ПОГРАНИЧНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ЭКОЛОГИИ

АКАДЕМИЯ НАУК СССР УРАЛЬСКИЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР

ПОГРАНИЧНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ЭКОЛОГИИ

СБОРНИК НАУЧНЫХ ТРУДОВ

СВЕРДЛОВСК 1986

УДК 574 : 502 : 1М9

Пограничные проблемы экологии: Сб. науч. трудов. Свердловск: УНЦ АН СССР, 1986.

С позиций современной экологии растений и животных рассматриваются пограничные (теоретические и методологические) проблемы взаимодействия общества и природы. Исследуется ряд ситуаций в комплексе наук, ориентированных на решение важнейших проблем современности, связанных с биосоциальными процессами. Изучаются актуальные вопросы использования достижений экологии в рамках междисциплинарного взаимодействия. В статьях используются экологические подходы к задачам, поставленным Продовольственной программой СССР, дается анализ прямого и опосредованного влияния загрязнения среды на состояние биоты и на здоровье человека.

Сборник адресован биологам и специалистам, связанным с исследованием проблем экологизации общественного сознания.

Ответственные редакторы

кандидат медицинских наук **Н. М. Любашевский,**
кандидат биологических наук **О. Ф. Садыков**

Рецензент

кандидат биологических наук **Е. С. Некрасов**

$П\frac{21001\text{-}1359\text{-}44(83)}{055(02)7}$ 26-1986

© УНЦ АН СССР, 1986

АКАДЕМИЯ НАУК СССР УРАЛЬСКИЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР

ПОГРАНИЧНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ЭКОЛОГИИ · 1986

В. Н. БОЛЬШАКОВ, О. Ф. САДЫКОВ, Н. М. ЛЮБАШЕВСКИЙ

ЭКОЛОГИЯ И СОЦИАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ СОВРЕМЕННОСТИ

Современная экология — это наука о закономерностях существования и развития надорганизменных биологических систем [4]. Только при таком подходе экология сохраняет целостность при паритете в исследовании связей организмов разных видов, популяций и экосистем со средой. Это соответствует аут-, дем- и синэкологическому направлениям, ни одно из которых само по себе не может исчерпать всей экологической проблематики. Образно это выражено Риклефсом [10], представившим современную экологию как трехмерное сооружение из нескольких горизонтальных слоев, соответствующих различным уровням биологической организации — от индивидуума через популяцию и сообщество к экосистеме; вертикальные разрезы, проходящие через все слои, делят сооружение на секции, соответствующие форме, функции, развитию, регуляции и адаптации. Сложность биосистем всех рангов такова, что они еще долго будут неиссякаемым источником экологических знаний как сами по себе, так и в комплексе; важно сохранить единый экологический подход, учитывающий связи биосистем различных уровней организации, которые отражают единство жизни как целостного планетарного образования.

Однако в настоящее время существует угроза «растворения» экологии в складывающихся под экологическими названиями междисциплинарных комплексах научных направлений, связанных с проблемами взаимодействия общества и природы. Обострение во второй половине XX в. противоречий в отношениях общества и природы, связанных с окончанием эпохи неограниченного экстенсивного развития производственной деятельности и угрозой экологического кризиса, породило глубокую озабоченность прогрессивной общественности во всем мире.

В последние 10—15 лет экологические проблемы выдвинулись в разряд глобальных проблем современности. Название одной из биологических дисциплин — экологии — ныне все чаще применяется в контексте проблем взаимодействия общества и природы. Увеличивается число публикаций, где предмет эко-

логии трактуется значительно шире, чем это было принято в биологии. Только в США в 70-х годах ежегодно выходило несколько десятков монографий и множество статей, авторы которых относили к экологии весь комплекс экологических проблем. Для небиологов экология становится «наукой о функционировании и развитии планеты Земля — жизненной среды обитания человечества» [12].

Современный эколог выступает как бы в двух лицах. Изучая связи биосистем и общества, он оказывается естествоиспытателем и социологом одновременно. С одной стороны, он сориентирован на получение объективных сведений о взаимодействии биосистем со средой, в том числе и с антропогенными факторами, с другой — самой жизнью поставлен перед необходимостью философски, сквозь призму классового и общественного интереса, рассматривать исследуемые объекты. Обширная область современной экологии оказывается пограничной между научным и философским знанием и лежит на стыке двух форм общественного сознания. Кроме того, объект экологических исследований рассматривается во многих аспектах и такими формами общественного сознания, как политическая идеология, правосознание и мораль. Таким образом, экология, включив в сферу своего внимания вопрос об антропогенных воздействиях на биосистемы и ряд других проблем взаимодействия общества и природы, одновременно оказалась у опасной черты — сведения ее к разделу обществознания.

