

ЭВОЛЮЦИОННАЯ БИОЛОГИЯ

Академик

С. С. ШВАРЦ

Уже более 100 лет в центре внимания теоретической биологии стоит проблема эволюции. Многие важные ее разделы были разработаны в стенах нашей Академии. Русская школа эволюционистов длительное время занимала ведущее положение в мире. Труды В. О. Ковалевского, заложившие основы палеоэкологии, показали возможность увидеть «живыми» представителей животного царства, исчезнувших с лица Земли миллионы лет назад, заложили основу палеоэкологии, создали предпосылки для исследования реального филогенеза отдельных групп животных. Учение академика А. Н. Северцова о морфологических закономерностях эволюции сделало фактически беспочвенными любые попытки идеалистического истолкования конкретных явлений эволюционного процесса, а его афоризм «онтогенез не повторяет филогенез, но творит его» выражал по существу первый в истории науки серьезный подход к пониманию жизни на основе взаимопроникающих исследований индивидуального и исторического развития. Подлинную глубину этого афоризма мы начинаем понимать лишь теперь, и можно полагать, что он указывает путь к созданию новой, синтетической биологии, когда великие обобщения классической биологии XIX—XX вв. и выводы сегодняшней молекулярной биологии будут рассматриваться как соподчиненные главы единой теории развития живой природы.

Дорога к этой «новой» биологии проложена популяционной генетикой, развитие которой, связанное с именами С. С. Четверикова и многих других русских ученых, привело к синтезу основополагающих идей дарвинизма и генетики. Теория академика И. И. Шмальгаузена о стабилизирующем отборе и сегодня служит инструментом анализа наиболее сложных вопросов эволюции.

Мировоззренческое значение эволюционной биологии было очевидным всегда. Но наше время ставит перед ней принципиально новые задачи. Сегодня эволюционная проблематика вдруг — буквально «вдруг» — приобрела первостепенное практическое значение.

В ответ на изменение условий среды, вызванное антропогенными воздействиями, на наших глазах возникают специализированные популяции организмов, способных процветать в самых, казалось бы, невероятных условиях. Появление ядовитых форм насекомых, бактерий, устойчивых против самых эффективных штаммов антибиотиков, — лишь наиболее яркое, но отнюдь не единственное проявление эволюционного процесса, протекающего в биосфере, измененной человеком. Хорошо известное кормовое

растение *Agrostis tenuis* создает процветающие ассоциации на почвах, резко обогащенных свинцом при недостатке кальция и фосфора. Все это свидетельствует о необходимости овладения эволюционным процессом. Сейчас мы видим эту задачу в негативном аспекте (не допустить возникновение специализированных вредных форм), но завтра она приобретет конструктивный характер: создание оптимальных ландшафтов вызовет к

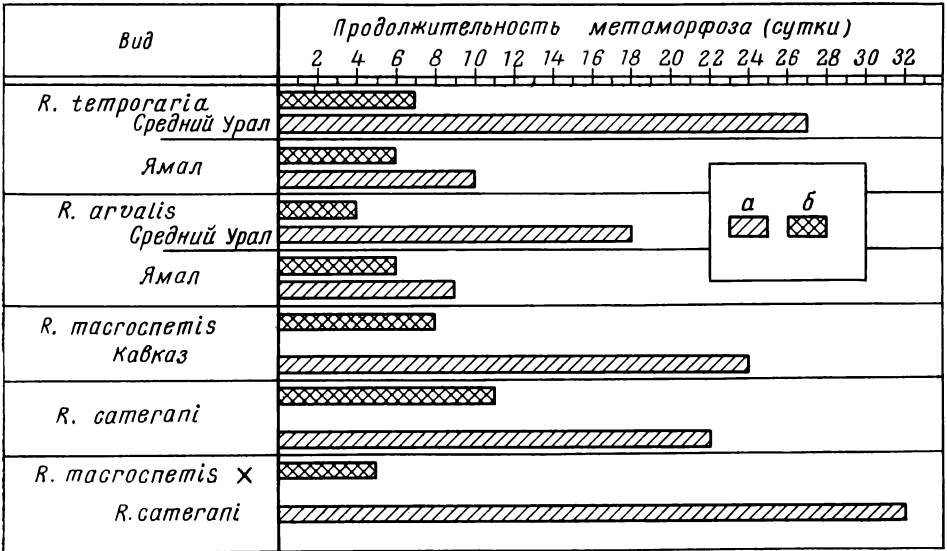


Рис. 1. Продолжительность метаморфоза личинок лягушки при температуре воды 5—7° (а) и 20° (б). По материалам автора и О. А. Пястоловой (*R. temporaria*, *R. arvalis* — Средний Урал, Ямал; *R. macrocnemis*, *R. camerani*, *R. macrocnemis* × *R. camerani* — Кавказ)

жизни новый всплеск эволюционной изменчивости, и она должна быть направлена в благоприятную для человека сторону.

