

СИСТЕМНЫЙ ПОДХОД И ЗАКОНОМЕРНОСТИ В БИОЛОГИИ

В. А. ГЕОДАКЯН

В кн.: *Системные исследования*. М., Наука, 1984а, с. 329–338.

Результатом научного открытия может быть новое свойство, новое явление или новая закономерность. Информационная емкость и научная значимость открытия в приведенном ряду «свойство—явление—закономерность» растет. отличие от свойства, которое предполагается неизменным во времени, явление само происходит (развертывается) во времени. Собственно, меняющееся во времени свойство и есть явление. Следовательно, явление—это отношение свойств, переход одного свойства в другое (динамика свойств, процесс). Но само явление может быть неповторимо во времени (уникальное явление, чудо). Закономерность же в отличие от явления характеризуется повторяемостью. Она устанавливает отношения (связи) между явлениями или свойствами (динамика, последовательность явлений или свойств). Строгие и точные закономерности получают статус закона или принципа и представляют основу данной науки (законы Ньютона, Кулона, Ома, принципы термодинамики, газовые законы и т.д.). Другие закономерности, менее строгие и точные, которые выполняются приближенно, но допускают исключения и отклонения, называются правилами (правило Вант-Гоффа¹, Трутона², Дюлонга-Пти³ и др.).

В отличие от физики и химии, в биологии очень мало обобщений, которым можно приписать ранг закона. Обусловлено это большей сложностью живых систем по сравнению с неживыми, физико-химическими. Обычно концепции, идеи, качественные обобщения появляются гораздо раньше, чем точные количественные теории. Например, концептуальное решение Дарвина опередило количественные теории Фишера, Райта, Холдейна почти на три четверти века. А качественное решение Менделеева опередило появление количественной теории Мозли, Бора, Паули почти на полвека. Чем сложнее система, тем, можно думать, больше будет разрыв во времени появления качественной концепции и количественной теории. Даже для физики с ее относительно простыми системами, как считает один из крупнейших физиков-теоретиков Гейзенберг, «теоретическая и математическая физика науки весьма и весьма разные» [4]. В биологии, по всей видимости, эта разница должна быть еще более резко выражена. Поэтому известные в биологии десятка полтора-два закономерностей, исторически получивших название законов (биогенетический закон Геккеля—Мюллера⁴, законы Либиха⁵, Бэра⁶, Долло⁷, Депере⁸, Осборна⁹ и др.) по общенаучным меркам, фактически являются приближенными правилами. Тем не менее их обобщающая роль в науке велика. Прежде всего они укрупняют единицы (разряды) информации. Вместо огромного числа фактов (в виде таблиц или графиков) можно иметь дело с одним правилом. Они повышают эффективность процесса познания, могут способствовать новым открытиям. Например, с помощью правила фаз Гиббса¹⁰ был открыт ряд новых веществ, применение правила Дюлонга—Пти привело к определению атомных весов и т. д.

¹ Правило Вант-Гоффа — повышение температуры на 10° увеличивает скорость реакции примерно в 2–4 раза.

² Правило Трутона — $L_{исп} / T_{кип} \approx 21–22$, где $L_{исп}$ — мольная скрытая теплота испарения, $T_{кип}$ — температура кипения по абсолютной шкале.

³ Правило Дюлонга-Пти — атомная теплоемкость при постоянном давлении для различных простых кристаллических веществ одинакова и равна приблизительно 6.3 кал.

⁴ Биогенетический закон Геккеля—Мюллера: онтогенез — краткое и сжатое повторение филогенеза.

⁵ Закон Либиха — рост растения лимитируется минимальным фактором.

⁶ Законы Бэра: I — эмбрионы обнаруживают сходство в пределах типа; II — эмбрионы последовательно переходят в своем развитии от общих признаков типа ко все более специальным признакам (класса, отряда, рода, вида, особи); III — эмбрионы различных представителей одного типа в своем развитии все более обособляются друг от друга.

⁷ Закон Долло, необратимости эволюции — организм не может вернуться, даже частично, к прежнему состоянию, уже осуществленному в ряду его предков.

