин МПиО может относиться только к одному типу (в худшем случае – его относят сразу к нескольким) из следующих четырех формально определенных классов методов случайной поисковой оптимизации. Это:

1) «слепые блуждания (с селекцией посредством внешнего дополнения)», с нулевой глубиной памяти ($\tau=0$) алгоритма \bar{A} поисковой «полуоптимизации»;

2) «слепой поиск (с селекцией посредством целевых ограничений)», с нулевой глубиной памяти ($\tau=0$) алгоритма A поисковой оптимизации;

3) «простейший случайный поиск», с единичной глубиной памяти ($\tau=1$) алгоритма A поисковой оптимизации;

4) «адаптивный случайный поиск», с глубиной памяти алгоритма A поисковой оптимизации, большей единицы ($\tau>1$).

К сожалению, результаты анализа, проведенного в подразделе 4.2, свидетельствуют о том, что на практике реализуется именно «худший случай»: различные (а иногда даже одни и те же) авторы применяют это понятие в самых разных смыслах, т.е. во всех четырех вышеперечисленных вариантах. Конечно, большинство (как показывает анализ) авторов всё же воспринимают и используют термин «МПиО» как «слепой поиск» по варианту № 2 (см. табл. 4.1). И с этой позицией нельзя не согласиться. Ведь в данном варианте МПиО решает главную задачу – нахождение «вероятностно-глобального» экстремума оптимизируемой функции, и притом, как это интуитивно и ожидается – простейшими средствами (правда, чем проще алгоритм, тем – в среднем – больше поисковых шагов для достижения цели ему потребуется). Но большинством в науке ничего не решается. Даже единичное использование этого термина в расширительной трактовке (о чем читатель может и не знать, по умолчанию предполагая его популярную узкую трактовку), – т.е. как аналога более сильных методов (локальной) оптимизации: такого, как «простейший случайный поиск», или даже как универсальный и весьма эффективный локально–«регулярно-глобальный» «адаптивный случайный поиск», – вносит большую путаницу в представления научной общественности о тех процессах, для описания и моделирования которых подобный метод и привлекается. В частности, это можно продемонстрировать на примере, рассмотренном в следующем подразделе.

Здесь же лишь сформулирую, как основной вывод настоящего раздела работы, свою точку зрения на перспективы применения термина МПиО: *из-за многозначности вкладываемого в него смысла от использования этого термина либо следует отказаться вообще, заменяя его использованием нужного из четырех вышеперечисленных терминов, либо при его использовании следует в каждом случае явно указывать, какой именно оптимизационный процесс (прежде всего – с какой глубиной памяти) подразумевается.*

«Наука в своем подъеме и даже, как я покажу, человечество в своем марше в настоящий момент топчутся на месте, потому что люди не решаются признать наличие определенного направления и привилегированной оси эволюции. Обессиленные этим фундаментальным сомнением, научные исследования распыляются, а у людей не хватает решимости взяться за устройство Земли»

Пьер Тейяр де Шарден

«Сегодня, когда закладываются основы теории ноосферы, теории, которая по своему смыслу должна объединить дисциплины, изучающие самые разные явления материального мира, очень важно выработать некоторый общий язык, охватывающий и процессы самоорганизации неживой (косной) материи, и развитие живой материи, и процессы общественной природы. Я думаю, что за основу может быть принят язык дарвиновской теории»

Никита Николаевич Моисеев

4.4. МПиО и моделирование биологической эволюции

4.4.1. Что называют «естественным отбором»

«**Естественный отбор** – основной движущий фактор эволюции живых организмов... Согласно Дарвину, естественный отбор – это “переживание наиболее приспособленных” организмов, вследствие которого на основе неопределенной (неадекватной воздействиям внешней среды) наследственной изменчивости в ряду поколений происходит эволюция... Значение естественного отбора не в выживании как таковом, а в том, что выжившие особи оставляют потомство» ([Северцов, БСЭ, 1972]).

«Основным или даже единственным движущим фактором эволюции является **естественный отбор**, основанный на отборе (селекции) случайных и мелких мутаций. Отсюда наименование этой теории – “селектогенез” (развитие на основе отбора)» ([Воронцов, 1999], стр. 458).

«Естественный отбор – процесс, посредством которого имеющие полезные свойства формы жизни способны приспособляться к изменяющейся окружающей среде, и тем самым выживать, давать потомство и передавать ему свои благоприятные свойства, которые тогда на протяжении веков накапливаются в популяции» [Chaisson, 2001]. «Под естественным отбором многие понимают некие негативные силы, воздействующие на индивида, особь, а точнее, на их совокупности, – то есть на тех, кто уже родился, растет (вырос), короче говоря, живет. Что ж, такой отбор – опять же образно, метафорически, – действительно есть, и его типы мы упоминали выше: отбор, во-первых, на выживаемость, во-вторых, на размножаемость и, в-третьих, на продолжительность жизни. Вот под этими типами отбора – отбора, которому подвержены живущие индивиды, – зачастую и подразумевают весь отбор. И делают принципиальную ошибку. Потому что это отбор далеко не весь и, между прочим, по эффекту (результату) не самый значительный. Давайте в этом убедимся, но сначала перечислим “недоучтенные” типы отбора. Это: отбор презиготный (отбор на стадии образования гамет), отбор зиготный, отбор эмбриональный, отбор пренатальный (дородовой), натальный (в период родов) и постнатальный (послеродовой). Вслед за этим – период младенчества (до годовалого возраста), и вот с данного момента, как многим думается, и выступает на авансцену Господин Отбор. А он, оказывается, выступил много-много раньше (только остался неразличимым в потемках) и принялся за свое мрачное, а с позиций природы – исключительно необходимое и полезное дело» [Травин, 1997].

Ю.В.Чайковский, задаваясь вопросом: «Что есть естественный отбор?», констатирует, что в это понятие вкладывают разный смысл: «Если оптимисты склонны применять этот термин как синоним любого неслучайного процесса (поэтому без колебаний применяют термины “разрывающий отбор”, “ценотический отбор” или даже “отбор на высшую организацию”), то пессимисты видят в отборе лишь “решето”. Однако аккуратное понятие отбора существует в теоретической химии и его можно с успехом использовать для наших целей. В комплексе реакций, протекающих в открытой каталитической системе, возможно саморазвитие, связанное с тем, что активность катализаторов может повышаться в ходе их работы; при этом, во-первых, появляются реакции с большими константами скоростей, а во-вторых, поток субстратов преимущественно перерабатывается именно этими реакциями, и более активные катализаторы вытесняют менее активные из процесса переработки субстратов. Последний факт называется здесь естественным отбором [Руденко, 1969]. Если имеет место автокатализ, то аналогия с эволюцией биологических систем достаточно полна, и это позволяет уточнить биологическую терминологию. Именно, **естественным отбором** будем называть процесс перераспределения источников существования между размножающимися единицами (клетками, организмами, группами организмов). Отбор действует **направленно**, если **направленно** изменяются внешние условия (здесь неясно, имеются ли в виду биогенные либо абиогенные воздействия – С.Г.), и действует на результат **направленного** процесса (наследования или химической реакции); **ненаправленные** процессы необходимы (случайные рекомбинации,

действие мутагенов или столкновение молекул реагентов), но не они являются объектами непосредственного действия отбора» ([Чайковский, 1976], стр. 155; подчеркнуто всюду мной – С.Г.).

По мнению Г.А.Заварзина, «...как организующее начало в стохастически возникающем разнообразии Ч.Дарвин предложил естественный отбор. Это *очень лукавое понятие* (курсив мой – С.Г.), которое объясняет целесообразность всего существующего, понимая под целью существование. Оно значительно шире понимания конкуренции за одну и ту же возможность существования, получившую впоследствии обозначение “экологической ниши”» ([Заварзин, 2001a], стр. 158).

А вот что пишет, например, Д.Кеньон: «Мы привыкли рассматривать естественный отбор как процесс, который обеспечивает выживание более подходящих вариантов из набора, в основном произвольно возникающего. Случайный характер мутаций – хорошо известный источник разнообразия, чрезмерно подчеркивается, вопреки представлению о том, что некоторые гены более расположены к мутациям, чем другие, а некоторые определенные пурины или пиримидины имеют только ограниченное число возможных мутантных форм (мы утверждаем, что отсутствует корреляция между вероятностью определенной мутации и необходимостью для этой мутации увеличивать соответствие *внешним условиям среды* {курсив мой – С.Г.})... На самых ранних стадиях предбиологической химической эволюции “отбор” не означал ничего другого, как проявление тенденций, присущих исходным материалам, самим взаимодействовать с энергией и с окружающей средой на основании общих законов. Концепция отбора в данном случае не применима совсем. “Предопределенная упорядоченность” – более удачный термин. По мере того как космическая эволюция приближалась к биогенезу, отбор в биологическом смысле должен был совершенствоваться. Здесь была решающей доклеточная стадия, поскольку изменчивость индивидуальных форм позволяла некоторым из них вести конкуренцию. Все же внутренние ограничения (! – С.Г.), вытекающие из свойств первичных полимеров, как и ограничения, проявляющиеся на уровне целых протоклеток, должны были быть так же важны, как протоотбор при переходе от протоклеток к клеткам. Нет оснований думать, что эти внутренние направляющие ограничения, имевшие такое важное значение на ранних этапах химической эволюции, прекратили свое влияние на более поздних стадиях биогенеза. Я беру на себя смелость утверждать, что эти ограничения должны были резко сократить возможные изменения в составе, структуре и реакциях протоклеток (именно так – С.Г.), но всё же среди допустимых (и, вероятно, предпочтительных) изменений были и такие, которые вели к возникновению жизни. Это означает, что протоклетки, которые обладали многими свойствами, аналогичными клеточным, появлялись с высокой степенью вероятности из близких предшествующих форм. “Поиск” среди широкого спектра возможностей не был случайным: он был заключен в узкие рамки (курсив мой – С.Г.). Протоотбор на этой стадии в основном корректировал общие принципы, обусловленные природой наиболее широко распространенных реакционноспособных элементов в космосе. Если этот анализ правилен, не придется сомневаться, что дальнейшее исследование легко сократит пробел между протоклетками и живыми организмами» [Кеньон, 1975].

Этот анализ настолько близок к представлениям предлагаемой концепции, что это вселяет дополнительный оптимизм! Правда, по ходу рассуждений Д.Кеньона следует сделать несколько замечаний. Прежде всего, по поводу термина «протоотбор»: он настолько похож на «отбор» в рамках псевдосупраконтура биологической метаэволюции (наиболее примитивного из всех возможных его форм – см. ниже, разделы 7 и 8), что просто просится быть формально определенным на этой основе. Что же касается «гарантии того, что какая-нибудь протоклетка могла приобрести достаточное усиление свойств, необходимых для жизни» [там же], то если не гарантия, то некоторая обоснованная точка зрения в поддержку этого проистекает из предлагаемой концепции: при интерпретации «достаточного усиления свойств» как реализации тенденции системы к экстремуму целевой функции энергетического характера. Что, кстати, дает и подсказку для проведения соответствующих экспериментальных исследований.