Практический подход к проблеме, как не раз отмечалось в истории науки, требует более конкретного ответа на теоретически ясные вопросы. В частности, современная эволюционная теория отвечает однозначно на вопрос о сущности элементарного эволюционного акта: элементарное эволюционное событие заключается в необратимом преобразовании генетической структуры популяции, в результате которого возникают формы, наследственно адаптированные к определенным условиям среды. Эти адаптации достигают поистине изумительного совершенства, что можно показать на примере хорошо известного всем животному — остромордой лягушки. Когда температура среды опускается ниже 6—7°, представители этого вида обычно теряют активность и постепенно впадают в оцепенение, в спячку. Однако остромордые лягушки, обитающие на Крайнем Севере, при таких условиях успешно завершают развитие и даже при температуре около 0° сохраняют нормальные оборонительные и пищевые рефлексы; их пищеварительные ферменты остаются высокоактивными, усиливается амплитуда сокращений и возрастает скорость развития напряжения сердечной мышцы (рис. 1, 2, 3). Подобных примеров, иллюстрирующих поистине уникальную приспособленность разных популяций вида к конкретным условиям существования, можно было бы привести несметное количество.

Приспособления разных популяций вида к тем или иным условиям существования чрезвычайно разнообразны; они позволяют многим видам

распространяться на громадных территориях — нередко от тундры до пустыни — и всюду создавать стабильные и многочисленные популяции. Но при более глубоком анализе приспособлений специализированных популяций обнаруживается, что в громадном большинстве случаев они имеют характер морфо-физиологических компенсаций. Обитание в горах оказывается связанным с более мощным развитием сердца, легких, боль-

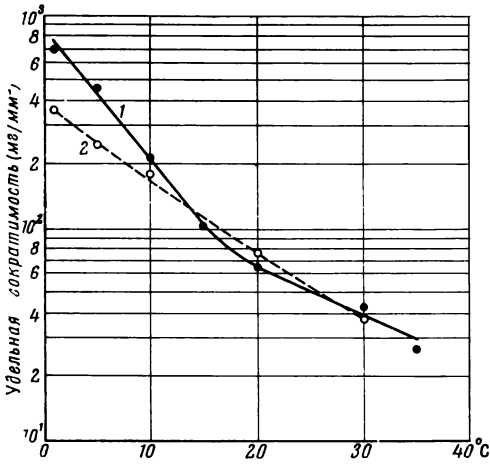


Рис. 2. Температурная зависимость изометрической сократимости миокарда желудочка у лягушек *Rana arvalis* северных (1) и южных (2) популяций. По материалам В. Круглова

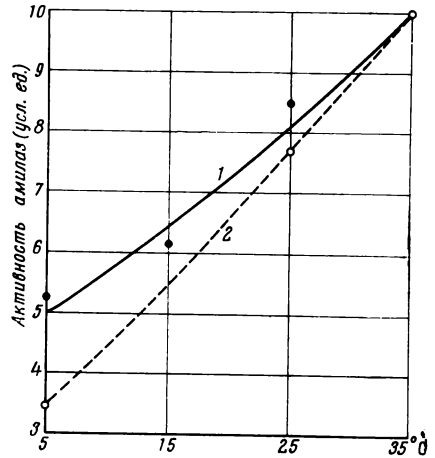


Рис. 3. Активность амилазы у лягушек *Rana arvalis* северных (1) и южных (2) популяций. По материалам О. А. Пястоловой

шей насыщенностью крови гемоглобином, со специализацией пищеварительной или выделительной систем и т. п. Аналогичными приспособлениями характеризуются обитатели Крайнего Севера, которым присущи крупные размеры тела, интенсивное размножение, повышенная способность к созданию в организме энергетических резервов. Компенсаторный характер этих приспособлений очевиден. В биологии часто говорят о приспособлении к экстремальным условиям среды, нередко забывая при этом, что речь об экстремальности может идти лишь применительно к конкретному виду. Обыкновенная лисица весьма многочисленна в лесотундре, хотя находится она здесь явно в экстремальных условиях. Для песца же такие условия укладываются в пределы оптимума. Это заключение звучит вполне тривиально, однако тривиальность его кажущаяся. В самом деле, почему для северных лисиц условия южной тундры, которая была родиной для многих тысяч поколений их предков, все еще остаются экстремальными, а для специализированного вида — песца — они оптимальны? Ответ на этот вопрос приводит к принципиальным выводам, относящимся к основам эволюционной теории.

