

Современный человек, “властелин природы”, обладатель мощнейших запасов смертоносного оружия, обязан наконец понять, что именно он оказался виновником экологических бедствий на планете. Постоянное стремление к жизненному комфорту привело нас к роковой черте глобального экологического кризиса, в котором к традиционному дефициту ресурсов жизнеобеспечения добавился гигантский избыток всевозможных отходов жизнедеятельности человека. Скопления этой массы образовали глобальный антропогенный тромб. Автор статьи призывает к кардинальному изменению образа жизни землян, он считает, что все люди должны относиться к природе как к главной хранильнице среды их обитания.

НОВОЕ ПЕРСПЕКТИВНОЕ НАУЧНОЕ НАПРАВЛЕНИЕ

А.С. Керженцев

Функциональная экология недавно заявила о себе как о самостоятельной области знания [1]. В Англии с 1997 г. начал выходить ежемесячный журнал “Functional Ecology”. Однако некоторые теоретические положения этой новой дисциплины были подготовлены и сформулированы на разных этапах становления и развития экологии как фундаментальной науки.

Экологический подход к описанию биологических объектов применяли в своих трудах отечественные и зарубежные учёные ещё в XVII–XVIII вв.: И.И. Лепёхин, А.Ф. Миддендорф, С.П. Крашенинников, А. Реомюр, А. Трамбле, Ж. Бюффон, К. Линней, Г. Йегер. Тогда же Ж. Ламарк и Т. Мальтус впервые предупредили человечество о возможном истощении природных ресурсов в результате перенаселения Земли. В России экологические тенденции особенно активно развивались во второй половине XIX в. в трудах Н.Ф. Рулье, Н.А. Северцова, В.В. Докучаева. Известный современный американский эколог Ю. Одум (1975) справедливо назвал В.В. Докучаева основателем экологии – один закон природной зональности стоит того.



КЕРЖЕНЦЕВ Анатолий Семёнович – доктор биологических наук, заведующий лабораторией функциональной экологии Института фундаментальных проблем биологии РАН, заведующий кафедрой ЮНЕСКО “Функциональная экология” Пушинского государственного университета.

Э. Геккель впервые выделил экологию как самостоятельный раздел биологии. В своей главной книге “Всеобщая морфология организмов” он писал: «Под экологией мы понимаем сумму знаний, относящихся к **экономике природы** (выделено мной. – А.К.): изучение всей совокупности взаимоотношений животного с окружающей его средой, как органической, так и неорганической, и прежде всего – его дружественных и враждебных отношений с теми животными и растениями, с которыми он прямо или косвенно вступает в контакт. Одним словом, экология – это изучение всех сложных взаимоотношений, которые Дарвин назвал “условиями, порождающими борьбу за существование”» [2, с. 8]. Если в этом тексте вместо двоеточия поставить точку, получится современное определение экологии. Однако, в соответствии с полным определением Э. Геккеля, экология стала разделом зоологии, изучающим экологию животных. Потом возникли другие разделы: в ботанике – экология растений, в микробиологии – экология микроорганизмов, в физиологии и медицине – экология человека. Именно экология человека стала стимулом дробления экологии на множество частных дисциплин, не всегда имеющих отношение к предмету экологии. Н.Ф. Реймерс насчитал 60 различных экологий, разобраться в назначении которых стало трудно даже для специалиста [3, с. 17].

К. Мебиус в 1877 г. ввёл понятие “биоценоз” – закономерное сочетание организмов в определённых условиях среды. Ч. Дарвин осветил основные принципы эволюции органического мира. В начале XX в. появились обобщающие экологические работы Ч. Адамса, В. Шелфорда, Р. Гессе, Ч. Элтона, К. Раункера, в которых подчёркивалась важная роль совокупности разных групп организмов. А. Тенсли в 1935 г. впервые дал опреде-

ление экосистемы как функциональной системы, включающей в себя сообщество живых организмов и среду их обитания. Но в его определении отсутствовали пространственные границы экосистемы, ею могла быть капля воды, лужа, океан, континент, тундра, тайга, степь.

В 1940 г. В.Н. Сукачёв предложил понятие “биогеоценоз”, его вскоре стали называть экосистемой в границах фитоценоза. Поэтому легко произносимый на всех языках термин “экосистема” постепенно вытеснил из научного обихода “биогеоценоз”, сохранив при этом его содержание. Последующие определения уточняли структуру и подчёркивали функциональную сущность экосистемы. Однако сам механизм её функционирования ещё долгое время оставался слабо освещённым.