Далее, по поводу «неприменимости концепции отбора на ранних стадиях предбиологической химической эволюции» – это не совсем так! Трактую «отбор» несколько по-иному, т.е. как процедуру принятия («выбора») решения о дальнейшем направлении развития (на базе сравнения, как минимум, двух последовательных во времени значений *внутренней* для системы целевой функции энергетического характера), ориентированную на достижение экстремума (минимума или максимума) этой целевой функции, легко заметить, что в рамках этой трактовки и реализуется «предопределенная упорядоченность» Д.Кеньона. То есть «предопределение» здесь можно интерпретировать как изначальное существование перманентного стремления системы (в пространстве переменных своей специфической активности) к экстремуму своей целевой функции, а «упорядоченность» – как определенную *эквивинальность* такого процесса, т.е. высокую вероятность нахождения системы именно в окрестности такого экстремума.

Но все, что отмечает Д.Кеньон относительно роли внутренних ограничений, *полностью* соответствует представлениям об их роли в иерархическом механизме поисковой оптимизации! Ведь смысл его утверждения, выделенного мною выше курсивом, состоит отнюдь не в отрицании случайного поиска как такового: речь идет о замене понятия «случайного поиска» понятием «случайного поиска с ограничениями». Очевидно, что Д.Кеньон неформально вводит вполне кибернетическое понятие ограниченности поискового пространства – перехода от поиска в *гипершаре* (т.е. во всех теоретически возможных

направлениях) к поиску в *гиперконусе* (т.е. в ограниченном «пучке» направлений). На фоне этого, действительно смелого, прорыва, текстуальная оговорка о «неслучайности» поиска и не вполне оправданное в данном контексте определение рамок поиска как «узких» (которые в действительности могут быть различного размера, поскольку, как это отмечалось выше, являются переменной величиной, регулируемой структурами высших уровней интеграции в иерархии живого) выглядят мелкими и необязательными подробностями.

4.4.2. «Естественный отбор» и «приспособленность» с информатико-кибернетических позиций

Как уже упоминалось выше, обычно считают, что наиболее общее (и достаточно общепринятое) определение биологической эволюции по Ч.Дарвину – это триада: изменчивость, наследственность, естественный отбор (которую, однако, Ю.В.Чайковский характеризует как предложенную Геккелем «сверхпростую, а потому и сверхпопулярную формулировку дарвинизма» [Чайковский, 2003], стр. 103). Современный вариант эволюционной теории, базирующейся на дарвинизме – «синтетическая теория эволюции» (СТЭ). В работе [Воронцов, 1999] Н.Н.Воронцов дал её наиболее развернутое изложение, подытоживающее состояние проблемы. В частности, по его мнению «существует некая бесспорная сумма фактов, есть некоторые эмпирические обобщения, есть некоторые итоги предыдущего синтеза генетики и классического дарвинизма, которые кажутся бесспорными и на сегодняшнем уровне знаний, и которые никто из серьезных исследователей в настоящее время не пытается опровергнуть»:

1. Жизнь существует на Земле около 3,8-4 миллиардов лет (о возникновении жизни мы здесь не говорим, здесь много неясного!). Бесспорно то, что в первый миллиард лет (а скорее всего и два миллиарда лет) жизнь существовала только на прокариотном уровне, затем возникли эукариоты, среди них многоклеточные, и т.д.

2. Бесспорно, что в эволюции происходили приспособительные процессы, т.е. имел место адапциогенез (спорно, однако, все ли признаки возникли в результате адапциогенеза и всегда ли они адаптивны). Эволюционный процесс идет неравномерно и непрерывно.

3. Процесс адапциогенеза идет при участии естественного отбора.

4. Элементарной эволюирующей единицей является популяция.

5. Материалом для эволюции (путем отбора, или путем дрейфа генов, или за счет иных стохастических процессов) служат мутации и их комбинации (микро- или макромутации – вокруг этого идет спор).

6. Важнейшим событием в эволюции является акт видообразования, то есть возникновения двух (или более) нескрещивающихся множеств самостоятельных генофондов. (Как идет этот процесс – постепенно или внезапно, градуалистически или сальтационно, – вокруг этого идет дискуссия)» ([там же], стр. 470).

Нельзя сказать, что данный перечень содержит много материала, необходимого для адекватного моделирования биологической эволюции, но ряд важных моментов, которые можно взять за основу хотя бы самой простой её модели, здесь присутствует. Тем не менее, небезыntenно сравнить, а какова точка зрения на указанные вопросы самого Ч.Дарвина. Вот что он пишет в своей основополагающей работе: «Благодаря борьбе за жизнь вариации, как бы они ни были незначительны и от какой бы причины ни зависели, если только они сколько-нибудь *полезны* (курсив мой – С.Г.) для особей данного вида в их бесконечно сложных отношениях к другим органическим существам и физическим условиям жизни, будут способствовать сохранению этих особей и обычно унаследуются их потомством. Эти потомки будут в свою очередь иметь более шансов выжить, так как из многочисленных особей любого вида, периодически нарождающихся, остается в живых только незначительное число. Я назвал этот принцип, в силу которого каждое незначительное изменение, если только оно *полезно* (курсив мой – С.Г.), сохраняется, термином “естественный отбор”, для того чтобы указать этим на его отношение к отбору, применяемому человеком. Но выражение, часто употребляемое м-ром Гербертом Спенсером, – “переживание наиболее приспособленного” – более точно, а иногда и одинаково удобно» ([Darwin, 1859(2003)], стр. 73). И далее: «Сохранение *благоприятных* (курсив мой – С.Г.) индивидуальных различий и изменений и уничтожение вредных я назвал “естественным отбором”, или “переживанием наиболее приспособленных”» ([там же], стр. 89).

Я хочу здесь обратить внимание читателя на тот факт, что Ч.Дарвин первоначально употребил для оценки изменений (т.е. в наших терминах для селектора отбора) термины «полезные», «благоприятные» и «выгодные» ([там же], стр. 103), а не предложенный его последователем термин «переживание наиболее приспособленных», с которым он лишь согласился – причем, на мой взгляд, зря... Ведь последний термин – отнюдь не синоним терминов первой группы. Так, «полезность»/«бесполезность»/«вредность» – оценки, которые может давать (результатам собственных *внутренних* изменений) система как таковая. То есть в современных терминах – это *внутрисистемная целевая функция* (причем *экстремального типа*, поскольку полезность может иметь различную градацию), которая может быть задана для любой системы, в том числе для практически полностью *автономной*. Напротив, «приспособленность»/«неприспособленность» – оценки, отражающие результаты поведения некоторой системы в её

внешней специфической среде: т.е. это *функция, относящаяся к другой, более общей системе*, лишь частью которой является рассматриваемая. То есть для последней – это *внесистемная функция* (одновременно являющаяся для указанной более общей системы *внутрисистемной*).

И получается, что небольшое уточнение терминологии Ч.Дарвина (с которым он даже сам согласился!) «развернуло» её акцентуацию в совершенно ином направлении. И даже нельзя сказать, что в неверном! Поскольку идея *приспособленности*, или *адаптивности*, является центральной при рассмотрении живой природы: именно она выступает, с моей точки зрения, в качестве сверхзадачи системы природы. Но одно дело сверхзадача, а совсем другое – инструментарий, применяемый для её достижения: заменять одно другим чревато значительными недоразумениями (что и произошло). Именно подмена целевой функции при системном рассмотрении эволюции живого сразу же перевело максимальный уровень его интеграции с организменного на популяционный. Причем именно «перевело», а не «объединило», что было бы ещё приемлемо...

Таким образом, вместо того, чтобы сконцентрировать усилия на выяснении того, каким образом может быть формализовано упомянутое выше *внутрисистемное* понятие «полезности»/ «благоприятности»/«выгодности» для конкретных биологических объектов, и как оно может быть связано не только с экзогенными воздействиями на эти объекты, но и с их собственной *эндогенной активностью* (изменчивостью), основные свои усилия неодарвинисты направили на раскрытие понятия «приспособленности» как результата «борьбы за существование» различных биообъектов между собой, внесистемного для каждого из них в отдельности.

Но вот что пишет сам Ч.Дарвин: «Я должен предупредить, что применяю этот термин («борьба за существование» – С.Г.) в широком и метафорическом смысле, включая сюда зависимость одного существа от другого, а также включая (что ещё важнее) не только жизнь особи, но и успех в оставлении потомства» ([там же], стр. 74). А большинство его эпигонов предпочли интерпретировать эту «зависимость одного существа от другого» только как «борьбу» в узком смысле (от воздействий на условия существования «конкурентов» – угнетения посредством ограничения доступа или лишения пищи, воды, света и т.п., вплоть до физического уничтожения – убийства и иногда съедения), практически полностью игнорируя диалектическое дополнение этой зависимости – «содружество», «кооперацию», «симбиоз», «взаимопомощь», «сродство» и т.п. Лишь в последние годы на этот последний аспект широкой дарвиновской трактовки «борьбы за существование» стали все чаще обращать внимание.

Выполняли ли при этом упомянутые эпигоны, сознательно или подсознательно, некий социальный заказ, обосновывая социальные конфликты в современном им обществе параллелями с конфликтами в живой природе, Бог весть. Но многолетний застой в развитии эволюционных представлений (кстати говоря, об эволюции не только природы, но и общества) подобная позиция обеспечила вполне.

Возвращаясь к критике понятия «приспособленности», следует указать, что оно само по себе тавтологично: ведь если постулируется «выживание приспособленных», т.е. «выжил – значит, приспособлен», то получается, что отбор фактически идет по «выжившим». Например, Р.Докинз пишет: «Генофонд – это та среда, в которой ген находится долго. “Хорошие” гены отбираются вслепую как гены, выжившие в данном генофонде. Это не теория, это даже не факт, обнаруженный в результате наблюдения; такое утверждение – попросту **тавтология** (подчеркнуто автором – С.Г.)» [Dawkins, 1976 (1993)].

Следствие этого: как только инженер/программист приступает к реализации любой подобной модели, он неминуемо сталкивается с необходимостью как-то параметризовать, определить в модельных терминах эту самую «приспособленность». Так, например, описывая предложенную им имитационную модель эволюции MACROPHYLON, В.Ф.Левченко немедленно аппроксимирует понятие «приспособленности» с помощью суммы значимостей 25 свойств (каждое свойство может иметь от 2 до 9 градаций – признаков, которые могут принимать значения от 0 до 10), задаваемых для каждой моделируемой эволюционирующей популяции [Левченко, 1998]. Величина значимости задавалась им, исходя из общебиологических представлений: получается пусть качественная, но хорошо параметризуемая оценка. Другой пример: при построении модели возникновения «программ жизнедеятельности» одноклеточных организмов В.Г.Редько полагает, что «приспособленность» пропорциональна отношению длины жизненного цикла к общему числу ферментов в организме [Редько, 1998]. Или: при построении генетических алгоритмов, долженствующих отражать гипотетические особенности биологической эволюции, Д.Г.Воробьев предлагает вычислять приспособленность особи (вторичной структуры) в популяции как $f_i = e^{-\frac{F_i}{\Delta F}}$, где F_i – свободная энергия её вторичной структуры, $\Delta F > 0$ – эффективное энергетическое разрешение, то есть различие по энергии, при котором две структуры отличаются по приспособленности [Воробьев]. И т.д.