Со времен Дарвина стало привычным рассматривать процесс видообразования — возникновение генетически замкнутых, самостоятельно эволюционирующих, морфо-физиологически специфичных биологических систем — как завершающую фазу внутривидовой изменчивости, что подтверждается известными фактами. Но вопрос о качестве внутривидовой изменчивости остается при этом в тени. Между тем с развитием комплексного подхода к ее изучению стало очевидным, что изменчивость, кажущаяся безгранично разнообразной, может быть подвергнута очень в сущности простой и исчерпывающей классификации.

Любая, возникающая перед животным экологическая задача решается на морфо-функциональном и на биохимическом, тканевом уровне за счет интенсификации или видоизменения функций отдельных физиологических систем или за счет биохимических адаптаций. Изучение путей приспособления разных форм к разным условиям среды ведется в лаборатории популяционной экологии Института экологии растений и животных

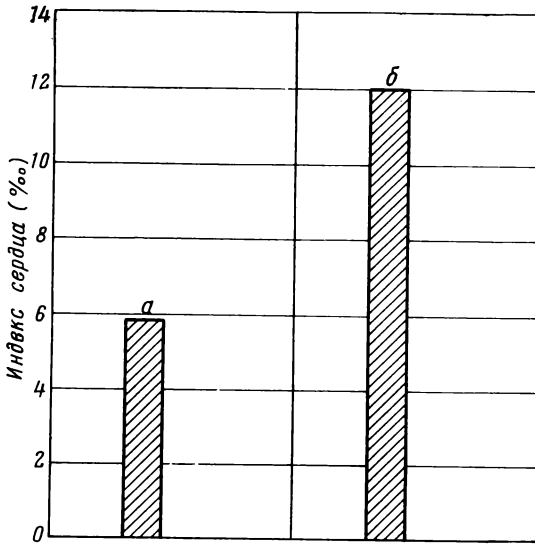


Рис. 4. Географическая изменчивость веса сердца утки *Anas penelope*. По материалам Л. Н. Добринского

а — лесостепь (Зауралье), б — тундра (Ямал)

Уральского научного центра Академии наук СССР уже более 20 лет. Обследовались многие десятки видов животных, представленных сотнями популяций и десятками тысяч индивидов. В результате было установлено, что внутривидовые приспособления, приспособления пород, рас, подвидов

Вид	Местообитание	Высота над уровнем моря (м)	Индекс сердца (‰)						
			1	2	3	4	5	6	7
<i>C. rutilus</i>	Северный Урал гора Денежкин камень	Подножье	[Bar 1: 1-5]						
		600-800	[Bar 2: 1-7]						
<i>C. glareolus</i>	Южный Урал, гора Кукшик	Подножье	[Bar 3: 1-6]						
		600-800	[Bar 4: 1-7]						
		100-150	[Bar 5: 1-5]						
<i>C. rufocanus</i>	Хребет Заилийский Алатау	500-600	[Bar 6: 1-6]						
		800	[Bar 7: 1-6]						
		800	[Bar 8: 1-5]						
<i>C. frater</i>	Хребет Заилийский Алатау	2300	[Bar 9: 1-6]						
<i>A. argentatus</i>		2500-3000	[Bar 10: 1-5]						

Рис. 5. Зависимость относительного веса сердца грызунов от абсолютной высоты местообитания. По материалам В. Н. Большакова

происходят преимущественно за счет специализации и интенсификации работы сердца, легких, кровеносной или пищеварительной системы и т. п. (рис. 4 и 5). Все они в полной мере соответствуют понятию физиологических компенсаций. Приспособления этого типа функционально весьма совершенны, но энергетически невыгодны. Специализированные виды решают аналогичные экологические задачи на более глубоком, биохимиче-