⁸ Законы Депере: I — филогенетического роста; II — филогенетической специализации. У многих видов позвоночных эволюция идет от мелких форм к крупным и от неспециализированных — к специализированным.

⁹ Закон Осборна: при возникновении новых форм, они развиваются не в одном направлении, а во многих, в соответствии тем условиям среды, в которые они попадают при расселении.

¹⁰ Правило фаз Гиббса — $C = K - \Phi + 2$, где C — число термодинамических степеней свободы, K — число компонент, Φ — число фаз.

Обычно закономерности выявляются при экспериментальном или феноменологическом исследовании корреляций между свойствами и явлениями. Но это не единственный путь—они могут быть открыты и теоретическим путем. Общенаучная природа методологических принципов системного подхода (с учетом междисциплинарных особенностей) позволяет предсказывать и вскрывать новые закономерности. В настоящей статье обсуждается такой путь и делается попытка, используя некоторые системные представления и аналогии, предсказать и вскрыть новую биологическую закономерность. Приведем сначала пример из физической химии.

В 1662 г. экспериментально был открыт закон, устанавливающий связь между объемом и давлением газа при постоянной температуре (закон Бойля-Мариотта). В 1802 г., также экспериментально, был открыт закон, связывающий объем газа с его температурой при постоянном давлении (закон Гей-Люссака). Тем самым три свойства газа (объем, давление и температура) оказались связанными двумя закономерностями. Появилась возможность уже теоретически сформулировать и третью закономерность, связывающую давление с температурой (закон Шарля), что и было вскоре сделано (рис. 1). Отметим, что вывод третьей закономерности не требовал уже никаких дополнительных экспериментальных данных, он вытекал автоматически из первых двух. Еще через некоторое время Клапейрон объединил все три закона в общую формулу $pV = \gamma T$ (где γ зависит от вида и количества газа). А в 1874 г. Менделееву удалось (также теоретически, с учетом закона Авогадро) дать обобщенную формулу $pV = RT$ (где R уже не зависит ни от вида, ни от количества газа). Поскольку формула Клапейрона включает в себя все три закона, то ее одной вполне достаточно для описания всех связей между тремя свойствами идеального газа.

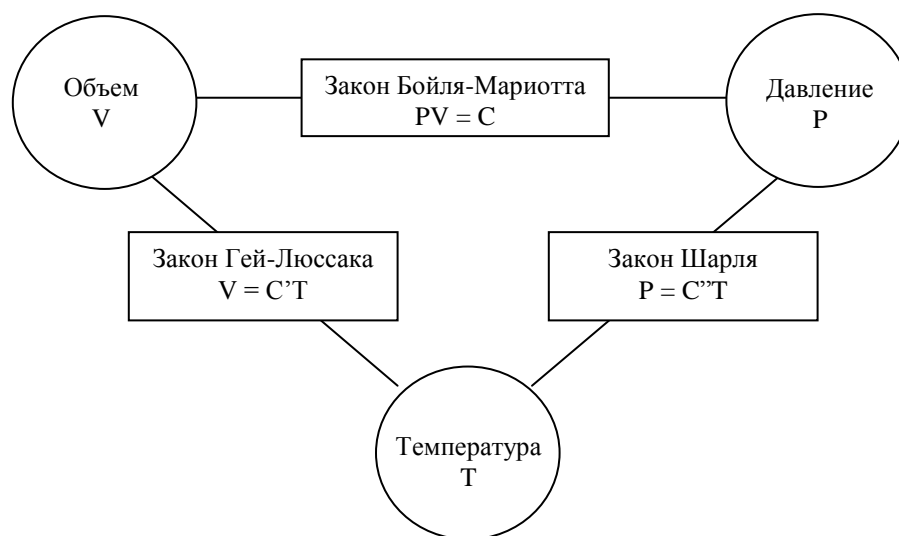


Рис. 1. Закономерности, связывающие свойства идеального газа.

Аналогичным образом и в биологии. В прошлом веке (1866 г.) был сформулирован биогенетический закон Геккеля-Мюллера, устанавливающий связь между явлениями филогенеза и онтогенеза (онтогенез—краткое повторение филогенеза). Если для простоты говорить не об организме в целом, а только об одном его признаке, то явление филогенеза—это динамика (появление и изменение) этого признака в эволюционном масштабе времени, в истории вида. Явление онтогенеза—это динамика признака в онтогенетическом масштабе времени, в истории жизни особи. Следовательно, закон Геккеля-Мюллера связывает между собой онтогенетическую и филогенетическую динамики признака.