Имеется критика этого понятия и при рассмотрении его в ином ракурсе. Так, В.И.Корогодин пишет: «Достаточно подчеркнуть, что о “приспособленности” можно говорить только по отношению к *своей* эко-

логической нише, чтобы стала ясной неправомерность определения биологического прогресса через степень приспособленности» (см. [Корогодин,1991], стр. 127, и [Корогодин,Корогодина,2000], стр. 143).

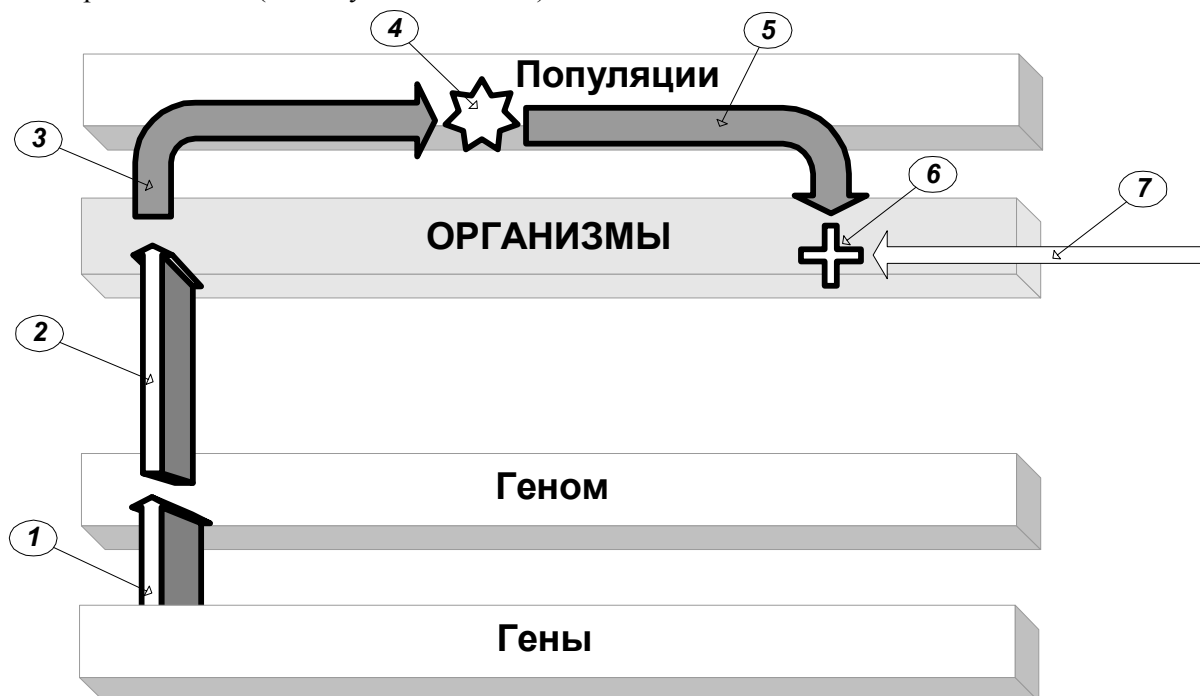
Отмечу в этой связи, что тавтологично именно понятие «приспособленности». Утверждение, что сама эволюционная концепция неodarвинизма является пустой, лишенной эмпирического содержания метафизической спекуляцией, так как является *тавтологией*, и, как таковая, не может производить эмпирически проверяемых предсказаний (см. [Авсюк,1997]), не представляется убедительным. Нужно просто заменить понятие «приспособленности» системы на некоторый её коррелят, отражающий измеряемую и эмпирически проверяемую сущность (самооценку *полезности*). В качестве такового можно использовать, например, энергетический критерий поисковой оптимизации биообъекта (в котором в качестве «полезных» рассматриваются энергозатраты на обеспечение его функциональной активности «вовне», а в качестве «бесполезных» – на его внутренние регуляционные нужды) – см. ниже, подраздел 5.3. Такой показатель можно в определенном смысле интерпретировать и как оценку «полезности» вариаций поведения биообъекта.

4.4.3. МПиО и реконструкция схемы «дарвиновского» механизма биологической эволюции

Итак, ранее было показано, что эффективный механизм/контур поисковой оптимизации должен включать, по крайней мере, три основных элемента:

- генератор *имманентной активности* поисковых переменных в контуре оптимизации;
- *селектор* получаемого результата, наличие которого однозначно определяет и присутствие в контуре оптимизации блока вычисления её *целевой функции*;
- наличие *памяти*, реализующей свойство адаптивности поискового алгоритма.

Кроме того, выше отмечалось, что точка зрения на эволюцию живой природы именно как на процесс «проб и ошибок» распространена достаточно широко. Напомню позицию В.М.Турчина: «Естественный отбор, конечно, работает... (природа всегда действует по методу проб и ошибок)» [Турчин,1978 (1977)]. Таким образом, возникает вопрос: каким образом можно отразить приведенные выше основные свойства эволюционного процесса в терминах МПиО как разновидности методов поисковой оптимизации? На рис. 4.2 я привожу собственную реконструкцию схемы «дарвиновского» механизма биологической эволюции, т.е. то видение этого механизма, которое, с моей точки зрения, могло бы быть у современных последователей Ч.Дарвина – «неodarвинистов», если бы они воспользовались для его интерпретации аппаратом МПиО (в его «узком смысле»).



Примечание: стрелки, направленные вверх, имеют структуру (отражают отношение) «многие - к одному», а вниз - «один - ко многим».

Рис. 4.2. Реконструкция механизма биологической эволюции по Ч.Дарвину.

Цифрами в кружках здесь обозначены: 1 – *имманентная активность*, т.е. «**изменчивость**», проявляемая генами; 2 – процесс онтогенеза (индивидуального развития организма), отражающий «**наследственность**»; 3 – проявление *специфического поведения* организмов в рамках соответствующих популя-

ций; 4 – *селектор* получаемого на базе конкурентной борьбы между особями результата, определяемый *целевой функцией* (в данном случае только ограничениями типа равенств и типа равенств), т.е. «**естественный отбор**» на базе критерия «**приспособленности**»; 5 – процесс сообщения отрицательного результата селекции на организменный уровень; 6 – процедура «изъятия» организма из популяции (его гибель или, как минимум, лишение возможности дать новое потомство); 7 – «*внешнее дополнение*», т.е. внешнее неспецифическое воздействие на организм (например, катастрофического характера: пожар, наводнение, извержение вулкана, резкое похолодание и т.п.), также приводящее к его устранению из популяции. Место для третьей важнейшей составляющей поискового оптимизационного механизма – *памяти* – в рамках описываемой *неодарвинистской* схемы мне найти не удалось (думается, это и невозможно).

Здесь необходимо отметить, что «*внешнее дополнение*» присутствует в селекторе данной схемы *не как замена* целевых ограничений, а именно *как дополнение* к ним. Этот фактор подразумевает и Ч.Дарвин, отмечая: «...уместно заметить, что все существа в значительной мере подвергаются и чисто случайному истреблению, почти или вовсе не имеющему отношения к естественному отбору» ([Darwin, 1859(2003)], стр. 95). Этот фактор также явным образом фигурирует и в контексте неодарвинистских представлений: например, как возможная изначальная причина процессов (катастрофического устранения части популяции), которые далее могут реализоваться в форме «принципа основателя» ([Green et al, 1996], стр. 287).

То есть, с моей точки зрения, из трех основных составляющих поискового оптимизационного механизма эволюции Ч.Дарвином гениально угадано примерно «полтора»:

- 1) введено (хотя и неявно) понятие «генератора активности», что следует из трактовки им понятия «*изменчивости*» (которое вполне можно интерпретировать в качестве «поисковой активности»), как фундаментального в его теории;
- 2) введен прообраз селектора – «*естественный отбор*» и прообраз целевой функции, правда, не экстремального типа, а лишь в форме целевых ограничений – выступающее в этой роли (неудачное с моей точки зрения) понятие «*приспособленности*».

Более того, исходя из этих положений, по-видимому, можно говорить о введении Ч.Дарвином *de facto* даже прообраза собственно контура оптимизации как такового.

Полтора, конечно, меньше необходимых трех, но ведь и сделано это было почти 150 лет назад, причем целиком на основе чисто эмпирических представлений! Ведь опереться на *системные теоретические* соображения Ч.Дарвин возможности не имел, поскольку его главная работа [Darwin, 1859(2003)] вышла в 1859 году (точную дату публикации – 24 ноября 1859 года – приводит С.Сковрон [Сковрон, 1965]), а первые достаточно полные публикации по теории систем – имеется в виду тектология А.А.Богданова (Малиновского), три тома которой впервые были опубликованы в Москве в 1912, 1917 и 1922 гг. [Богданов, 1989] (см., напр., [Малиновский, 1984], [Никаноров], [Разумовский: Система]) появились только через полвека с лишним после этого. Тем более он не мог опереться на *кибернетические* соображения: как известно, работы Н.Винера, У.Р.Эшби и др. были опубликованы почти через столетие после работ Ч.Дарвина (см. [Wiener, 1948, Ashby, 1956]). И, наконец, он никак не мог опереться и на теорию и практику поисковой оптимизации (точнее, на её важнейший раздел – «теорию случайного поиска»): Л.А.Растринин заявил об изобретении им способа и устройства «для автоматической настройки многопараметрических систем автоматического управления и регулирования на заданные условия» (на что им затем и были получены авторские свидетельства СССР [Растринин, 1959аб]) лишь 17 августа 1959 года, т.е. точно через столетие после публикации книги Ч.Дарвина. Впоследствии предложенный Л.А.Растрининым аппарат, в своих простейших вариантах прямо воспроизводящий дарвиновскую ненаправленную изменчивость, и получил свое название «случайный поиск».

Таким образом, на рис. 4.2 представлена базирующаяся на идеологии МПиО модель устранения особей из соответствующих популяций «естественным отбором» (ведущего к неоставлению ими потомства) в результате конкурентной борьбы между ними за какие-либо ограниченные ресурсы: «за выживание» = «за приспособление», как это и предполагается в дарвинистских теориях биологической эволюции. То есть понятие (оператор) «**естественного отбора**» здесь достаточно формально вводится как реализация результата деятельности *комбинации двух селекторов*, каждый из которых относится к своему методу оптимизации/«полуоптимизации», функционирующих *одновременно, параллельно и взаимно независимо*, а именно:

а) к методу «*слепого поиска (с селекцией посредством целевых ограничений)*», т.е. МПиО в узком смысле, как это и следует из неодарвинистской парадигмы: состояние «**приспособленности**», таким образом, интерпретируется как невыход объекта за пределы допустимой для него области Ω , поскольку нарушение этих ограничений приводит к элиминированию самого объекта, и

б) к методу «случайных блужданий (с селекцией посредством внешнего дополнения)», реализующего внешние *неспецифические* воздействия на объект.