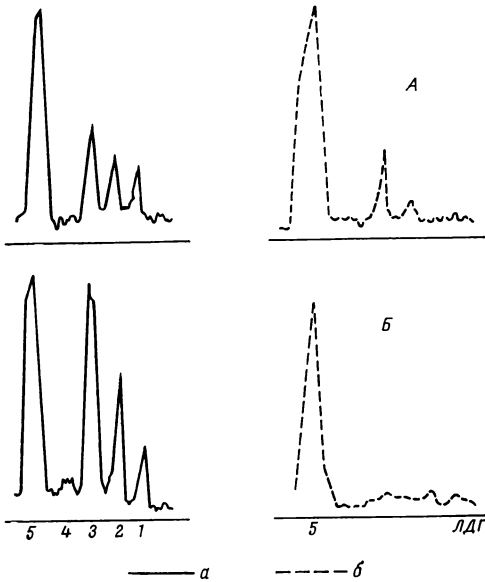


Рис. 6. Изоферментный спектр лактатдегидрогеназы скелетной мышцы полевок *Microtus oeconomus oeconomus* (А) и *Microtus oeconomus chachlovi* (Б) в норме (а) и при экстремальном охлаждении (б). По материалам Г. Г. Рунковой

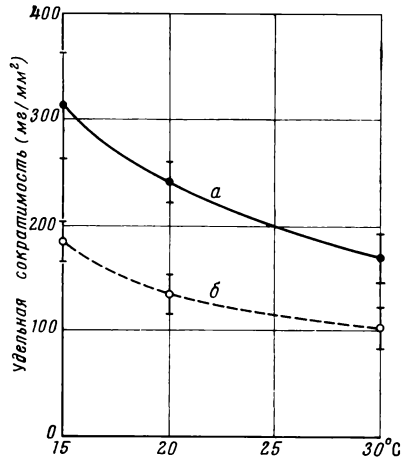


Рис. 7. Зависимость изометрической сократимости миокарда от температуры у зеленой жабы *Bufo viridis* горных (а) и равнинных (б) популяций. По материалам В. Круглова

ском уровне — за счет повышения стойкости тканей к дегидратации у пустынных форм, снижения запроса тканей к кислороду у горных животных, различий в изозимном составе ферментов, термостабильности белков, чувствительности иммуноглобулинов к колебаниям температуры, изменения скорости биосинтеза жиров, степени сродства ферментов к субстрату и т. п. у животных, приспособленных к разным условиям (рис. 6 и 7). Приспособления этого типа не только функционально совершенны, но и не требуют добавочных, компенсаторных затрат энергии, что имеет крупнейшее экологическое значение. Когда у неизвестной нам популяции северных лисиц, которой суждено было дать начало новому виду — песцу, стали развиваться биохимические приспособления к условиям Крайнего Севера, эти условия перестали быть для нее экстремальными, и необходимость в компенсаторных реакциях отпала. Возникла возможность создавать продуктивные популяции на «краю жизни». Сейчас средняя численность песца на единицу угодий выше, чем у любых популяций лисиц, в том числе и развивающихся в богатейших условиях южных степей. Вот таким путем — за счет возникновения специализированных видов — и идет развитие биосферы Земли, освоение жизнью все новых и новых территорий и акваторий.

Мы привыкли восхищаться бушующей природой Юга; чтобы дать представление о ее богатстве, обычно приводят эффектный пример, кото-

рый перекочевал из учебников на страницы газет и популярных журналов: 250 кг биомассы на 1 га саванн Африки дают стада антилоп, зебр, жираф, слонов, бегемотов! И мы совершенно не замечаем, что в «безжизненной» тундре стада северных оленей дают больше биологической продукции, чем любой другой вид оленей, что за два теплых месяца биомасса личинок комаров во временных тундровых водоемах достигает 80 кг/га.

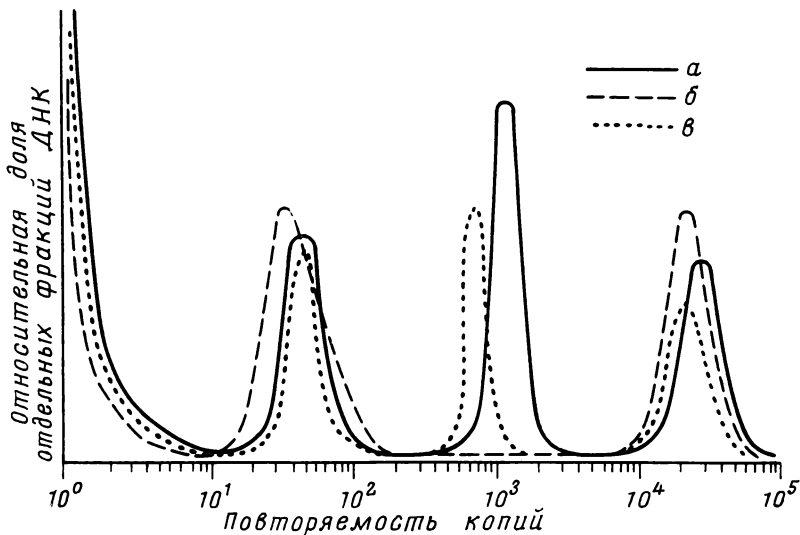


Рис. 8. Геноспектры ДНК полевок *M. arvalis* (а), *M. oeconomus oeconomus* (б), *M. oeconomus chachlovi* (в). По материалам А. С. Антонова и др.