Экологи тщательно изучали трофические цепи и сети, экологические ниши отдельных видов, биогеохимические циклы разных элементов, реакции организмов на воздействие конкретных факторов среды. Этим вопросам посвятили свои работы российские учёные Э.С. Бауэр, В.Н. Беклемишев, Г.Г. Гаузе, Д.Н. Кашкаров, В.В. Странчинский, А.Н. Формозов. Большой шаг вперёд сделала экология после разработки В.И. Вернадским учения о биосфере (1960).

Во второй половине XX в. экологическую проблематику активно развивали зарубежные учёные Э. Клементс, Дж.М. Андерсен, Э. Пианка, М. Бигон, А. Швейцер, Дж. Харнер, Ю. Одум, Р. Уиттекер, Н. Берлауг, Т. Миллер, Б. Небел. Из отечественных учёных весомый вклад в формирование современной экологии внесли В.Н. Сукачёв, Л.Г. Раменский, И.И. Шмальгаузен, Н.В. Тимофеев-Ресовский, В.А. Ковда, А.Л. Яншин, Н.Н. Моисеев, С.С. Шварц, Т.А. Работнов, Н.П. Наумов, Н.Ф. Реймерс, Н.Н. Воронцов, Б.М. Миркин, В.Г. Горшков.

* * *

Во многих областях научной и практической деятельности постепенно появлялась потребность в информации, отражающей поведение экосистем как целостных природных объектов при совокупном воздействии множества естественных и антропогенных факторов. Именно это стало главным стимулом для зарождения и развития современной экологии как интегральной науки, изучающей экосистемы — новые природные объекты, обладающие относительной автономией, самостоятельными признаками и свойствами. Экология сконцентрировала в себе знания многих естественно-научных дисциплин: биологии, географии, климатологии, почвоведения, ботаники, зоологии, микробиологии, геоло-

гии, химии, физики, математики. Кроме того, экологи успешно используют опыт и научный арсенал, накопленный техническими и социально-экономическими науками [4, 5]. Это помогает, с одной стороны, объяснить поведение экосистемы, которая при любых изменениях факторов среды выбирает самую выгодную для себя линию поведения, а с другой стороны, значительно сокращает время и силы исследователей при разработке теории управления механизмом её функционирования.

Теория управления нужна для того, чтобы организовать рациональное природопользование в соответствии с законами природы. Например, ландшафтная экология изучает структуру экосистем, законы их изменчивости в пространствах методами картографирования. Объектом функциональной экологии служит механизм деятельности экосистем, законы их изменчивости во времени исследуются методами стационарных и дистанционных наблюдений, а также математического моделирования. Прикладная экология использует знания, полученные ландшафтной и функциональной экологией для решения практических задач в области рационального природопользования, охраны окружающей среды и экологической безопасности.

В центре внимания каждой из этих дисциплин — биологические, геохимические и геофизические аспекты экосистем локального, регионального и глобального масштаба. Важно, что главным объектом исследований экологии является экосистема — живая система надорганизменного уровня. Организмы и их популяции в экосистеме учитываются в рамках функциональных групп (продуценты, консументы, редуценты) и сообществ (фитоценоз, зооценоз, микробоценоз, педоценоз).

В химии при изучении конкретного вещества используются свойства составляющих его молекул как сочетаний определённых атомов, а внутренняя структура атомов как сочетаний элементарных частиц относится к области физики (квантовой, ядерной, элементарных частиц). Так и в экологии при изучении экосистемы используются свойства составляющих её биоценозов (фитоценоз, зооценоз, педоценоз) как сочетаний определённых организмов, а видовой состав, морфология и физиология организмов относятся к области биологии (ботаники, зоологии, микробиологии). Такой подход значительно упрощает понимание места экологии в научном ансамбле естествознания: она выросла из раздела биологии в самостоятельную область.

Функциональная экология сыграла роль ядра кристаллизации давно накопленных, но разобщённых знаний о взаимодействиях между разными

ми биологическими сообществами и средой их совместного обитания, о реакциях этой сложной совокупности различных групп организмов на воздействия естественных и антропогенных факторов. Детальный учёт видового состава биоты в экосистеме ведёт к утрате объективности исследования экосистемы как самостоятельного объекта. Зоолог отдаёт предпочтение животным, ботаник — растениям, микробиолог — микробиоте. Остальную биоту каждый специалист относит к внешним факторам. А вот в функциональной экологии отдаётся предпочтение значениям экомассы, соотношениям её компонентов и времени их полного обновления в процессе метаболизма экосистемы.