Это отражают на схеме рис. 4.2 соответствующие позиции: 5 – селектор слепого поиска, 7 – селектор случайных блужданий и 6 – «точка» их приложения.

Понятно, что подобное определение «естественного отбора» существенно отличается от стандартного («естественный отбор – процесс выживания и воспроизведения организмов, наиболее приспособленных к условиям среды, и гибели в ходе эволюции неприспособленных...» [СЭС, *Естественный отбор*]). Что же касается интерпретации понятия «приспособленности», то, как представляется, это единственный способ совместить широко используемую неodarвинистами идеологию МПиО как эволюционного механизма и предложенную выше формализацию методов поисковой оптимизации.

С моей точки зрения, комбинация метода слепого поиска (МПиО в узком смысле) и метода случайных блужданий достаточно адекватно отражает именно *неodarвинистскую парадигму* представлений об эволюционном процессе. Целый ряд важных феноменов в эволюции живого на этой основе получает свое объяснение. Но подобный подход имеет два существенных недостатка, которые не позволяют такой комбинации методов адекватно отражать более широкий спектр наблюдаемых в биологии явлений и процессов, на что все чаще указывают специалисты. Это неудачный выбор неodarвинистами целевого критерия оптимизации живого, о чем упоминалось выше (т.е. отсутствие в нем третьей и ведущей его составляющей – критерия *экстремального типа*), и ограниченность возможностей алгоритма слепого поиска, не обладающего *памятью*. Оговорюсь ещё раз, что при расширенной трактовке МПиО как метода с памятью второй недостаток снимается, и адекватность таких моделей повышается.

Таким образом, факт разработки мною вышеприведенной реконструкции (рис. 4.2) не означает, что сам я согласен с подобным упрощенным представлением о биологической эволюции (разве что – в нулевом приближении...). Но, поскольку задачи настоящего раздела работы не предполагают подробного изложения альтернативной концепции иерархической поисковой оптимизации живого (это опубликовано в [Гринченко, 1979-2003] и будет сделано ниже, в разделах 6-8), приведу здесь для контраста – см. рис. 4.3 – лишь схему совмещения базирующейся на МПиО (в «узком» смысле) «неodarвинистской» модели биологической эволюции и её же иерархической оптимизационной модели.

Отмечу только, что последнюю адекватно описывает *механизм иерархического адаптивного случайного поиска*, в котором, помимо прочего, весьма широко представлены связи (штриховые нисходящие стрелки), отражающие именно *системную память* различных ярусов в иерархии, и, следовательно – совокупную память соответствующего поискового алгоритма.

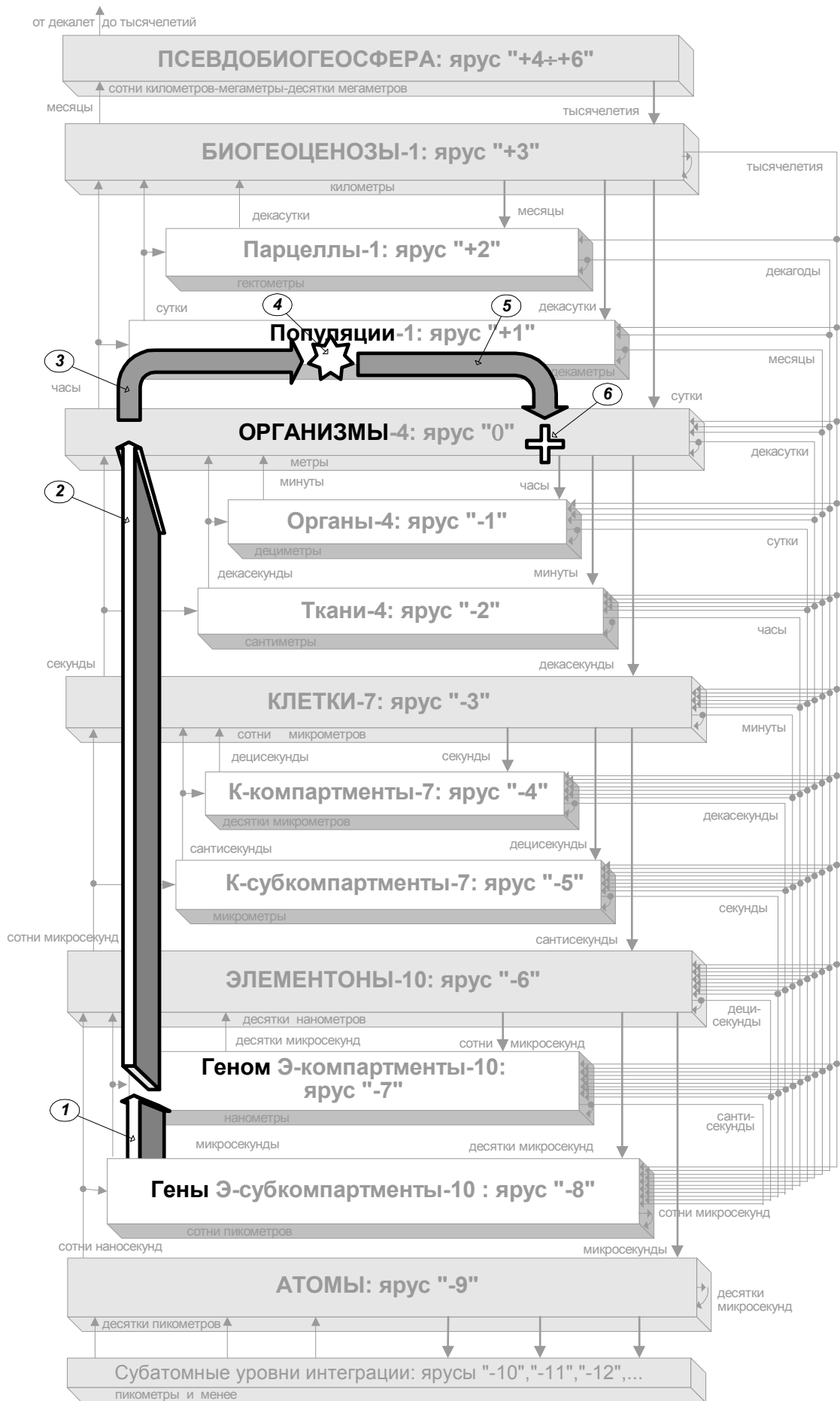
4.5. Являются ли дарвинизм и номогенез альтернативными научными теориями?

Обыденный ответ на этот вопрос, приведенный, по-видимому, практически во всех учебниках по теории эволюции: «Конечно, да, ведь это известно всем!» Ещё несколько лет назад и я должен был бы повторить за ними тот же ответ... [Гринченко, 2001к]. Но ряд соображений, представляющих собой следствия из предлагаемой концепции *иерархической поисковой оптимизации живого – парадигмы обобщенной адаптивности* (см. выше, подраздел 2.1) – указывает на то, что подобный ответ неверен. Является же он плодом определенного недоразумения, исторически возникшего в ходе дискуссий между биологами-эволюционистами, акцентировавшими свое внимание либо на той, либо на другой этих точках зрения. И прежде чем попытаться дать иной – вообще говоря, отрицательный! – ответ на данный вопрос, следует опять-таки разобраться с используемой терминологией.

4.5.1. О дарвинизме и номогенезе: обзор точек зрения

4.5.1.1. Итак, что же понимают под термином «дарвинизм»?

«**Дарвинизм**, материалистическая теория эволюции (исторического развития) органического мира Земли, основанная на воззрениях Ч.Дарвина» [Парамонов, Северцов, БСЭ, 1972]. Далее излагается весьма пространственный комментарий к воззрениям Дарвина на эволюцию. Советский энциклопедический словарь (СЭС), повторив приведенное в БСЭ определение, дает затем следующую формулировку: «Эволюция, по Дарвину, осуществляется в результате взаимодействия трех основных факторов: изменчивости, наследственности и естественного отбора. Изменчивость служит основой образования новых признаков в строении и функциях организмов, наследственность закрепляет эти признаки, под действием естественного отбора устраняются организмы, не приспособленные к условиям существования. Благодаря наследственной изменчивости и непрерывного действия естественного отбора организмы в процессе эволюции накапливают все новые приспособительные признаки, что в конечном итоге ведет к образованию новых видов. Таким образом, Дарвин установил движущие силы эволюции органического мира, объяснил процесс развития и становления биологических видов» ([СЭС, 1982], стр. 364).



Примечание: стрелки, направленные вверх, имеют структуру (отражают отношение) «многие - к одному», а вниз - «один - ко многим».

Рис. 4.3. Проекция реконструкции «неодарвинистской» модели биологической эволюции по МПиО на схему механизма иерархической поисковой оптимизации живого.

В недавно размещенном в Internet «Иллюстрированном энциклопедическом словаре» [Дарвинизм, 1998], продолжающем традицию одно- и двухтомных универсальных словарей издательства «Большая Российская энциклопедия», статья «Дарвинизм» почти дословно повторяет эту же статью в СЭС, но термин «материалистическая» применительно к «теории эволюции» опущен...

Наконец, согласно Internet-энциклопедии Яндекс «Глоссарий.ru» [Глоссарий.ru], «Дарвинизм – разработанная Ч.Дарвином теория эволюции органического мира на Земле путем естественного происхождения видов на основе изменчивости, наследственности, борьбы за существование и отбора».

Итак, можно считать, что наиболее общее (и достаточно общепринятое) определение эволюции по Дарвину – это триада: изменчивость, наследственность, естественный отбор.

С другой стороны, А.А.Любищев указывает: «При классификации эволюционных теорий надо полностью отказаться от именования отдельных теорий по авторам, так как последнее а) приводит к недоразумениям ввиду многозначности таких понятий, как дарвинизм, ламаркизм и т. д., в) уместно в философских и теологических, но не в естественно научных системах» [Любищев, 1966-1969]. Есть мнение, что: «...долгие годы дарвинизм в нашей стране был как бы тенью марксизма. Говорили – Дарвин, подразумевали – Энгельс... В результате советские люди привыкли к тому, что дарвинизм – это составная часть марксизма-ленинизма. А те, кому надоело быть советскими, вместе со всей марксистско-ленинской идеологией стали отвергать и дарвинизм» [Антонов, История...].

А вот что, например, пишут о трудностях неodarвинизма Г.П.Краснощеков и Г.С.Розенберг: «Существенный вклад в формирование системологии внес Чарльз Дарвин, обосновав принцип естественного отбора и дивергенции в эволюции. Более чем вековая дискуссия о значении естественного отбора в эволюции, была завершена признанием этого принципа как основополагающего в области саморазвития материи, в том числе и на молекулярном уровне. Но в рамках дарвиновской теории не была решена проблема появления новых признаков. Эта наиболее сложный вопрос биологии стал ареной борьбы между материалистическими и идеалистическими направлениями в естествознании. Пожалуй, первым исследователем, постулировавшим эволюцию как закономерное свойство самих систем к саморазвитию, был Л.С.Берг (1922). Он полагал, в противовес господствующим представлениям дарвинистов, что "...создание все более и более совершенных форм есть имманентное свойство живой природы", что основой является "...внутреннее начало, лежащее в самих организмах, а не привносимое путем соединения частей и воздействий внешнего мира". Эти представления до сих пор не получили широкого признания. Согласно современной синтетической теории эволюции, в основе её лежит накопление случайно возникших под влиянием повреждающих факторов среды повреждения наследственного аппарата. Но такой механизм не универсален (Воронцов, 2000) и тем более он не может быть распространен на предбиологические этапы эволюции, что сужает рамки эволюции организменным уровнем организации материи» [Краснощеков, Розенберг, 2001].