Специализированные виды способны в любой среде создавать максимальную биологическую продукцию. К сожалению, мы, люди, еще не умеем оценивать эту способность и использовать ее в целях создания оптимальных условий для нашей собственной жизни на Земле.

На фоне анализа новейших достижений наук, изучающих физико-химические основы жизни, сведения о численности лягушки, песка или северного оленя могут быть восприняты как данные науки безусловно полезной, но «вчерашней». Не будем, однако, спешить с выводами. В рассматриваемых примерах мы сталкиваемся, пожалуй, именно с одним из основополагающих принципов стратегии жизни — с ее единством. Приспособления северного оленя к жизни на Крайнем Севере охватывают все уровни организации живой материи — от молекулярной структуры функционально активных специализированных белков до структуры стада и поведенческих реакций. Результат этого сложнейшего процесса дает о себе знать на еще более высоком уровне биологической интеграции — уровне биосферы: скудные, медленно восстанавливающиеся пастбища Арктики создают биомассу животных, соизмеримую с биомассой аналогичных уровней цепей питания в любых других ландшафтных зонах земного шара.

Тот факт, что процесс видообразования оказался связанным с приспособлением преимущественно на тканевом, а не на морфо-функциональном уровне, заставил нас поставить крамольный вопрос: всегда ли генетические различия между видами больше, чем между внутривидовыми формами? С точки зрения традиционных представлений этот вопрос звучит, пожалуй, даже нелепо. Ведь хорошо известно, что любая форма ви-

да, будь то порода домашних животных или подвид диких, отличает свой вид от чужого, причем и как потенциального брачного партнера и на интимнейшем иммунологическом уровне. Казалось бы, ответ на поставленный вопрос может быть только один: генетические различия между видами больше, чем между любыми внутривидовыми формами. Эксперименты, однако, дали другой результат. В нашем институте Л. А. Добринской было показано, что иммунологические различия между отдельными популяциями серебряного карася больше, чем между серебряным и золотым карасем. По договоренности с А. Н. Белозерским, ныне покойным, в межфакультетской лаборатории биоорганической химии Московского университета А. С. Антоновым с сотрудниками были изучены нуклеотидный состав ДНК, частоты встречаемости пиримидиновых изоплит и геноспектры у обыкновенной полевки и двух форм полевки-экономки — лесостепной и арктической (рис. 8). Оказалось, что по всем показателям на уровне ДНК, на уровне генома лесостепная форма экономки отличается от арктической формы того же вида больше, чем от обыкновенной полевки. Это значит, что генетическая цена различия между специализированными подвидами может быть больше, чем между видами.



Возникновение специализированных видов, способных с минимальными затратами энергии создавать богатейшую биологическую продукцию практически в любых условиях среды, в конечном итоге привело к распространению Жизни на всей планете, к повышению биопродуктивности Земли. Проблема эволюции отдельных организмов смыкается таким образом с проблемой эволюции биосферы. При этом возникает новый вопрос, представляющий, по нашему мнению, исключительный интерес.

Высшие животные выигрывают битву за жизнь благодаря совершенству своей морфо-физиологической организации. Поэтому такого совершенства надо достичь как можно быстрее, т. е. период детства должен быть сокращен до абсолютно необходимого минимума. Развитие ласточки, только что вылупившейся из яйца, продолжается всего лишь две недели. На фоне грандиозных явлений природы, потрясающих наше воображение, мы спокойно проходим мимо подобных «малых» чудес природы. А ведь это в самом деле чудо: двух недель, оказывается, достаточно, чтобы создать из птенца полноценный во всех отношениях, взрослый организм! Однако победа в жизненной борьбе требует не только индивидуального морфо-физиологического совершенства, но и совершенства популяционной структуры.