Устойчивость экосистемы обеспечивается циклическим режимом метаболизма. Поэтому главным предметом функциональной экологии является механизм функционирования экосистемы и поддержания её гомеостаза. Для его изучения выбраны три максимально интегрированных динамических показателя экосистемы: общая постоянно обновляемая масса её вещества (экомасса), характерная структура экомассы, характерное время обновления экомассы и её компонентов. Таким образом, функциональная экология оперирует динамикой масс функциональных групп биоты и их ценозов. Видовой состав учитывается в случае необходимости изучения конкретных свойств отдельных трофических цепей, сетей и экологических ниш, которые относятся к компетенции экологии растений, животных, микроорганизмов. Функциональную экологию можно назвать физиологией экосистем, поскольку она изучает механизм их жизнедеятельности.

* * *

Формирование экосистемы как самостоятельного природного объекта имеет длительную историю в процессе эволюции жизни на Земле. Первыми живыми системами были прокариотные клетки, потом на основе их симбиоза и кооперации последовательно образовались бактериальные маты, эукариотные клетки, многоклеточные организмы, популяции которых объединились в биоценозы, биоценозы — в экосистемы, экосистемы — в биомы, биомы — в биосферу, экосистеме глобального масштаба. Каскадная повторяемость организации автономных живых систем началась с кооперации прокариот в эукариотные клетки.

В архейскую и протерозойскую эры основной формой жизни были микробные сообщества, так называемые бактериальные маты — прообразы будущих экосистем [6]. Это многослойный коврик, верхний слой которого образуют фотосинте-

зирующие бактерии (обычно цианобактерии), они синтезируют органическую массу из минеральных элементов и выделяют кислород. Под ними располагается слой пурпурных бактерий, которые для фотосинтеза используют сероводород и выделяют серу и сульфаты. Там же находятся гетеротрофные бактерии, использующие кислород для разложения органической массы. Нижний анаэробный слой бактериального мата чёрного цвета заселён бродильщиками, разлагающими органику ферментами с выделением водорода, который используют сульфат-редукторы для восстановления сульфатов, необходимых пурпурным бактериям. В итоге получается примитивная экосистема — замкнутый динамический цикл взаимодействия трёх разных групп микроорганизмов.

На рубеже архея и протерозоя, когда жизнь на Земле была представлена исключительно прокариотами, произошло резкое понижение температуры от 50–60 до 8–10°C. В результате скорость биохимических реакций уменьшилась в 20 раз. В условиях геохимического голода доступным источником минеральных элементов оказалась сама биота. Одновременно повысилась концентрация кислорода в атмосфере, что стало угрожать анаэробным процессам примитивного метаболизма прокариотных клеток [7].

Для защиты анаэробных процессов функционирования прокариот от агрессии кислорода и геохимического голода биота выработала несколько способов преодоления кризиса: разнообразные симбиозы на основе обмена организмами отходами жизнедеятельности; гетеротрофию — поглощение живых организмов с их богатым геохимическим содержанием; сапротрофию — разложение отмершей биомассы с высвобождением минеральных элементов. На основе этих механизмов выживания в сложных условиях дефицита элементов минерального питания (ЭМП) и избытка кислорода биота постепенно выработала коллективный метаболизм как универсальный механизм функционирования живых систем разных уровней организации: клетки, организма, экосистемы, биосферы. Каскадно усложняющийся метаболизм стал базовым принципом эволюции жизни на Земле.

Физиология трактует метаболизм как взаимодействие двух противоположно направленных процессов: анаболизма — процесса ассимиляции простых (минеральных) веществ в сложные органические вещества живой биомассы — и катаболизма — процесса диссимиляции сложных органических веществ отмершей биомассы на простые минеральные [8, 9].

Источниками минерального вещества для живых систем всегда служили водные растворы, ат-

мосферные выпадения (в том числе метеоритные) и продукты выветривания горных пород. Однако самым доступным источником ЭМП оказалась сама биота. Живые и мёртвые организмы, отходы их метаболизма стали источниками питания для других организмов. Организмы, адаптированные к конкретным гидротермическим условиям, стали искать партнёров, отходы которых можно обменять на собственные отходы, образуя симбиотические системы.

Впервые в эксперименте А.С. Фаминцын и О.В. Баранецкий (1867) доказали сожительство гриба и водоросли в слоевище лишайника. Это открытие А.С. Фаминцын, позднее избранный действительным членом Петербургской АН, положил в основу теории эндосимбиоза, которую впервые высказал К.С. Мережковский (1878), а намного позднее, в 1983 г., обосновала Л. Маргелис. А.С. Фаминцын в 1918 г. написал: “Растительная клетка разложима на несколько самостоятельных организмов, другими словами, выясняется, что и растительная клетка (как и животная) суть симбиотический комплекс” [цит. по: 10, с. 32]. Фаминцын выдвинул идею о важной роли симбиоза в эволюции жизни. Он пытался доказать, что клетка — симбиотический комплекс, а её органеллы — не продукты дифференциации плазмы, а самостоятельные клетки, что сложные организмы могли возникнуть путём объединения элементарных организмов в колонии с последующим их преобразованием в единицы высшего порядка [11].