Подробный анализ дарвинизма и его развернутую критику дает К.Е.Михайлов. В частности, он отмечает: «Ахиллесова пята Дарвинизма в плане эмпирической значимости учения – учение о напряженной непрекращающейся конкуренции (здесь и ниже выделено цитируемым автором – С.Г.). В отличие от многих своих последователей Дарвин понимал, что факт увеличения силы наследования в поколениях ставит его учение в "критические условия", так как в этом случае "выход" эволюирующей формы за пределы материнского вида (процесс очень медленного приспособления к среде путем накопления ничтожно малых отклонений) возможен только при крайней напряженности и длительной неослабляемости борьбы за существование в одном и том же направлении. Н.Я.Данилевский считал это условие самым слабым местом в теории Дарвина, т.к. этот пункт в принципе проверяем и его универсальное соблюдение должно быть корректно продемонстрировано сторонниками теории» [Михайлов, 1995]. констатирует: «Основные представления современного дарвинизма об эволюции организмов основываются на двух идеях: идее о возникновении случайных мутаций в наследственном аппарате, приводящих к изменению организма, и идее последующего отбора, который, по Дарвину, состоит в том, что организмы с новыми, но неудачными признаками, вымирают, с удачными – выживают. То, что такой механизм существует и действует, видимо, можно считать доказанным. Вызывает, однако, большое сомнение достаточность (курсив мой – С.Г.) дарвиновского механизма эволюции для объяснения процесса возникновения полезных признаков, многие из которых, как писал Л.И.Блохинцев, больше "похожи на изобретательство"» [Карпенко, 1992].

4.5.1.2. А что же понимают под термином «номогенез»?

Формулировки в БСЭ и в СЭС практически совпадают: «**Номогенез** (от греч. νόμος – закон и ...генез), идеалистическая (! – С.Г.) гипотеза, согласно которой эволюция организмов осуществляется не на основе естественного отбора, а на основе неких внутренних закономерностей, в частности на якобы изначально присущей всему живому целесообразности реакций на внешние воздействия. Эти закономерности целенаправленны в сторону усложнения морфофизиологической организации в живой природе. Выдвинута Л.С.Бергом (1922) и противопоставлена им дарвинизму» [Яблоков, БСЭ, 1974], [СЭС, 1982].

Электронный словарь EDIC.RU дает значительно более сдержанную и конструктивную формулировку: «**Номогенез**, концепция биологической эволюции как процесса, протекающего по определенным внутренним закономерностям, несводимым к воздействиям внешней среды. Теорию Н. и сам термин предложил в 1922 Л.С.Берг. В отличие от Ч. Дарвина (см. **Дарвинизм**) Берг полагал, что наследственная изменчивость закономерна и упорядочена (например, гомологическими рядами), а естественный отбор не движет эволюцию, но лишь «охраняет норму»; что всему живому присуща изначальная целесообразность реакций на воздействие внешней среды, развитие же совершается за счёт некоей независимой от среды силы, направленной в сторону усложнения биологической организации. Позднее идеи Н. развили А.А.Любищев и С.В.Мейен» [EDIC.RU].

Приведу ещё одно высказывание А.А.Любищева. В работе [Любищев, 1971] он пишет: «Теперь намечается синтез: Вселенная не хаос, а Космос (Вейль); эволюция основана не на борьбе хаотически возникающих изменений, а на имманентном законе эволюции и на наличии подобного сознанию творческого начала. Шаги в этом направлении делали К.Э. фон Бэр, С.Майварт, А.Келликер, С.И.Коржинский, Э.Коп, К.К.Шнейдер, А.Бергсон, Л.С.Берг, П.Тейяр де Шарден, О.Шиндевольф и мн. др.; рать антидарвинистов не так мала, как думают, и это неудивительно. Такое простое явление, как траектория артиллерийского снаряда, зависит от ряда факторов – направление ствола, начальная скорость, земное тяготение, сопротивление воздуха, влияние ветра и вращение Земли. А в эволюции ортодоксы пытаются видеть один ведущий фактор – естественный отбор». То есть по А.А.Любищеву эволюция – это «...осуществление начал, заложенных в самом развивающемся существе» ([Любищев, 1982], стр. 135).

Вот что пишет о «позитивном содержании номогенеза» Н.А.Мещерякова в своем подробном его анализе: «Дарвинизм знает лишь одну детерминанту эволюционного процесса. Это естественный отбор. *“Отбор, несомненно, является единственным и достаточным фактором, вызывающим эволюционный процесс [Тимофеев-Ресовский Н.А, Воронцов Н.Н., Яблоков А.В. Краткий очерк теории эволюции. М.: Наука, 1977, стр.106]”*. Номогенез открывает вторую сторону, вторую детерминанту, не менее важную, способную высветить внутреннюю активность живого и сделать первый шаг к постижению эволюции в её закономерной направленности. Этой детерминантой является содержащаяся внутри организма и неизвестной природы сила, своего рода эволюционная идея, некое нераздельное целое, движущее и организующее эволюционный процесс. Если не считать нескольких вскользь брошенных фраз относительно природы внутриорганизменной силы, по существу не имеющих органической связи с концепцией в целом и существующих в книге, видимо, лишь как дань “естественнонаучному происхождению” автора (*“Природа этих закономерностей, очевидно, не статистического характера {а динамического, подобно законам, управляющим обратимыми процессами, каково тяготение, электрические и механические колебания, акустические и электромагнитные волны}” [Берг, 1977], стр. 310; “Есть внутренние, конституционные, заложенные в химическом строении протоплазмы силы, которые заставляют организм варьировать в определенном направлении” [там же], стр.160*), то идейное родство номогенеза с идеализмом не вызывает сомнений. Ощутив это, естественник сразу же теряет интерес к номогенезу, а, следовательно, и к тому, что составляет момент его бесспорной истины. Именно эта истина возводит закономерное развитие к внутренним, эндогенным факторам биологической (или любой другой) формы организации. Целое, или морфа (тип, образец, логический аналог аристотелевской формы, платоновской идеи) есть основная детерминанта формообразования, все закономерности которого заданы целым и в том или ином виде в этом целом содержатся. Это и есть та частичная истина номогенеза, которая подлежит обоснованию. Частичность её связана с полным игнорированием внешнего мира, который оказывается лишь материалом, вовлекаемым в процесс эндогенного формообразования. Уже в новейшей биологии эта же самая проблема направляющей роли внутриорганизменного целого в эволюции возникает в связи с введенным Уоддингтоном понятием креода [Уоддингтон К. Основные биологические концепции // На пути к теоретической биологии. 1. Прологомены. М.: Мир, 1970, стр. 21], [Waddington C.H. The Strategy of the Genes. L.: Allen und Unwin, 1957, p. 32], обозначающим устойчивое (канализированное) развитие. *“Понять природу механизмов, определяющих возникновение креода, важно потому, что креод – это попросту самое общее описание так называемого целенаправленного биологического процесса. Природа таких процессов всегда составляет одну из важнейших проблем теоретической биологии” [Уоддингтон К. Основные биологические концепции // На пути к теоретической биологии. 1. Прологомены. М.: Мир, 1970, стр. 22] (...)* Основная причина отвержения номогенеза позитивистски ориентированным естествознанием заключается в невозможности дать эмпирическую интерпретацию «целого» как внутренней определенности (“идеи”) биологической организации, а, следовательно, и главного эндогенного фактора эволюционного процесса» [Мещерякова, 2001], но и внутренних ограничивающих (т.е. канализирующих) факторов в эволюции. Так, Д.Кеньон указывает, что последнее «отмечалась некоторыми авторами [von Bertalanffy L. Problems of Life. N.Y. Wiley, 1952], [Whyte L.L Internal Factors in Evolution. N.Y., Braziller, 1965]. По мнению Хендерсона, для объяснения хода эволюции недостаточно естественного отбора, не менее важны ограничения, вытекающие из химических и физических свойств живой материи [Henderson L.J. The Fitness of the Environment. N.Y. Macmillan, 1913, С.312]» [Кеньон, 1975].

Тем не менее, сегодняшнее место номогенеза среди «официально» принятых теорий эволюции хорошо демонстрирует следующая цитата: «Представление о потенциале эволюции, заложенной в геном

подобно какой-то невероятной, неведомо кем и когда созданной программе развития вида на века и тысячелетия вперед, очень близко к теории номогенеза Л.С.Берга, теории, считающейся до сих пор идеалистической, а потому, разумеется, неприемлемой и не подлежащей серьезному рассмотрению» ([Карпенко, 1992], стр. 281).

4.5.1.3. Об «альтернативности» этих эволюционных теорий

Большинство специалистов в области эволюционной теории, которые высказываются в печати по данному вопросу, предпочитают рассматривать дарвинизм (и его развития, отвергающие идею направленности эволюции) и номогенез (и его развития, базирующиеся на данной идее) как альтернативные теории (см., напр., [Московский, 1997]). Подобное отношение, естественно, попало в учебники и учебные программы. Например, программа курса "Концепции современного естествознания" (для гуманитариев широкого профиля РГГУ) прямо утверждает подобную точку зрения: «Эволюция жизни по Дарвину и основные его *альтернативы* (курсив мой – С.Г.) – ламаркизм, номогенез, нейтралистская эволюция. Их сочетание сегодня. Синтетическая теория эволюции (от организма к популяции). Эволюция как преобразование разнообразия. Место эволюционной теории Дарвина в культуре XIX-XX вв.» [Липкин, 2000] (справедливости ради отмечу, что официально утвержденный и действующий на территории России документ [Обязательный минимум...] вообще не содержит даже упоминания об альтернативных теориях эволюции, ограничиваясь ссылками на Дарвина и СТЭ).

А есть ли мнения о непротиворечивости, сочетаемости, взаимной дополнительности указанных концепций эволюции? Оказывается, есть. Приведу мнение С.Э.Шноля: «Противопоставление эволюции в результате естественного отбора и эволюции, как реализации определенных закономерностей совершенно неверно. Закономерность эволюционных траекторий – обязательное следствие, а не противоречие дарвинизму (...) при этом речь идет не о таинственных “внутренне присущих системе” законах, а о физических, химических, биологических, доступных рациональному анализу закономерностях» ([Шноль, 1979], стр. 16).