Популяция — это та элементарная совокупность особей, которая обладает всеми необходимыми свойствами для поддержания жизни вида в изменяющихся условиях среды неограниченно долгое время. Учение о популяции — обширный и бурно развивающийся раздел биологии. Один из важнейших выводов этого учения сводится к следующему: чем разнообразнее популяция (т. е. чем выше ее генетическая гетерогенность), тем больше ее приспособляемость, ее стойкость по отношению к неблагоприятным факторам среды. Рассмотрим один из аспектов этой проблемы. Личинки громадного числа типично наземных животных развиваются в воде (кровососущие двукрылые, лягушки, тритоны, саламандры) или в почве. Личинка майского хруща развивается в почве 3—4 года, и продолжительность ее жизни многократно превосходит продолжительность жизни взрослого насекомого. Личиночные фазы развития многих видов столь резко отличаются от взрослой формы, что их нередко рассматрива-

ли как самостоятельные виды (угорь, минога и др.). Популяции подобных видов представлены возрастными группировками, занимающими различное положение в сообществе, в системе биогеоценоза и развивающимися в различных условиях среды. Лишь совершенно исключительное сочетание внешних факторов может привести к тому, что условия существования окажутся равно неблагоприятными для всех фаз развития вида.

Природа выработала два магистральных пути достижения биологического прогресса: морфо-физиологический и популяционный. Их совокупность привела не только к поразительному разнообразию живых существ, но и к совершенствованию экологических систем, а в конечном итоге, биосферы в целом. Если численность одной из фаз развития единой популяций вида по каким-либо причинам снизится, но это не отразится на другой его фазе, занимающей иную экологическую нишу, численность вида восстановится в кратчайший срок. Вместе с тем восстановится и оптимальная структура биогеоценоза. Таким образом, сложная популяционная структура вида играет роль важнейшего регулятора процессов, протекающих в природных сообществах.

Высшие животные, характеризующиеся максимальным уровнем метаболизма, обеспечивают быстрое превращение вещества и энергии в биосфере. Животные, одерживающие победу в жизненной борьбе за счет использования своей популяционной структуры, гарантируют стабильность структуры экологических систем, структуры биогеоценозов. Этот процесс отражает общую стратегию развития живых систем.

Способность организма осуществлять оптимальное функционирование в различных условиях среды и быстро восстанавливать возникающие повреждения основана в конечном итоге на принципе субординации систем. Организм-система состоит из клеток, являющихся системами еще более высокого уровня целостности, которые могут приспособительно реагировать на изменение режима своей работы. Аналогично этому биогеоценоз — система наивысшей биологической интеграции — обеспечивает свою стабильность за счет механизмов гомеостаза составляющих его систем — популяций. Значение этих закономерностей нельзя переоценить — они создают предпосылку для формирования стабильных и продуктивных биологических сообществ в измененной человеком среде.

В год юбилея нашей Академии приятно напомнить, что еще в начале века академик В. И. Вернадский отмечал необходимость исследования эволюции организмов в единстве с изучением эволюции биосферы. Эта мысль стала одной из центральных в современной теоретической биологии. Так, в книге Г. Патти «На путях к теоретической биологии», изданной у нас в переводе с английского в 1970 г., утверждается, что жизнь — это свойство, присущее экосистеме в целом, а «не свойство изолированного скопления макромолекул, что центральный вопрос происхождения жизни — это не вопрос о том, что возникло прежде, ДНК или белок, а вопрос о том, какова простейшая экосистема» (стр. 178).

Затронутая проблема имеет не только важное теоретическое, но и исключительное практическое значение. Единственный путь согласования интересов развития индустриального общества с задачей поддержания оптимальной природной среды заключается в создании биогеоценозов, способных к реализации максимальной биологической продуктивности в измененной человеком среде. Это с неизбежностью поставит перед человеком задачу овладеть эволюционным процессом. Реальность ее решения подтверждается данными, свидетельствующими, что природа решает сложнейшие эволюционные задачи простейшим путем, за счет минимальных генетических изменений, в минимальные (даже в масштабах про-

должительности человеческой жизни) сроки. Надо найти пути практического использования заложенных в природе потенций. Эти пути, если не найдены, то во всяком случае уже «нащупаны».