В 1965 г. нами была вскрыта закономерность, связывающая явление популяционного полового диморфизма с филогенезом [5]. Популяционный половой диморфизм—это разность средних значений частоты или/и степени выраженности признака у мужского и женского пола. Если по данному признаку существует популяционный половой диморфизм, то можно говорить о мужской и женской форме этого признака. Согласно новой теории, наследственная норма реакции женского пола шире, чем мужского [6]. (Норма реакции—способность генотипа реагировать на изменения среды—характеризует долю участия среды в формировании признака. Чем шире норма реакции, тем больше влияние среды и меньше влияние генотипа, и наоборот.) Узкая норма реакции мужского пола делает его менее пластичным в онтогенезе, подвергает его большей элиминации отбором, поэтому делает генотипическое распределение мужского пола в популяции более изменчивым в филогенезе. Это приводит к тому, что эволюционные преобразования затрагивают в первую очередь мужской пол. Следовательно, мужской пол можно рассматривать как эволюционный «авангард» популяции, а популяционный половой диморфизм по признаку—как вектор («компас»), показывающий направление эволюции данного признака. Он направлен от женской формы признака в популяции к мужской. Иными словами, в процессе эволюции женская форма признака (прошлая форма) превращается в мужскую (новую) [9]. Например, известно, что в одной и той же популяции выпуклая форма спинки носа чаще встречается у мужчин, а вогнутая—у женщин [17]. Значит, согласно филогенетическому правилу полового диморфизма, эволюция идет от вогнутой формы спинки носа (женская форма) к выпуклой (мужская).

Стало быть, мы имеем три явления (филогенез, онтогенез и половой диморфизм), которые связаны между собой двумя закономерностями (закон Геккеля-Мюллера и филогенетическое правило полового диморфизма). Значит, можем предсказать существование третьей закономерности, устанавливающей непосредственную связь между явлениями полового диморфизма и онтогенеза и сформулировать ее (рис. 2).

Новую закономерность можно назвать «онтогенетическим правилом полового диморфизма». Если по

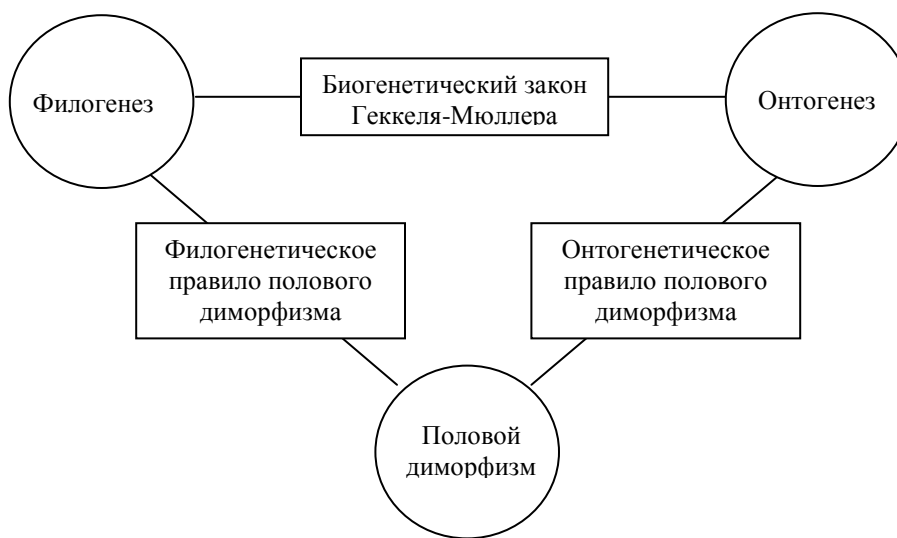


Рис. 2. Закономерности, связывающие явления филогенеза, онтогенеза и полового диморфизма.