В 30-е годы XX в. идея симбиогенеза утратила былую популярность, однако в 1980-е Л. Саган (впоследствии Л. Маргелис) на основе достижений молекулярной биологии и электронной микроскопии воскресила эту плодотворную идею. По мнению Л. Маргелис [12], три основные клеточные органеллы — митохондрии, фотосинтезирующие пластиды и базальные тельца жгутиков — были когда-то свободноживущими прокариотными клетками. В процессе адаптации организмов к суровой среде обитания им стало выгоднее ослабить свою конкурентоспособность и вступить в сожительство с другими организмами на основе обмена отходами жизнедеятельности. Так, лишайник как симбиоз водоросли и гриба может существовать на голой скале и на стволе дерева, которые служат ему не источником питания, а источником конденсата влаги.

* * *

Новые способы существования биоты значительно ускорили эволюцию живых систем. Симбиоз прокариот создал универсальную эукариотическую клетку, многообразии эукариот стало

основой для создания многоклеточных организмов — автотрофов, способных превращать простые минеральные элементы в сложные органические вещества живой протоплазмы. Гетеротрофия послужила началом формирования животного мира, способного использовать для своего жизнеобеспечения живые организмы с их биохимическим содержанием. Сапротрофия создала мир почвенной биоты и послужила основой для формирования экосистемы как коллективного симбиогенеза. Экосистема, подобно лишайнику, способна функционировать автономно за счёт обмена симбионтов (фитоценоза и педоценоза) отходами жизнедеятельности. Общим для всего многообразия живых систем (клетка, организм, экосистема, биосфера) является механизм функционирования — метаболизм, он же обмен веществом и энергией, он же малый биологический круговорот.

Долгое время объектами изучения экосистем оставались организмы, их популяции и сообщества (биоценозы). Поэтому почва учитывалась в качестве эдафического фактора, то есть источника питания, для фитоценоза, наравне с климатом, рельефом и геологическими породами. Но устойчивость экосистемы поддерживает цикл метаболизма, где автотрофная и сапротрофная биота образовала совместное безотходное производство биомассы с её утилизацией. Потери метаболизма здоровой экосистемы не превышают 1% её биомассы [13, 14].

В процессе эволюции жизни сообщества автотрофной (фитоценоз) и сапротрофной (педоценоз) биоты создали цикл метаболизма как систему взаимодействия анаболизма и катаболизма. Отходами анаболизма стали отмершая биомасса (некротомасса), прижизненные выделения организмов (экскреции) и зародыши будущих организмов. Сапротрофная биота в процессе эволюции сформировала систему катаболизма — минерализации и гумификации отмершей биомассы с образованием отходов в форме свободных минеральных элементов (газы, соли, коллоиды) и почвенного гумуса — запасного фонда экосистемы.

Кооперативное участие в экосистеме даёт значительные преимущества всем её компонентам. Они создают в экосистеме микроклимат, более благоприятный, чем за её пределами; обмениваются без дополнительных затрат свои отходы на пищевые ресурсы — отходы жизнедеятельности партнёров; формируют для всего сообщества запасной фонд ЭМП в форме почвенного гумуса на случай их дефицита. Цикличность метаболизма обеспечивает устойчивость экосистемы в конкретном диапазоне факторов среды.

На уровне клетки и организма можно обходиться двумя функциями метаболизма: анаболизма (синтез биомассы) и катаболизма (её распад). На уровне экосистемы пришлось ввести третью функцию — некроболизм: превращение живой биомассы в мёртвую некромассу, которая служит буфером между жёсткими функциями анаболизма и катаболизма. А главное, в процессе некроболизма происходит возрождение жизни, образуются зародыши будущих организмов и первичный запас вещества для их прорастания. Половину жизни организм формирует вегетативную массу, а потом — генеративные органы, генетические чертёжи потомства.

Экосистема — симбиотическое сообщество фитоценоза и педоценоза, функционирующее автономно за счёт обмена симбионтов отходами жизнедеятельности. Она обладает устойчивой структурой и функцией, изменчивостью в пространстве и времени под влиянием естественных и антропогенных факторов.

Ландшафтная экология рассматривает экосистему как совокупность растительных ярусов и почвенных горизонтов на территории, ограниченной почвенным или геоботаническим контуром. Части экосистемы обладают собственной структурой и конкретными свойствами. Функциональная экология при изучении экосистемы использует в качестве структурных показателей её общую массу (экомассу), соотношение масс её компонентов — биомассы, некромассы, минеральной массы — и время их полного обновления. Каждый компонент представляет сумму структурных элементов: биомасса состоит из фитомассы, зоомассы, микробиомассы; некромасса — из опада, подстилки, гумуса; минеральная масса — из продуктов минерализации некромассы в форме газов, солей и коллоидов [1].