Или цитату из обстоятельной статьи В.В.Жерихина и А.С.Раутиана: «Ниже эволюция понимается в биологическом смысле как процесс спонтанного приобретения системой необратимых и устойчиво воспроизводящихся отклонений от прежней нормы индивидуального развития (а тем самым и дефинитивной организации). Норма складывается как продукт филогенетической истории в ходе множества эволюционных выборов, совершенных предковыми системами в филогенетическом прошлом, и несет черты приобретенных предками адаптаций. Воспроизведение организменной нормы в ряду поколений обеспечивается консервативным генетическим аппаратом, онтогенетическими механизмами развертывания и реализации генетических “инструкций” и популяционными механизмами, поддерживающими в определенных пределах баланс генных частот. Необходимо отметить, что и в биологии термин “эволюция” применяется в различных смыслах. Связь возникающих при этом проблем с *языком описания процесса* (курсив мой – С.Г.) осознается редко, и большей частью они считаются содержательными; в результате возникают длительные, ожесточенные, но совершенно бесплодные дискуссии о том, какая модель эволюции лучше соответствует действительности. Так, традиционно говорят об эволюции органа, ткани, структуры или функции. Сам по себе орган или функция не воспроизводится: их воспроизводство возможно лишь постольку, поскольку воспроизводит себя организм, которому они принадлежат; не имеют они и собственной генетической программы, которая могла бы эволюционно меняться. Но в таком случае современная биологическая эволюционная парадигма к их изменениям попросту неприменима. Не случайно анализ поведения отдельных морфологических структур часто приводит выдающихся ученых (достаточно вспомнить Л.С.Берга, А.А.Любичева и С.В.Мейена) к резкой критике моделей, связывающих биологическую эволюцию с действием отбора (селектогенетических). Действительно, понятие отбора как дифференцированного размножения заведомо лишено смысла применительно к не размножающимся объектам. Отбор (вопреки распространенным, но крайне неточным и вводящим в заблуждение формулировкам) не происходит ни по длине ног или крыльев, ни по окраске, ни по толщине раковины; он вообще не происходит ни по какому признаку кроме одного-единственного – числа потомков, достигших репродуктивного возраста и в свою очередь успешно размножившихся. Корректная же теория, описывающая поведение морфологических структур во времени, по-видимому, должна быть существенно номогенетической (изменения частей подчиняются законам целого), и *дискуссия между сторонниками номогенеза и дарвинистического подхода основана на непонимании того, что эти концепции дополнительны, а не взаимоисключающи* (курсив мой – С.Г.)» [Жерихин, Раутиан, 1997]. Здесь особенно важна сама постановка вопроса о необходимости выработки адекватного языка описания процесса эволюции.

Подобные точки зрения не единичны: даже в популярном научном издании можно встретить публикацию, также утверждающую позицию, что «дарвинизм и номогенез — не альтернативные теории эволюции, а описание разных этапов единого эволюционного процесса» [Багоцкий, 1998]. Но все такие работы, верно оценивая проблему «в общем», в том числе и с философских позиций, с моей точки зрения значительно сдержаннее в плане формулирования конкретных рекомендаций относительно того, *как именно* должны сопрягаться данные направления в теории эволюции живого.

Последнее иллюстрирует, в частности, высказывание А.Кобринского: «Нам кажется, что все существующие гипотезы, относящиеся к путям и возможностям эволюционных преобразований, страдают односторонним подходом к проблеме, заключающемся в том, что рассматривается сам факт морфологического изменения и предполагаемое соответствующее влияние внешней среды, и, исходя из этого плоскостного подхода, фантазируется та или иная возможность, когда сущность явления заключается в том, чтобы ответить на коренной вопрос – что происходит с изменяющимся организмом внутри, каков порядок эволюционного преобразования – изменение внешнего воздействия (условий среды обитания) и в результате последующее приспособительное изменение организма, или, как мы предполагаем, существует третий фактор – промежуточный и самый важный – процесс реагирования организма, который необходимо рассматривать в самой его материальной сущности?» [Кобринский].

Или позиция Ю.И.Чайковского: «Сложилась досадная традиция противопоставлять концепции. При этом выпадает из поля зрения их существенное сходство. Например, ламаркизм и дарвинизм многие считают антагонистами, хотя они основаны на принятии общего тезиса – *непрямого действия* (здесь и далее курсив автора – С.Г.) окружающей среды на свойства организмов. В ламаркизме это – влияние упражнения органа на его развитие, а в дарвинизме – выживание более приспособленных. Оба учения ввели свой исходный тезис как чисто умозрительный постулат. Аналогично, ламаркизм и номогенез близки принятому тезису о самодовлеющем характере *прогресса* (тогда как дарвинизм едва касается его, полагая его одним из следствий приспособления к среде {*примечание автора: Тимофеев-Ресовский в своей последней эволюционной статье [Природа, 1980, № 9] признал, что дарвинизм следует дополнить принципом прогресса, но остался в этом одинок*}), а дарвинизм и номогенез одинаковы в том отношении, что игнорируют активность особи – она в этих учениях не живет, а лишь предъясвляет свои заранее данные качества (весьма любопытное замечание! – С.Г.). Нужна теория, берущая из прежних все нужное, и в то же время теория единая, целостная. Прежде всего, она должна ясно указывать источник своих постулатов» [Чайковский, 2003], стр. 176).

С моей точки зрения, путь к преодолению этих проблем – *синтез* дарвинизма и номогенеза Л.С.Берга и его последователей, причем синтез именно на базе предлагаемого представления об эволюции как о процессе поисковой оптимизации живого по энергетическим критериям на биогеоэкологическом и Биосферном уровнях его иерархии, которая необходимо учитывает системную память на всех уровнях интеграции живого (т.е. концепции *иерархической поисковой оптимизации системы живого*). Причем синтез, включающий адекватные данной концепции положения иных эволюционных теорий (например, «Ламарк видел основной способ образования приспособлений в *активности* (курсив мой – С.Г.) особей» [там же], стр. 51, «у Жоффруа де Сент-Илера отбору подвергаются – и в этом суть жоффруизма – не случайные отклонения, а результаты целесообразной реакции организма на изменения среды» [там же], стр. 66, и т.п.). Именно *объединение данных теорий эволюции в общую теорию на базе информатико-кибернетических (оптимизационных) представлений* дает возможность с единых позиций объяснить многочисленные эмпирические факты, часть из которых противоречат дарвинизму, а часть – номогенезу. Например – необъяснимого теоретиками неodarвинизма возникновения мутаций, «нейтральных» с точки зрения так называемых «приспособительных признаков» биообъекта, но вполне действенных для продвижения его по пути «энергетического совершенства». Или – так и не выявленного теоретиками номогенеза материального носителя «якобы изначально присущей всему живому целесообразности реакций на внешние воздействия» [СЭС, 1982] – после уточнения понятия «цели».

4.5.2. Об информатико-кибернетическом моделировании процессов эволюции

Сразу же сформулирую свою позицию: *вышеперечисленные трудности и проблемы в построении современной теории эволюции могут быть преодолены лишь при отказе от изучения собственно проблемы «эволюции» живого как таковой, и переходе к построению и изучению более общей проблемы – универсальной модели механизма функционирования живой природы в целом.*

Последнее возможно, с моей точки зрения, на базе использования соответствующего языка его описания, а именно – современного *развитого* информатико-кибернетического языка, оперирующего не только с простейшими понятиями (такими, как «обратная связь», «контур управления», «вход», «выход», «черный ящик» и т.п.), но и с более агрегированными понятиями (такими, как «поисковая оптимизация», «целевая функция оптимизации», «алгоритм случайного поиска», «алгоритм адаптивного случайного поиска» и др.) [Гринченко, 1999a]. Данный язык, выступая в качестве метаязыка [Лотман, 1992] по отношению к языку биологическому, и позволяет провести необходимые синтез и анализ. Интересующая нас сейчас проблема «эволюции» тогда выступит как проявление жизнедеятельности данного универсального механизма (забегая вперед, отмечу, что в рамках подобного подхода достаточно строго определяются и такие понятия, как «приспособленность», «направленность» и «канализируемость» эволюции).

Исходя из этой позиции, и построю дальнейшее изложение. Прежде всего, поставлю вопросы: «Каково состояние данной проблемы на сегодня? Используются ли подобный либо близкий подходы другими авторами?» Ответ будет утвердительный, но требующий уточняющих пояснений.

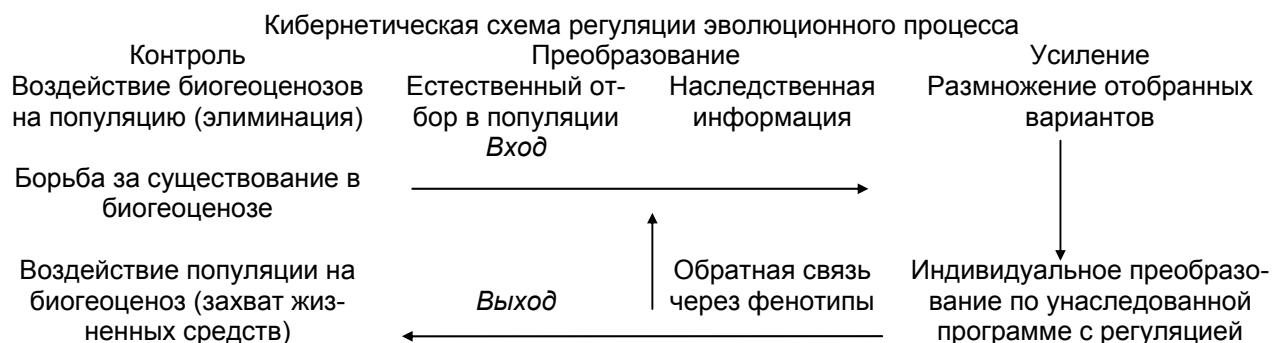
4.5.2.1. Литературные данные

Итак, «стык» информатики, кибернетики и теории эволюции (кстати, так же, как и «стык» информатики, кибернетики и биологии вообще) разрабатывается в указанном плане с двух «сторон». Как представляется, наибольшего развития получили усилия специалистов в области технических наук (будем далее называть их для краткости «инженерами») по использованию тех или иных биологических фактов, соображений, теорий и т.п. для создания новых технических устройств, эвристических (программных и математических) алгоритмов и др. Эти многочисленные разработки традиционно относятся к широко известным областям бионики и биологической кибернетики. Если сузить рассматриваемую область до эволюционной тематики, то необходимо ещё раз указать на работы (ранее упомянутые в пункте 4.3.2) по «эволюционному моделированию» [Fogel *e.a.*, 1966; Букатова, 1979, 1987; Букатова и др., 1991], по эволюционирующим вероятностным автоматам с адаптацией [Мухин и др., 1973], по «генетическим алгоритмам» [Holland, 1975], «генетическому программированию» [Koza, 1992], и др. Очевидно, что для получения технического эффекта – иногда! – достаточно самых элементарных соображений о соответствующем базовом биологическом процессе или явлении. Поэтому данное направление исследований, вообще говоря, не претендует на соответствие структур полученных технических решений «истинным» структурам их биологических прототипов, вопрос об их адекватности не ставится.

Но сейчас нас интересует как раз обратный подход: когда инженеры обращаются к биологической проблематике не со своими «эгоистическими» потребностями, а, наоборот, выдвигают – на своем языке и на базе своих технических и математических знаний – предложения по синтезу моделей биологических объектов и процессов, адекватно описывающих имеющиеся эмпирические факты и данные, с целью их использования именно в биологической области знания. Правда, иногда в роли таких инженеров выступают и сами биологи, владение которых технико-математическим языком, конечно, менее свободно...