какому-либо признаку существует популяционный половой диморфизм, то в онтогенезе (с возрастом) этот признак меняется, как правило, от женской формы к мужской, т. е. для начальной, ювенильной стадии (стадии юности, роста и становления) более характерна женская форма признака, а для дефинитивной стадии (зрелой, взрослой)—мужская форма. Иными словами, женские формы признаков в популяции с возрастом должны, как правило, ослабевать, а мужские—усиливаться. (Для человека ювенильной стадией, видимо, следует считать возраст до 20–25 лет, дефинитивной стадией—старше этого возраста и до начала старческой инволюции.)

На более тесную связь женского пола с начальной фазой онтогенеза обратил внимание еще Дарвин: Он писал: «Во всем животном царстве, если мужской и женский пол отличаются друг от друга по внешнему виду, видоизменяется, за редкими исключениями, самец, а не самка, потому что последняя обыкновенно остается схожей с молодыми животными своего вида и с прочими членами всей группы» [11]. Антропологи также отмечали близость женского типа с детским (более грацильные кости, слабовыраженные надбровные дуги, меньшее обволошение тела и др.) [10, 17].

Для проверки онтогенетического правила полового диморфизма необходимо сопоставить направление полового диморфизма по разным признакам с динамикой этих признаков в онтогенезе. В табл. 1 приводятся такие данные для некоторых признаков. Анализ этих данных позволяет сделать вывод, что предсказанная теорией закономерность, связывающая популяционный половой диморфизм с динамикой признаков в онтогенезе, действительно существует. Интересно было бы сравнить возрастное распределение болезней, неодинаково поражающих мужской и женский пол. Среди первых (мужских) должно быть больше болезней, характерных для дефинитивной, зрелой стадии онтогенеза, а среди вторых (женских), наоборот, должно быть больше болезней ювенильного (детского и молодого) возраста, характерных для начала онтогенеза.

Таблица 1. Половой диморфизм и онтогенетическая динамика некоторых признаков в онтогенезе.

Признак	Форма признака				Литература
	Женская	Мужская	Ювенильная	Дефинитивная	
Относительная длина ног	Меньше	Больше	Меньше	Больше	Харрисон Д. и др., 1968
Относительная длина предплечья	«	«	«	«	
Относительная длина 4-ого/2-ого пальцев	«	«	«	«	
Головной индекс	«	«	«	«	Гинзбург В.В., 1963; Рогинский Я.Я., Левин М.Г., 1955
Окружность зубной дуги	«	«	«	«	
Эпикантус	Четче	Сглажен	Четче	Сглажен	Рогинский Я.Я., Левин М.Г., 1955
Горбатая спинка носа	Реже и слабее	Чаше и сильнее	Реже и слабее	Чаше и сильнее	
Обволошение тела и лица	Меньше	Больше	Меньше	Больше	
Обволошение головы	Больше	Меньше	Больше	Меньше	Харрисон Д. и др., 1968
Концентрация эритроцитов в крови	Меньше	Больше	Меньше	Больше	
Частота пульса	Больше	Меньше	Больше	Меньше	
Скорость опорожнения желчного пузыря	Меньше	Больше	Меньше	Больше	Желчный пузырь, 1978
Асимметрия мозга	«	«	«	«	Searle, 1972
Время реакции	Больше	Меньше	Больше	Меньше	Бойко Е.И., 1964
Ощущение горького вкуса фенилтиомочевины	Чаше и сильнее	Реже и слабее	Чаше и сильнее	Реже и слабее	Харрисон Д. и др., 1968
Обоняние	Сильнее	Слабее	Сильнее	Слабее	

Таким образом, мы имеем три закономерности, которые связывают между собой попарно три явления. По аналогии с формулой Клапейрона можно попытаться объединить все три частные закономерности в одну обобщенную. Для этого введем понятия двух форм признака, связанных с вектором времени, в каждом явлении. Выделим и будем различать: в филогенезе признака — его

«атавистическую» и «футуристическую» формы, в онтогенезе признака—его «ювенильную» (молодую) и «дефинитивную» (взрослую) формы, в популяционном половом диморфизме—его «женскую» и «мужскую» формы. Тогда обобщенную закономерность, связывающую явления филогенеза, онтогенеза и полового диморфизма, можно сформулировать как «правило соответствия» между атавистической, ювенильной и женской формами признаков, с одной стороны, и между футуристической, дефинитивной и мужской формами—с другой.