Минеральная масса — конечный продукт катаболизма и исходный продукт анаболизма. Она поглощается фитоценозом для фотосинтеза фитомассы. Невостребованные фитоценозом ЭМП взаимодействуют с органическими радикалами, образуя гумус — запасной фонд экосистемы, или выводятся в геологический круговорот: газы уходят в атмосферу, соли — в гидросферу, коллоиды — в литосферу. Потери метаболизма экосистем поддерживают газовый состав атмосферы, солевой состав гидросферы и формируют осадочные породы. Компенсируются потери атмосферными (в том числе метеоритными) выпадениями и выветриванием горных пород [15]. Цикличность и необратимость процесса метаболизма, стационарный режим функционирования экосистем в конкретном диапазоне факторов среды обеспечивают стабильность параметров: характерной массы, характерной структуры, характерного

времени. Термин “характерный” означает стабильность массы при постоянном её обновлении.

В зависимости от суточной, годовой и многолетней динамики факторов среды экосистемы функционируют попеременно в одном из трёх режимов: оптимальном, пессимальном, экстремальном. В оптимальном режиме все биохимические реакции и физиологические процессы совершаются с умеренной скоростью, соответствующей режиму генетической программы конкретного вида; в пессимальном режиме — с замедленной скоростью, поэтому некоторые организмы не успевают пройти все стадии онтогенеза, теряют конкурентоспособность и выпадают из состава биоты экосистемы; в экстремальном режиме — в ускоренном темпе, на пределе физиологических возможностей биоты, это чревато быстрым истощением ресурсов экотопа и преждевременной деградацией экосистемы.

В пространстве биосферы живые организмы адаптируются к оптимальным для каждого вида условиям среды, где они успевают пройти все стадии онтогенеза и воспроизвести полноценное потомство. Поскольку среда регулярно изменяется в суточном, годовом и многолетнем циклах, экосистемы функционируют в режиме перманентной адаптации к меняющимся сочетаниям внешних факторов. Они стремятся к равновесию со средой обитания, но никогда его не достигают, потому что факторы меняются быстрее, чем экосистема успевает на них отреагировать. Догоняющий режим адаптации экосистем — норма, а не исключение.

Факторы внешнего воздействия на экосистемы можно разделить на три категории: природные, антропогенные и смешанные. К природным факторам относятся свет, тепло и влага, которые оказывают прямое воздействие на скорость метаболизма экосистемы, ускоряя или замедляя её. На структуру экосистемы они воздействуют опосредованно через изменение скоростей функциональных процессов. Антропогенные факторы прямо воздействуют на структуру экосистемы путём изъятия, привноса или трансформации экомассы и её компонентов (рубка лесов, выпас скота, травokoшение, посев монокультуры, внесение удобрений). Смешанные факторы — это искусственное освещение, отопление, увлажнение, а также естественное изъятие, привнос или трансформация экомассы в результате стихийных бедствий и экологических катастроф (пожары, инвазии, эпизоотии, обвалы, оползни, землетрясения).

Реакция экосистемы на изменение факторов среды принципиально отличается от реакции организма. Организм в ответ на изменение факто-

ров изменяет функцию, сохраняя структуру, а экосистема, наоборот, меняет структуру, сохраняя функцию. Поэтому изменение численности популяции для видов — показатель их угнетения или наличия стимула, а изменение видового состава экосистемы — всего лишь её адаптивная реакция на изменение факторов среды обитания, так же как для организма изменение ритмики дыхания, кровообращения, сердцебиения является адаптивной реакцией на внешние воздействия.

Изменчивость экосистем во времени под влиянием внешних воздействий и внутреннего развития можно оценивать по трём категориям. Это флуктуации — количественные изменения параметров экосистем в пределах диагностического диапазона; метаморфозы — обратимые качественные изменения параметров экосистем; эволюции — необратимые качественные изменения параметров экосистем, в результате которых формируется новый таксон классификации.

* * *

Человек разумный как биологический вид вступил в конфликтные отношения с метаболизмом экосистем сразу после формирования первого человеческого сообщества. Разум значительно увеличил физиологические возможности человеческого организма путём совершенствования орудий труда, способов охоты и коллективного общежития. Это позволило человеку преодолеть естественный лимит численности популяции, полностью зависимый от наличия ресурсов жизнеобеспечения.