Как уже говорилось, элементарный эволюционный акт заключается в принципиально необратимом преобразовании генетической структуры популяций. Это положение, основное доказательство которого было дано С. С. Четвериковым (1926), поддерживается сейчас большинством эволюционистов. Однако из него не делается необходимых выводов. Если

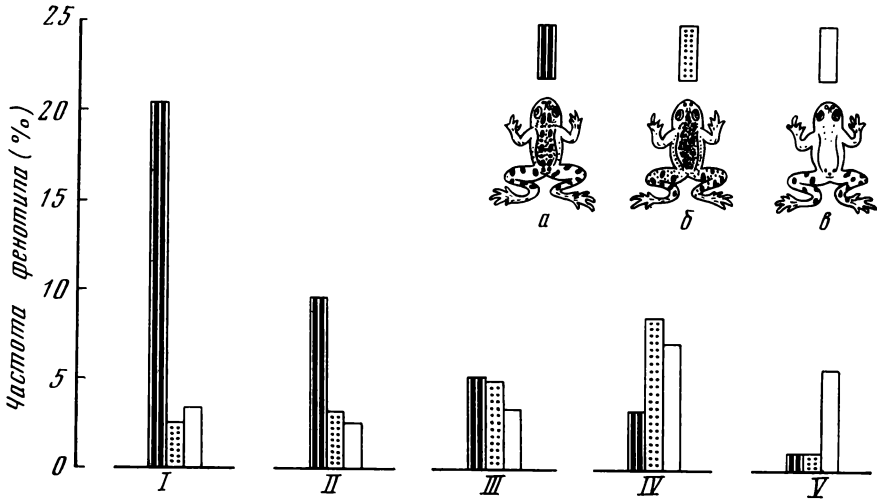


Рис. 9. Частоты фенотипов лягушки *Rana macrospemis* (сеголетки). По материалам В. Г. Ищенко (Северный Кавказ, Голубые озера, 1970)

a — striata, б — punctata, e — burnsi: I—V — озерные заливы.

элементарной эволюирующей единицей признается популяция, то естественно полагать, что ее экологическая структура не может не оказывать решающего влияния на эффективность действия факторов эволюционного процесса, признаваемых в настоящее время ведущими.

Экологическая структура популяции обусловлена распределением животных по территории, соотношением разных возрастных групп, числом животных, родившихся в разное время года, и т. п. Так как различные внутрипопуляционные группы (хорологические и функциональные) развиваются в разных условиях среды, их генетическая структура не может не быть различной. Детальные исследования, проведенные как в нашей, так и в других лабораториях (в том числе и производственных), показали, что эти различия весьма существенны. Микропопуляции, заселяющие различные участки освоенной популяцией территории или акватории, разные возрастные группы и сезонные генерации, животные, приступающие к размножению в разные сроки, и т. п. весьма резко отличаются по относительному количеству разных генетических вариантов (рис. 9 и 10 лучше всяких слов поясняют сказанное). Отсюда следует, что любые существенные изменения экологической структуры популяции с неизбежностью закона приводят к резкому, направленному, экологически целесообразному изменению ее генетического состава. Заслуживает внимания, что наши выводы из экспериментальных работ практически совпали с выводами, к которым пришли американские исследователи путем математического моделирования явлений, связанных с преобразованием структуры популяций (Андерсон и Кинг, 1970). На-

конец, строгие генетические эксперименты показали, что естественный отбор в разных генерациях ведет к разным следствиям (Симмонс, 1970).

Значение работ этого направления заключается не только в том, что они, как мы позволяем себе надеяться, расширяют представления об основных факторах эволюции. Они делают понятными быстрые изменения генетических особенностей ряда форм в ответ на изменения среды.

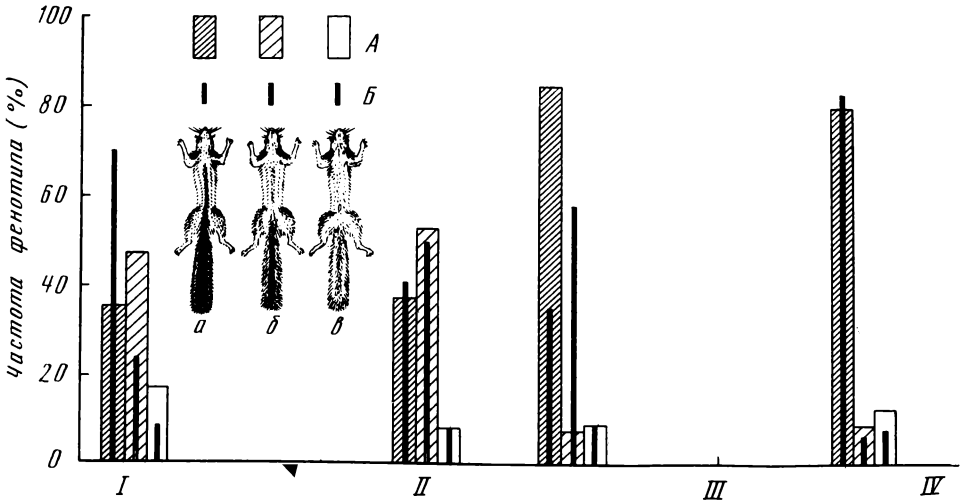


Рис. 10. Изменения частот фенотипов у белки *Sciurus vulgaris* тогондинской популяции в течение цикла численности. По материалам М. Смышляева

а — чернохвостая, б — бурохвостая, в — желтохвостая; А — взрослые, Б — сеголетки; I—IV — фазы цикла численности

вызванные антропогенными воздействиями, и подсказывают пути управления начальными стадиями эволюционного процесса.