«Правило соответствия» может быть распространено и на другие явления, системно связанные с филогенезом и онтогенезом (эволюцией), в которых можно выделить аналогичные две формы, ориентированные по вектору времени (прошлую и будущую). Например, явление мутирования (филогенетический процесс возникновения генов), явление доминирования (онтогенетический процесс проявления генов), явление гетерозиса (гибридной силы) или явление реципрокного эффекта (доминирование отца или матери)—все они позволяют выделить две формы: прошлую и будущую.

На связь между явлениями филогенеза, онтогенеза, мутирования, доминирования и полового диморфизма указывают такие известные факты, как более высокая степень спонтанных мутаций у мужского пола [20]; более аддитивное наследование родительских признаков потомками женского пола, а значит, более доминантное наследование потомками мужского пола [3,19]; известные аутосомные гены, проявляющие себя в женском геноме как рецессивные признаки, а в мужском—как доминантные, и усиливающийся в онтогенезе, например, ген рогатости-комолости, или ген, вызывающий облысение; доминирование отцовской формы над материнской по эволюционирующим (новым) признакам («отцовский эффект») [7, 8] и др.

В конце 30-х годов Д. Д. Ромашовым и А. С. Серебровским независимо друг от друга была высказана мысль о доминантности более поздних признаков, приобретенных в эволюционном процессе, по сравнению с приобретенными ранее [13]. Такая связь, а также связи между явлениями филогенеза, мутирования и доминирования были вскрыты в обширных экспериментах В. С. Андреева с сотрудниками на растениях (маке снотворном, душистом горошке и чернушке дамасской). Тракутя рецессивные мутации (в гомозиготном состоянии) как остановки развития признака на той или иной стадии его формирования, тем самым выявляющие результаты действия предшествующих, более ранних генов, а значительно более редкие, доминантные мутации—как добавление к существующей цепи развития нового звена, они убедительно показали, что в онтогенезе доминируют всегда признаки, развитие которых дошло до более поздних стадий филогенеза, т. е. более молодые признаки [1, 15, 16].

Поскольку в такой трактовке рецессивная мутация, если ее носителя скрестить с более ранней формой, проявится как доминантный признак, то логичнее такие мутации (останавливающие развитие на ранних стадиях), называть не рецессивными, а «ретроспективными». А доминантные мутации—соответственно «перспективными». Ведь мутации могут быть и у гаплоидных форм, а явления доминантности-рецессивности связаны только с диплоидностью.

На связи между гетерозисом и доминированием указывали неоднократно: гипотеза сверхдоминирования Шелла—Иста, гипотеза благоприятных доминантных факторов и др. На связь между гетерозисом и филогенезом обратили внимание Д. Д. Ромашов и А. С. Серебровский [13], а между гетерозисом и половым диморфизмом—мы [18] и т. д.

Следовательно, многие исследователи, и уже давно, обращали внимание на различные связи между явлениями филогенеза, онтогенеза, пола, мутирования, доминирования, гетерозиса и др. Для нахождения общей закономерности, рассматривая перечисленные выше явления как единую систему, введем опять понятия двух форм признака, связанных с вектором времени в каждом явлении—прошлую и будущую формы (табл. 2). Тогда расширенное и обобщенное правило соответствия можно сформулировать следующим образом. Если имеется система связанных между собой явлений, в которых можно выделить ориентированные во времени прошлую и будущую формы, то существует соответствие (более тесная связь) между всеми прошлыми формами, с одной стороны, и между будущими—с другой.

Интересно отметить, что любое из перечисленных в табл.2 явлений может служить «компасом», показывающим направление эволюции признака [5, 8, 13, 16].

В чисто методологическом плане концептуально-эвристический, системный подход позволяет заранее знать число возможных закономерностей, связывающих данное число свойств или явлений (элементов системы). Число связей между n элементами $N_n = n * (n - 1)/2$.

Таблица 2. Прошлые и будущие формы признаков в разных явлениях.