Увеличение численности популяции со временем приводило к дефициту ресурсов и заставляло человека искать выход из кризиса. Для этого ему каждый раз приходилось кардинально менять образ жизни. Так, первобытные охотники, истребившие поголовье крупных животных, стали скотоводами и земледельцами, а после деградации орошаемых земель в результате их вторичного засоления и заболачивания людям пришлось осваивать богарное земледелие с более низкой урожайностью, но бескрайними возможностями для освоения и расселения в пространстве материков.

Изобретение паровой машины и дальнейший технический прогресс резко увеличили ресурсный потенциал человечества и подняли планку лимита численности его популяции на небывалую высоту. Быстрый рост численности населения Земли стал постепенно приближаться к пределу возможностей биосферы. Поскольку рост шёл за счёт подавления численности других видов, природа пыталась сопротивляться монопо-

лизму человека с помощью эпидемий, болезней, катастроф, однако люди всегда находили способы противодействия этим негативным для них явлениям.

Наконец, уже в наше время к дефициту ресурсов добавился избыток отходов жизнедеятельности человека, который стал причиной изменения качества среды обитания самого молодого биологического вида, не способного адаптироваться к среде иного качества. Даже незначительные отклонения от нормы химического состава воздуха, воды и пищи стали вызывать патологические нарушения в организме человека. При этом резко сократились площади естественных экосистем, которые в автоматическом режиме поддерживают качество среды обитания человека. На освоенных территориях до сих пор используются архаичные аграрные технологии, провоцирующие деградацию почв, происходит необоснованное отчуждение плодородных почв под застройку и затопление, загрязнение почв технологическими отходами [16].

Результатом подрыва ресурсной базы и качества окружающей среды может стать полное исключение *Homo sapiens* из списка видов, населяющих Землю. После самоликвидации человека биосфера залечит раны, нанесённые его неразумной деятельностью, и продолжит эволюцию. На каком-то её этапе появится новое разумное существо, которому предстоит повторить весь путь развития человеческого общества с его достижениями и ошибками и подойти к роковой черте глобального экологического кризиса. Если он сумеет вписать жизнедеятельность в цикл метаболизма биосферы, то продолжит существование в ноосфере Земли, управляемой разумом. В противном случае его постигнет участь всех прежних цивилизаций, следы которых мы иногда обнаруживаем, но не можем объяснить причины их гибели.

Прежние кризисы сопровождались колоссальными человеческими жертвами, поскольку всегда заставляли человека врасплох. Современный кризис посылает сигналы своего приближения, предупреждая об опасности, но человек, увлечённый сиюминутным жизненным комфортом, заражённый алчностью и амбициями покорителя природы, не желает замечать этих сигналов. Тех, кто предлагает способы преодоления кризиса, не слушают, считают паникёрами.

Человек, вооружённый мощнейшей техникой разрушения и убийства, не может поверить, что нежная природа способна противостоять технической и интеллектуальной мощи человечества. Он самозабвенно продолжает рубить сук, на котором комфортно сидит в течение многих тысячелетий. Но до его обрушения, кажется, осталось

совсем немного. Чтобы избежать такой трагической перспективы, нужны срочные разумные действия.

Необходима юридическая, экономическая и моральная защита природы от агрессии человека и специальная экологическая наука, ответственная за состояние здоровья природных, аграрных и урбанизированных экосистем. Пока политики, экономисты и юристы будут договариваться о принципах создания экологически безопасного человеческого сообщества, экологи должны разработать технический проект совмещения хозяйственной деятельности человека с циклическим метаболизмом биосферы.

Исторический опыт показал, что разумная деятельность человека всегда следует за достижениями науки. Так, практическая медицина возникла вслед за физиологией человека. Затем на базе физиологии животных сформировалась ветеринария — прикладная наука, ответственная за здоровье животных. Вслед за физиологией растений появилась фитопатология — наука о здоровье растений. И вот, наконец, за последние десятилетия сформировалась новая наука — функциональная экология, которую можно назвать физиологией экосистем. На её теоретической основе уже зарождается экопатология — прикладная наука, обязанная “заботиться” о природных, аграрных и урбанизированных экосистемах.

Впервые о необходимости лечить больную природу заявил мой учитель — академик В.А. Ковда, который в 1989 г. написал небольшую брошюру “Патология почв” в качестве препринта дискуссионного клуба “Биосфера”, созданного по его инициативе при Институте почвоведения и фотосинтеза РАН. Мы решили реализовать эту плодотворную идею на уровне экосистемы — целостной природной единицы, объединившей фитоценоз и педоценоз общим циклом метаболизма. На базе Пушкинского государственного университета в 2010 г. создана кафедра ЮНЕСКО “Функциональная экология”, которая уже разработала учебную программу и начала подготовку специалистов по экопатологии. Будущие экопатологи обязаны профессионально диагностировать характер и степень экологического нарушения, рекомендовать эффективный способ устранения его негативных последствий, контролировать выполнение норм и правил экологически безопасного ведения всех видов хозяйственной деятельности. Техническое обеспечение экопатологии должна взять на себя инженерная экология.