Первой такой работой можно считать создание в 50-х–60-х годах биологом И.И.Шмальгаузенем теории биологической эволюции как саморегулирующегося процесса и кибернетической модели эволюции [Шмальгаузен, 1968]. Конечно, эта модель предельно проста, но если вспомнить, что её первые варианты были опубликованы ещё в 1958 году, когда сама кибернетика как наука только-только реабилитировалась от политических обвинений, полученный результат трудно переоценить. Итак, И.И.Шмальгаузен отмечает, что и в исторических преобразованиях проявляется действие тех же гомеостатических механизмов и сама эволюция оказывается регулируемым процессом непрерывной адаптации (курсив мой – С.Г.). Он пишет: «В целом регулирующий механизм эволюции популяции [Шмальгаузен И.И. Регулирующие механизмы эволюции // Зоол. ж., 1958, том 37, С.9] может быть представлен в виде следующего цикла:

1. Борьба за существование внутри биогеоценоза. Воздействие биогеоценоза на популяцию путем прямого и косвенного истребления её особей (входной канал связи).
2. Сравнительная оценка вариантов, т.е. фенотипов, при этом истреблении и в дальнейшем размножении. Естественный отбор фенотипов внутри популяции (преобразование популяции, а следовательно, и её наследственной структуры).
3. Спаривание и размножение отобранных особей. Увеличение концентрации соответствующих генов в популяции (передача и усиление прямой, т.е. наследственной, информации).
4. Индивидуальное развитие по унаследованной программе с прямой регуляцией. Реализация фенотипов (преобразование наследственной информации в обратную, фенотипическую).
5. Воздействие популяции на биогеоценоз путем захвата жизненных средств (выходной канал связи со средой, несущий информацию о состоянии популяции через активную жизнедеятельность её особей). Борьба за существование внутри биогеоценоза (контроль) (...)



Этот «кибернетический» цикл является лишь перефразировкой дарвиновского понимания эволюции» ([Шмальгаузен, 1968], стр. 177).

Конечно, выявить контур саморегуляции в данной схеме можно. Другой вопрос, насколько адекватно использование именно подобного элементарного контура для решения столь сложной проблемы. И,

тем не менее: в предисловии к сборнику работ И.И.Шмальгаузена [Шмальгаузен, 1968] редакторы этого сборника Р.Л.Берг и А.А.Ляпунов пишут (30 июля 1966 года): «Переводя теорию Дарвина на язык кибернетики, И.И.Шмальгаузен показал, что само преобразование органических форм закономерно осуществляется в рамках относительно стабильного механизма, лежащего на биогеоэкологическом уровне организации жизни и действующего по статистическому принципу. Это и есть высший синтез идеи эволюции органических форм с идеей устойчивости вида и идеей постоянства геохимической функции жизни в биосфере. Так воедино оказались слитыми и вместе с тем поднятыми на новый современный уровень концепции Кювье, Дарвина и Вернадского» [Берг, Ляпунов, 1968]. На момент написания предисловия это мнение совершенно справедливо. Даже и сейчас, при уточнении термина «статистический принцип» (вернее, конкретизации его наполнения), и введения в рассмотрение, помимо биогеоэкологии, и Биосферы, такая формулировка останется верной. Но, и к сожалению, как справедливо отмечает А.П.Назаретян, «...если И.И.Шмальгаузен широко использовал концептуальный аппарат кибернетики, то другие эволюционисты, не будучи знакомы с этим аппаратом, работали в иных терминологических схемах» (см. [Назаретян, 1991], стр. 79).

Другой подобной моделью можно считать математическую модель биологической эволюции Растринина-Маркова, учитывающую прижизненную адаптацию. Они указывают, что «в настоящее время не представляется возможным указать единый критерий эволюционного прогресса» [Марков, Растринин, 1977], стр.96). Интересна разработка В.Ф.Левченко, базирующаяся на парадигме авторегуляции или автоканализации Биосферной эволюции [Левченко, 1998]. Близкий к кибернетическому подход к пониманию процессов прогрессивной эволюции живого с позиций термодинамики неравновесных процессов и принципа наискорейшего спуска (т.е. оптимизационного метода) развивает А.И.Зотин [Зотин, 1999].

По мнению же В.Эбелинга, А.Энгеля и Р.Файстеля, «дарвиновский принцип эволюции – выживание наиболее приспособленного вида – может быть интерпретировано как задача оптимизации (! – С.Г.): при заданных экологических краевых условиях определить тот вид (или то семейство видов), который реализует максимальную индивидуальную или коллективную частоту самовоспроизведения (? – С.Г.)» [Ebeling e.a., 1990(2001)], стр. 242).

В свою очередь, В.В.Жерихин и А.С.Раутиан формулируют соответствующую задачу перед кибернетиками, констатируя, что: «...эволюционная теория в наши дни ещё не дает ответа на вопросы о том, закономерна ли видимая направленность эволюции живого вещества, существует ли целесообразность или целенаправленность, куда направлено развитие, каковы критерии, задающие направление. Тем не менее, мы можем говорить о некой интуитивно понимаемой *эффективности* (курсив мой – С.Г.) последовательно возникающих биологических систем разного ранга. В связи с этим появляется возможность считать послекризисные состояния систем в целом более эффективными, хотя критерии этой эффективности ещё предстоит сформулировать» [Жерихин, Раутиан, 2000]. Что в данной монографии и предлагается.

Среди такого, как видим, довольно ограниченного круга попыток исследования процессов эволюции на базе кибернетического подхода наиболее ярким, существенным продвижением вперед является фундаментальный труд В.Ф.Турчина [Турчин, 2000(1977)]. Предложенная в нем кибернетическая модель эволюции опирается на МПиО, декларируя воспроизведение *ненаправленной* селекции по Ч.Дарвину – «естественный», или фенотипический, отбор особей, в генотипе которых возникли случайные мутации, причем по неформализуемому целевому критерию «приспособленности». Идеи, заложенные В.Ф.Турчиным в этой работе, продолжают развиваться в рамках проекта Principia Cybernetica – Internet-журнала по проблемам эволюции человечества [Principia...].

4.5.2.2. «Эволюционный» аспект предлагаемой концепции (тезисно)

Предлагаемая же в данной работе оптимизационная концепция принципиально опирается не только на иную интерпретацию селективного аспекта эволюции (как процесса, *направленного* на достижение экстремального значения энергетической целевой функции, что и обеспечивает *направленность* эволюции – в этом смысле), но и на иной метод её реализации (существенно превосходящий МПиО по своим возможностям), то есть на метод *адаптивного случайного поиска*, причем в его иерархическом варианте (см. выше, подраздел 4.3).

При этом ещё раз поясню, что последний отличается от МПиО не только наличием в его структуре поискового целевого критерия *экстремального* типа Q (см. выше, подраздел 2.3), но и присутствием механизма выработки определенных соображений о тенденциях поискового процесса. Другими словами, помимо *чисто случайной*, он содержит обязательную *регулярную* компоненту, т.е. возможность запоминания предыстории (траектории и результатов) поиска. Это обеспечивает возможность осуществлять его не во всем *гипершаре* теоретически возможных направлений поиска, а в некотором *гиперэллипсоиде/гиперконусе* допустимых (как целевыми ограничениями типа равенств G и типа неравенств H , так и ограничениями *системной памяти* со стороны высших ярусов в супраконтуре) из них. Системная

память – различной степени глубины – обеспечивает здесь невыход возможных значений переменных поиска за определенные ранее (с его же помощью) и запомненные пределы (типа гиперкуба допустимых состояний). А также возможность закономерного изменения во времени регулярных составляющих величины и направления поискового шага. (Отмечу в скобках, что размерность упомянутых гипершара, гиперэллипсоида/гиперконуса и гиперкуба совпадает с числом элементарных объектов каждого поискового яруса в конкретном супраконтуре).

Тем самым *системная память* супрасистемы живого (рассматриваемой как иерархический механизм адаптивного случайного поиска) обеспечивает, *дополнительно* не только к Дарвиновской *ненаправленной* селекции по алгоритму «проб и ошибок», но и к механизму *направленной* селекции по совокупности энергетических критериев и по простейшему (с единичной глубиной памяти) алгоритму случайного поиска, – *канализуемость* эволюции живого, т.е. феномен, на который указывает ряд «номогенетических» теорий.

Мысленно уберем в правой части рис. 2.1 нисходящие штриховые стрелки, отражающие системную память (как это и сделано на рис. 4.3). Тогда оставшиеся 18 субконтуров (по 3 оптимизационных субконтура в каждом из 6 супраконтуров, составляющих супрасистему СФЕРА ПЛАНЕТ ЗЕМНОЙ ГРУППЫ–АТОМЫ) можно несколько расширительно трактовать как изображение механизма Дарвиновской селекции (не обладающей ни направленностью на экстремум энергетического критерия, ни системной памятью). Такая расширительная трактовка позволительна, ибо рисунок, отражая связи замкнутого супраконтура, прямо не фиксирует вид соответствующей оптимизационной функции. Жаль, что при этом «синтетическая теория эволюции» (СТЭ) [Воронцов, 1999] использует для объяснения процесса биоэволюции лишь один из этих возможных 18-ти субконтуров. А именно тот, в котором эволюирующей (т.е. задающей соответствующий целевой критерий, в данном случае типа ограничений) единицей эволюции является популяция, а переменными – гены (см. рис. 4.3). Ведь при этом теряется возможность отразить весьма широкий спектр процессов и явлений, что, конечно, резко снижает предсказательную способность СТЭ...

Если же рассматривать рис. 2.1 без изъятий, то можно констатировать, что в супрасистеме СФЕРА ПЛАНЕТ ЗЕМНОЙ ГРУППЫ–АТОМЫ подобную селекцию (т.е. понимаемую в расширенном смысле, адекватном предлагаемой концепции) обеспечивают все 18 указанных субконтуров, а проявления номогенеза – 153 *адаптационных субконтура*. Эта цифра определяется тем, что каждый из ярусов данной супрасистемы задает ограничения для всех нижележащих ярусов (а не только для ярусов данного супраконтура, как это делают целевые ограничения G и H): $17+16+\dots+2+1$, что составляет арифметическую прогрессию с разностью 1.

Но работу 18-ти оптимизационных (*целевых*) субконтуров можно наблюдать непосредственно, а 153 *адаптационных субконтура* задания глубины памяти, отражающей идею *канализуемости* эволюции, можно исследовать лишь опосредованно, через проявления запоминания тех или иных факторов в соответствующих оптимизационных процессах. При этом темпы изменения значений параметров системной памяти много медленнее темпов процессов, на которые они воздействуют. То есть на практике, при моделировании конкретных оптимизационных процессов, на соответствующих временных интервалах они могут рассматриваться как константы – хотя они, естественно, меняются, но в более далекой временной перспективе (рис. 2.1). Все это косвенно объясняет значительную часть тех трудностей, с которыми сталкиваются в своем обосновании номогенетические теории.