Явления	Форма признака	
	Прошлая	Будущая
Филогенез	Атавистическая	Футуристическая
Онтогенез	Ювенильная	Дефинитивная
Половой диморфизм	Женская	Мужская
Доминирование	Рецессивная	Доминантная
Мутирование	Ретроспективная	Перспективная
Гетерозис	Родительская	Гибридная
Реципрокные различия	Материнский эффект	Отцовский эффект

Ясно, что с увеличением числа элементов растет число связей, поэтому для сложных систем приобретает актуальность нахождение обобщенных закономерностей, описывающих одновременно многие связи. А то, что такие общие закономерности, связывающие между собой более частные, должны существовать, вытекает из общих системных представлений. Ведь рассмотренные нами свойства газа (объем ление и температура)—не что иное, как разные свойства одной системы (одной сущности)—идеального газа, а явления филогенеза, онтогенеза, полового диморфизма, доминирования, мутирования и др.—не что иное, как разные проявления другой, опять же единой системы—явления жизни (эволюции).

ЛИТЕРАТУРА

1. Аркатов В. В., Андреев В. С., Ратькин А. В. Генетический контроль формирования окраски цветков у душистого горошка.— *Генетика*, 1976, т. 12, № 8, с. 30—37.
2. Бойко Е. И. Время реакции человека. М.: Медицина, 1964. 300 с.
3. Бородин П. М., Шулер Л., Беляев Л. К. Проблемы генетики стресса.— *Генетика*, 1976, т. 12, № 12, с. 62—72.
4. Гейзенберг В. Что такое «понимание» в теоретической физике? — *Природа*, 1971, № 4, с. 75—77.
5. Геодакян В. А. Роль полов в передаче и преобразовании генетической информации.— *Пробл. передачи информ.*, 1965, т. 1, № 1, с. 105—112.
6. Геодакян В. А. Дифференциальная смертность и норма реакции мужского и женского пола.— *Журн. общ. биологии*, 1974, т. 35, № 3, с. 376—385.
7. Геодакян В. А. О существовании «отцовского эффекта» при наследовании эволюционных признаков.— *Докл. АН СССР*, 1979, т. 248, № 1, с. 230—234.
8. Геодакян В. А. Половой диморфизм и «отцовский эффект».— *Журн. общ. биологии*, 1981, т. 42, № 5, с. 657—668.
9. Геодакян В. А., Шерман А. Л. Связь врожденных аномалий развития с полом.— *Журн. общ. биологии*, 1971, т. 32, № 4, с. 417—424.
10. Гинзбург В. В. Элементы антропологии для медиков. Л.: Медгиз, 1963. 216 с.
11. Дарвин Ч. Происхождение человека и половой отбор. — Соч. М.: Изд-во АН СССР, 1953. Т. 5. 1040 с.
12. Желчный пузырь. Большая медицинская энциклопедия, 1978, т. 8, с. 184.
13. Малиновский А. А. Незавершенные идеи некоторых советских генетиков. *Природа*, 1970, № 2, с. 79—83.
14. Пульс. Большая медицинская энциклопедия. М.: Сов. энциклопедия, 1962, т. 27, с. 515.
15. Ратькин А. В., Андреев В. С., Аркатов В. В. Генетический контроль формирования окраски цветков у душистого горошка. *Генетика*, 1977, т. 13, № 9, с. 1534—1542.
16. Ратькин А. В., Запроматов М. Н., Андреев В. С., Евдокимова Л. И. Изучение биосинтеза антоцианидов и флавоноидов в цветках душистого горошка. *Журн. общ. биологии*. 1980, т. 41, № 5, с. 685—699.
17. Рогинский Я.Я., Левин М.Г. Основы антропологии. М., 1955.
18. Харрисон Дж., Уайнер Дж., Таннер Дж., Барникот Н. Биология человека. М.: Мир, 1968.

19. Шюлер Л., Бородин П. М., Беляев Д. К. Проблемы генетики стресса. *Генетика*, 1976, т. 12, № 12, с. 72–82.
20. Searle A. G. Spontaneous frequencies of point mutations in mice. *Humangenetik*, 1972, Bd. 16, N 1/2, p. 33–38