Функциональная экология с её новыми знаниями о механизме функционирования экосистем открывает широкие возможности для решения практических задач в различных областях человеческой деятельности. Например, в экологическом

образовании необходимо прекратить бессмысленное дробление экологии и начать интеграцию знаний об экосистемах как самостоятельных природных объектах. Надо убедительно доказать, что экология — фундаментальная наука, изучающая живые системы надорганизменного уровня: как ботаника — наука о растениях, а зоология — о животных, так и экология — наука об экосистемах. Она должна занять достойное место среди научных дисциплин естествознания. Необходимо создать новую экспериментальную базу функциональной экологии на основе современных методов стационарных и дистанционных измерений динамических параметров экосистем, математического моделирования метаболизма экосистем разного масштаба. Нужно использовать механизм функционирования природных экосистем для разумного управления хозяйственной деятельностью с пользой для человека и без ущерба природе.

Аграрное и лесное хозяйства нуждаются в эффективной системе юридической, экономической и моральной защиты почвенных ресурсов от их отчуждения, загрязнения и деградации. Требуется срочно переходить от традиционных архаичных аграрных технологий с глубокой отвальной вспашкой и монокультурами к альтернативным экологически безопасным технологиям беспашотного земледелия и полидоминантных посевов, внедрить систему региональной ротации естественных и аграрных угодий по аналогии с мерцанием мозаики природных восстановительных сукцессий (GAP-парадигма).

В системе рационального природопользования, охраны окружающей среды и экологической безопасности нужно создать единую модульную систему экологического мониторинга как информационную основу управления природопользованием, качеством среды и её безопасностью. Базовая, оперативная и сигнальная информация о состоянии природных, аграрных и урбанизированных экосистем, о качестве среды обитания человека должна стать пригодной для принятия управленческих решений в данной области на локальном, региональном и глобальном уровне. В наше время возникла потребность в эффективной системе юридической, экономической и моральной защиты природных экосистем, сохраняющих генетический фонд биосферы и регулирующих качество среды обитания человека. Кроме того, необходимо учитывать не только дефицит ресурсов жизнеобеспечения человека, но и избыток отходов его жизнедеятельности, которые образовали новый класс вещества биосферы — третичную антропогенную продукцию, недоступную для рециклирования естественными редуцентами.

В поисках наиболее благоприятного выхода из нынешнего экологического кризиса, безусловно, нужно использовать современные достижения науки и техники, с одной стороны, чтобы максимально сохранить природные экосистемы (регулирующие и поддерживающие качество среды обитания человека в автоматическом режиме и без его участия); с другой стороны, чтобы создать мощную индустрию производства первичной и вторичной продукции для жизнеобеспечения неограниченно растущей численности населения, а также рециклирования третичной (антропогенной) продукции. Всё это должно соблюдаться на глобальном, региональном и локальном уровнях, а контроль могла бы осуществлять глобальная система экологического мониторинга, формально существующая в структуре ЮНЕП.

Надо твёрдо усвоить, что в изменённой среде обитания человек как биологический вид существовать не сможет. Размер территории, капитала и материальных ресурсов значения не имеет, главную роль играет генетическая программа вида и условия её реализации. Если условия не соответствуют программе, она невыполнима, в результате вид выпадет из состава биоты. Это обычная биологическая процедура регулирования численности популяций и видового разнообразия биосферы, она совершается постоянно. Необычным в данном случае является источник нарушения условий среды — сам человек и его хозяйственная деятельность, направленная на обеспечение жизненного комфорта без учёта возможностей природы.

Человеку — “властелину природы” — трудно поверить, что его благополучие и даже само существование зависит от такой “мелочи”, как генетическая программа вида. Многие считают, что геновая инженерия скоро сможет сконструировать новую разновидность человека, способного жить в любых условиях. Вероятно, сможет, но вряд ли успеет: среду обитания человек разрушит гораздо быстрее, чем изменит генетический код.

Просвещённому человечеству пора начать конкретные действия по снижению неумеренных амбиций и алчности, попытаться перенять у природы правила кооперативного взаимодействия и симбиоза, которые позволяют ей устойчиво развиваться на протяжении миллиардов лет. Начиная примерно с эпохи Возрождения человечество живёт в координатах практического бессмертия. Вопрос о возможном исчезновении человека как биологического вида никогда всерьёз не обсуждался. Хотя средневековое христианство пропагандировало идею апокалипсиса, она постепенно стала отдаляться, и сейчас объектом насмешек общества служат наивные люди, несведущие в науках и верящие в “конец света”. Первую обеспокоенность по поводу возможного истощения

природных ресурсов и перенаселения планеты были высказаны в XVII—XVIII вв., но господствовало мнение, что поля бескрайние, моря бездонные, надо хорошо трудиться, и всего всем хватит.