Уже в настоящее время имеется полная возможность изменять экологические структуры популяции практически любого вида, направляя тем самым ход микроэволюции по желательному пути. Эксперименты, проведенные непосредственно на природных популяциях, показали реальность подобного подхода к проблеме. В биологии, и в прошлом и в наше время, многие принципиально новые исследования были впервые поставлены на лягушке как особо удобном объекте исследования. Начали с нее и мы. Период икротетания лягушек растянут. При этом было отмечено, что генетический состав животных, приступающих к размножению в разные сроки, неодинаков. В одном из водоемов были созданы условия, которые исключали успешное размножение лягушек, приступающих к икротетанию в поздние сроки, и тем самым были резко изменены соотношения разных генетических вариантов среди закончивших метаморфоз и покидающих водоемы молодых животных. Эти изменения были столь значительны, что к ним вполне применим бытующий в популяционной генетике термин «революция генофонда». Эксперимент предельно скромный, но он ясно свидетельствует, что направленное изменение генетической структуры природных популяций практически реализуемо простейшими средствами. Математическое моделирование, в основу которого были положены генетические параметры совершенно конкретной популяции, показало, что изменение ее возрастной структуры в течение одного сезона приводит к таким изменениям ее генетического состава, которые могли бы быть достигнуты классической формой естественного отбора высокой интенсивности лишь за тысячу лет.



Синтез полученных данных делает очевидным, что уже имеются необходимые предпосылки для управления эволюционным процессом; во всяком случае, управление начальными этапами эволюционного процесса возможно уже в настоящее время. Следует ожидать, что в ближайшее десятилетие человек научится управлять эволюционным развитием животных и растений в их естественной среде обитания: продуктивность полезных видов будет повышена, численность вредителей снижена до биогеоценологически неизбежного уровня. Главное значение приобретет работа по созданию продуктивных и стабильных природных комплексов в измененной человеческой деятельностью среде. Знание законов эволюции отдельных форм и групп и законов эволюции биосферы приобретет новое практическое значение. Единство этих двух фундаментальнейших биологических процессов послужит теоретической основой «новой экологии» — теории создания измененного мира.

Сейчас даже неспециалистам известно, что элементарные живые лаборатории, трансформирующие вещество и энергию в биосфере, — биогеоценозы — работают с очень низким к.п.д.: меньше 1% падающей на Землю солнечной энергии используется зелеными растениями для синтеза первичной органики; в процессе последующей трансформации вещества происходит дальнейшая потеря энергии. В результате лишь тысячные доли процента солнечной энергии используются для создания высшей и самой ценной для человека продукции — животных белков.

Возникает вопрос: почему природа, сумевшая создать структуру столь высокого функционального совершенства, как человеческий мозг, не создала эффективно работающие биогеоценозы?

Допуская стилистическую вольность, можно сказать, что природа в первую очередь заинтересована в создании сообществ стабильных, способных переживать любые катаклизмы, — она заинтересована в стабильности, обеспечивающей вечность жизни. Разные решения аналогичных экологических задач, принципиально различные приспособления разных форм к одной и той же среде обитания — генеральный путь достижения такой стабильности. Этот путь привел к созданию сообществ, обладающих высшей степенью устойчивости, но этот же путь практически сделал невозможным (за очень редкими исключениями) создание сообществ, обладающих высшей продуктивностью. Такое диалектическое противоречие в развитии живой природы может быть разрешено лишь сознательным, прогностически целесообразным вмешательством человека в жизнь природы. Накопленные человечеством знания уже позволяют приступить к этой грандиозной работе.

Так как эволюция биогеоценозов может использовать эволюцию организмов лишь с известным запозданием, работа в данном направлении не только не противоречит общей тенденции эволюции Жизни, но фактически с ней совпадает. Это создает уверенность, что намечен правильный путь решения одной из главных научных и социальных задач нашего времени — согласования прогрессирующей урбанизации и индустриализации с поддержанием оптимальной природной среды, оптимальных условий существования человека на Земле.