4.5.3. О некоторых биологических, системных и философских интерпретациях феномена эволюции

В рамках предлагаемой концепции можно предложить следующие интерпретации приведенных Н.Н.Воронцовым (см. выше, пункт 4.4.2, и [Воронцов, 1999]) современных положений «синтетической теории эволюции» (далее сохранена – со звездочкой – их нумерация):

1*. В этом бесспорном положении следует, по моему мнению, акцентировать слова «на Земле».

2*. Согласно предлагаемой парадигме обобщенной адаптивности, приспособительные процессы не просто «происходили в эволюции»: последняя является проявлением самой их сущности. Ответ на вопрос «все ли признаки адаптивны» – положителен (при понимании «адаптивности» в её обобщенном смысле).

3*. Это безусловно верно, именно «при участии».

4*. А вот это неверно, точнее – предлагается лишь частный ответ. Из предлагаемой же концепции следует, что в качестве «элементарных эволюирующих единиц» должны рассматриваться системы *всех* выделенных выше уровней биологической интеграции, от атомов, органических молекул и макромолекул – до биогеоценозов, биомов, природных зон и даже Биогосферы Земли в целом (последняя тоже является эволюирующей единицей в рамках системы ближайшего Космоса). Другое дело, что процесс видообразования, или *микроэволюции* (одного из проявлений поискового оптимизационного процесса,

происходящего в соответствующем иерархическом контуре БИОГЕОЦЕНОЗ-МНОГОКЛЕТОЧНЫЕ ОРГАНИЗМЫ) действительно имеет в качестве одного из главных источников активное поисковое поведение популяций, составляющих данный биогеоценоз (но также и их объединений – парцелл, и собственно многоклеточных организмов). В свою очередь, *макроэволюция* является одним из проявлений поискового оптимизационного процесса, происходящего в иерархическом контуре БИОГЕОСФЕРА-БИОГЕОЦЕНОЗЫ.

5*. Если трактовать термин «мутации» в самом широком смысле, т.е. как проявление поисковой активности биообъектов различных уровней интеграции, то указанное утверждение в целом будет верным, а противопоставление понятий «микро-» и «макромутаций» (если интерпретировать «макромутации» как реализации поискового процесса в иерархическом контуре БИОГЕОЦЕНОЗ-МНОГОКЛЕТОЧНЫЕ ОРГАНИЗМЫ) – неверным.

6*. В рамках предлагаемой концепции можно указать целый ряд «важнейших событий в эволюции», в том числе, безусловно, и «акт видообразования». Понятие «важнейшее» вообще довольно субъективно: оно зависит от точки зрения аналитика, его целевых установок, от контекста рассмотрения проблемы, и др. Что же касается «постепенности или внезапности» процесса видообразования – имеют место *оба* варианта, поскольку первый отражает проявление – на том или ином этапе – *локальных* свойств поискового алгоритма (т.е. доминирующих при поиске *локальных* экстремумов целевой функции некоторого иерархического контура), а второй – проявление *глобальных* свойств такого алгоритма (т.е. доминирующих при поиске её *глобальных* экстремумов).

Кстати отмечу: жаль, что Н.Н.Воронцов вообще не включил в число наиболее важных положений «синтетической теории эволюции» ранее сформулированную им следующую позицию: «...конечно же, сегодня очень многое в представлениях Л.С.Берга устарело, но исходя из современных представлений мы видим, что **в эволюции существуют запретные пути, существует определенная векторизованность** (выделено автором цитаты – С.Г.) путей преобразования некоторых признаков и структур, что придает эволюции в какой-то степени направленный, канализованный характер» [Воронцов, 1980].

Рассмотрим теперь, каково положение предлагаемой концепции в системе общенаучного знания. В идейном плане она может рассматриваться как одна из реализаций достаточно хорошо разработанного кибернетического направления, связанного с телеологическими/телеономическими представлениями о поведении сложных систем (см. выше, подпункт 3.3.2.4.). Это демонстрирует, в частности, ряд публикаций Н.Н.Моисеева, О.С.Разумовского и др. В свою очередь, анализируя предмет биологической кибернетики, А.А.Крушанов констатирует, что последний «состоит в изучении специфических для живых существ общих принципов и конкретных механизмов целесообразного саморегулирования и активного взаимодействия с окружающей средой. Следует подчеркнуть, что при этом речь идет о разделе именно биологии, о более глубоком изучении явлений жизни, о вскрытии новых её закономерностей средствами кибернетического анализа, а не об иллюстрации общих законов кибернетики на примерах деятельности живых существ. Поэтому, строго говоря, было бы правильнее определить эту область знания как *кибернетическую биологию ...*» [Крушанов, 1997]. По-видимому, данная точка зрения может быть с успехом отнесена и к предлагаемой разработке, в форме *«информатико-кибернетической (теории) эволюции»*.

Проблема недоразумений – применительно к проблематике настоящего подраздела монографии – не исчерпывается противопоставлением дарвинизма и номогенеза, градуальности и сальтационности процесса видообразования, роли микро- и макромутаций, и т.д. Есть и другие примеры. Даже такой известный специалист, как Ю.В.Чайковский, цитируя в своей работе [1996] высказывание Р.С.Карпинской «...проблема иерархии системных образований материального мира не может быть безразличной для собственно исторического подхода, но нельзя не видеть опасности подмены картины живого исторического процесса *неизбежно статическим* (??? – курсив мой – С.Г.) образом иерархичных взаимосвязей эволюционирующих систем» [Карпинская Р.С. *Глобальный эволюционизм и диалектика // О современном статусе идеи глобального эволюционизма. М., 1986. С. 515*], добавляет: «Действительно, у нас любят говорить об иерархии и эволюции вместе, хотя там, где выявлена иерархия, речь обычно (? – С.Г.) идет о статике; и те, кто говорит об иерархии эволюционирующих систем, попросту совершают при этом элементарную философскую ошибку. Эволюция, по-моему, всегда может рассматриваться как преодоление иерархического принципа». Мне совершенно непонятно, почему эти авторы ставят здесь знак равенства между *иерархией* и *статикой*, по-видимому, налицо новое недоразумение.

Не исключено, что существует вполне определенная историческая причина для возникновения подобных недоразумений. В своей фундаментальной работе «Идеальность. Реальность идеальности» А.И.Лисин пишет: «Дифференциация наук, связанная с дифференциацией *способов* познания, порождает иллюзию разноприродности сущностей. Иначе говоря, выделяя физические, химические, биологические, социальные сущности, ошибочно табуируют какое-либо их соединение, утверждают, что будто бы ни в коем случае нельзя «смешивать» разноприродные сущности. В действительности такое соединение не только возможно, но и необходимо... *Все постигнутые сущности* переводятся в состояние идеальности, все они включаются в единую информационную систему универсума и отличаются не су-

тью, а способом кодирования этой сути, принятой в рамках тех или иных наук» ([Лисин, 1999], стр.79-80). С моей точки зрения, именно рассматривая предлагаемый информатико-кибернетический язык в качестве междисциплинарного и наддисциплинарного метаязыка отражения этой идеальности, т.е. описания процессов в иерархических системах «достаточно высокой» сложности как «обобщенно адаптивных», можно – и нужно! – разъяснять указанные недоразумения. И далее. Анализируя информационные причины естественного отбора, А.И.Лисин констатирует: «в современной биологической науке общепризнанно: процесс эволюции – это, по сути, процесс накопления информации» ([там же], стр.342). И еще: «Но самым загадочным и самым интригующим является способность идеальности “отделяться” от своего материального носителя и запечатлеваться (с сохранением инварианта идеальности) в других материальных объектах – свойство *отражения*. Как и почему это происходит? Здесь мы видим появление элементов памяти» ([там же], стр.744). С этими положениями трудно не согласиться.

Как я старался показать выше, именно введение памяти в модель иерархического поискового оптимизационного механизма, реализующего приспособительное поведение биологических объектов живой природы, на биологическом языке означает возникновение возможности объединения в единую универсальную схему двух вынесенных в заглавие настоящего подраздела работы эволюционных теорий, традиционно рассматривающихся как альтернативные.

А.А.Любичеву приписывают [Московский, 1997] афоризм: «Хотя в пользу дарвиновской теории эволюции собран Монблан фактов, против неё говорят Гималаи фактов». Но даже несопоставимость масштабов этих горных образований не может служить аргументом для элиминации любого из них: разумнее объединить – на новой основе – отражающие их понятия в новое, более универсальное.

4.6. МПиО: выводы и заключительные замечания

Как показано в настоящем разделе работы, термин МПиО оказался не столь очевидно элементарным, как это воспринимается большинством. Выяснилось, что иногда в него вкладывают значительно более глубокий смысл, выводя его тем самым далеко за рамки применимости его аналога в «узком» смысле: можно констатировать, что практика применения термина МПиО характеризуется многозначностью его наполнения, даваемого различными авторами. То есть его понимают, по меньшей мере, в одном из двух смыслов: чаще в «узком» (как не обладающий памятью абсолютно хаотический «слепой» поиск), либо, существенно реже, в «расширенном» (как обладающий памятью «направленный» поиск с элементами случайности, близкий к «адаптивному случайному поиску»).

Выход из такого неудовлетворительного положения, как представляется – необходимость формализации точного значения этого термина (что здесь и предлагается), и настоятельная рекомендация научному сообществу применять эти *формальные* определения в своей профессиональной деятельности.

Что касается возможности использования МПиО (в «узком» смысле) для описания процесса биологической эволюции, то на его базе можно построить лишь самые элементарные её модели, отражающие действительность крайне упрощенно и фрагментарно.

Но задача существенного повышения адекватности подобных моделей продолжает оставаться на повестке дня. Вот, например, что пишет, с некоторым нескрываемым удивлением, в послесловии к новому изданию (2002 года) «Суммы технологии» Станислава Лема С.Переслегин: «Минувшие со времени создания “Суммы...” (1967 год – С.Г.) десятилетия никак не отразились на общих представлениях о процессе эволюции, в то время как история жизни на Земле была в значительной степени переписана (...) на сегодняшний день не существует сколько-нибудь разумной рабочей гипотезы, позволяющей объяснить биогенез и “запуск” механизма биологической эволюции (...) Критику “классической теории эволюции” можно продолжать и далее. Следует, однако, сказать прямо, что альтернативного механизма пока не предложено. Применение к эволюционному процессу аппарата теории систем позволило получить ряд любопытных результатов, но все они носят “гомеостатический” характер, то есть описывают устойчивость, а не изменчивость экосистем» ([Переслегин, 2002], стр. 658-661).

Последнее замечание особенно справедливо, что и дает надежду на скорый прогресс в этом вопросе. Ведь понятие «поисковая оптимизация» само по себе является кардинальным обобщением понятия «гомеостатика», позволяя достигать не только *устойчивости* в системе, но и её *изменчивости* (посредством перманентного переключения знака «обратной связи» в соответствующие моменты времени). А реализация «поискового оптимизатора» *с памятью*, т.е. в форме *адаптивного случайного поиска*, тем более в *иерархическом* варианте, позволяет надеяться на получение при моделировании эволюционных механизмов – с его помощью – принципиально новых результатов.