Серьёзной реакцией мирового сообщества на подкреплённый расчётами доклад Римского клуба “Пределы роста” [17] стала Стокгольмская конференция ООН (1972), посвящённая охране окружающей среды. Обсуждение экологических проблем завершилось принятием Плана действий, созданием ЮНЕП — международной организации, ответственной за глобальные проблемы окружающей среды. С этого момента начались ажиотажные поиски причин грядущего бедствия, изобретались методы снижения экологической опасности, контроля экологических нарушений и способов их преодоления. Однако постепенно, по мере нарастания затрат на разработку и внедрение экологически безопасных технологий, активность стала угасать

Виновником экологических бедствий оказался человек, который сумел нарушить закон природы, регулирующий численность популяций всех видов. Угроза возможной гибели популяции в целом в результате изменения качества среды обитания мирным путём делает бессмысленными военные действия за передел территорий и ресурсов. Изменение химического состава воздуха, воды и пищи вкупе с ростом дефицита ресурсов жизнеобеспечения становится несовместимым с жизнью каждого жителя Земли, независимо от возраста, национальности, общественного статуса, размера капитала и т.д. Человек не может снять экологическую проблему с повестки дня. Под давлением экологического кризиса люди должны отказаться от пагубной идеи милитаризации, нацеленной на уничтожение и пожирающей гигантский интеллектуальный и материальный потенциал. Ведь эти средства можно переключить на решение экологических проблем, связанных с выживанием на планете Земля.

Дальше можно помечтать. Изучив механизм функционирования биосферы и экосистем разного масштаба, человек сформулирует теорию управления им, на базе которой он сможет кардинально изменить технологические принципы природопользования и осуществить реальный бесконфликтный переход биосферы в ноосферу. Полученный опыт и новые знания могут стать основой для создания искусственных биосфер на других планетах. Тогда осуществится предсказание В.И. Вернадского о растекании жизни по Земле, ближайшему и дальнему космосу. Об этом же говорил К.Э. Циолковский, надевшийся, что разум человека преодолеет не только земное притяжение, но и архаичное представление о жизнеобеспечении за счёт беспощадной эксплуатации природы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Керженцев А.С. Функциональная экология. М.: Наука, 2006.
2. Геккель Э. Всеобщая морфология организмов. Т. 1. 1866.
3. Реймерс Н.Ф. Экология. М.: Журнал “Россия молодая”, 1994.
4. Бугровский В.В., Вагау И.А., Гольдин Д.А. и др. Об общих свойствах информационных систем в живой природе и технике. Информационные проблемы изучения биосферы. М.: Наука, 1988.
5. Суховольский В.Г. Экономика живого. Новосибирск: Наука, 2004.
6. Марков А.В. Палеонтологический институт РАН. Сотрудничество в эволюции // Экология и жизнь. 2009. № 7–8.
7. Федонкин М.А. Роль водорода и металлов в становлении и эволюции метаболических систем. Проблемы зарождения и эволюции биосферы / Под ред. Галимова Э.М. М.: Книжный дом “ЛИБРОКОМ”, 2008.
8. Реймерс Н.Ф. Основные биологические понятия и термины. М.: Просвещение, 1988.
9. Снакин В.В. Экология и природопользование в России. Энциклопедический словарь. М.: Academia, 2008.
10. Хахина Л.Н. Проблема симбиогенеза. Л.: Наука, 1979.
11. Кузнецов Вл.В., Дмитриева Г.А. Неоправданно забытое имя. К 175-летию со дня рождения академика А.С. Фаминцына // Вестник РАН. 2010. № 8.
12. Маргелис Л. Роль симбиоза в эволюции клетки. М.: Мир, 1983.
13. Горшков В.Г. Физические и биологические основы устойчивости жизни. М.: ПИК ВИНТИ, 1995.
14. Марчук Г.И., Кондратьев К.Я. Приоритеты глобальной экологии. М.: Наука, 1992.
15. Голенецкий С.П., Малахов С.Г., Степанов В.В. К вопросу о природе глобальных атмосферных выпадений и аэрозолей // Астрономический вестник. 1981. № 4.
16. Керженцев А.С., Кузьменчук Ю.А. Другой земли у нас нет // Вестник РАН. 2009. № 4.
17. Медоуз Д.Х., Медоуз Д.Л., Рэндерс Й., Беренс В. Пределы роста. М.: Изд-во МГУ, 1991.