Огромная общественная значимость пограничных проблем может заслонить необходимость сохранения экологии как науки биологической. В то же время феномен «экологизации» общественного сознания приводит все более широкие массы людей к убеждению, что дальнейший прогресс человечества возможен лишь как составная часть общего прогресса жизни на планете, и нет альтернативы неизбежному переходу к планомерному и научно обоснованному ведению мирового хозяйства, к управлению прогрессивным развитием общества и биосферы.

Всеобъемлющий научный подход к решению эколого-социальных проблем из-за отсутствия адекватной теории взаимодействия общества и природы и соответствующей научной дисциплины пока неосуществим. Тем не менее наличие такой науки все чаще рассматривается как априорный факт. Последовательно научному экологическому подходу в равной мере чужды как мрачный пессимизм в духе первых докладов Римского клуба, так и неоправданный оптимизм, доминировавший до недавних пор в нашей литературе, при котором присущая социализму **возможность** осуществления рационального и научно обоснованного природопользования трактовалась **как реальность.** Экологический подход, во-первых, заключается в признании глобальной угрозы экологического кризиса, во-вторых, дает дополнительное обоснование естественно-исторической необхо-

димости коммунистического переустройства мира и, в-третьих, позволяет принципиально оценивать современные производительные силы, намечать конкретные пути ликвидации экологически опасных производств или предотвращения отрицательных последствий от воздействия на среду со стороны вновь развиваемых отраслей промышленности и сельского хозяйства.

Социальный заказ к науке, порожденный угрозой экологического кризиса, ясен. Для его выполнения необходимо точно определить место экологии в ряду наук, разрабатывающих проблемы взаимодействия общества и природы.

Институт экологии растений и животных УНЦ АН СССР имеет определенный опыт решения различных вопросов прикладного социоэкологического характера и активного сотрудничества при этом с философами, медиками, специалистами сельского, лесного, охотничьего и рыбного хозяйства. Однако достигнутый уровень взаимодействия специалистов разных профилей пока еще не соответствует сложности современных задач. Наша цель — способствовать созданию теоретической платформы для действенного творческого объединения представителей экологических направлений в естественных, общественных и технических науках. Лидерство экологов в таком объединении — явление временное. Это необходимый начальный этап формирования нового экологического стиля научного мышления. Неотложным представляется нам привлечение некоторых профессиональных биологов, работающих в области экологии, к участию в комплексных объединениях, нацеленных на выработку рекомендаций по решению конкретных проблем социоэкологического плана. Это обеспечит и необходимое для общества участие экологов в решении проблем теории и практики природопользования, и дальнейший прогресс экологии как науки.

Можно ли считать решенным вопрос о возможности и целесообразности создания социоэкологии как самостоятельной научной дисциплины? Многие исследователи относятся к этому в принципе положительно и расходятся лишь в названиях данной науки, оценках ее генезиса, предмета и проблем.

Так, по мнению Э. В. Гирусова [3], предметом социальной экологии являются законы оптимального соответствия деятельности людей и процессов развития окружающей среды как целого. В этом автор видит особо комплексный характер социальной экологии, возникающей на стыке практически всех современных наук. Социальная экология оказывается не только некой сверхнаукой, но и противопоставляется «прежним» наукам, поскольку, как полагает Э. В. Гирусов, «почти все прежние науки возникали в ответ на потребность в расширении воздействия людей на природу для более интенсивного использования ее ресурсов», тогда как «социальная экология возникает в ответ на потребность в сокращении опасного воздействия

людей на природу для сохранения природных условий жизни людей». Но при таком подходе совершенно неясно, каким образом на стыке множества «прежних» наук может возникнуть новая воспретительная, нормативная наука, являющаяся противовесом расширительным тенденциям развития производства и потребления. Неясно также, почему особую роль в развитии социальной экологии Э. В. Гирусов отводит географической науке, а не собственно экологии, поскольку центральными для социальной экологии автор считает понятия «социобиогеоценоз» или «социоэкосистема», которые производны от экологических понятий биогеоценоза и экосистемы. Непонятно, каким образом ограничительная нормативная наука может способствовать дальнейшему развитию производительных сил общества. Следует иметь в виду, что преувеличение воспретительной функции новой науки чревато неоправданным торможением научно-технического прогресса при сохранении ситуации на грани кризиса, тогда как задача, по-видимому, состоит в разработке способов перехода к принципиально новому типу взаимодействия общества и природы.

И. Д. Лаптев [7] считает, что «экология первоначально возникла и понималась как отрасль биологии, изучающая живые организмы в их естественной среде обитания... В настоящее время многочисленные проблемы во взаимодействии людей с природой придали экологии социальную окраску. Экология вида *Homo sapiens* становится разделом социологии, изучающим взаимоотношения человека с природой, и все чаще определяется как социальная экология».

О том, что экология «на наших глазах становится теоретической основой поведения человека индустриального общества в природе», писал С. С. Шварц [14]. Однако это не означает, что экология в целом перестает быть естественной наукой.

О. С. Колбасов [5], рассматривая такую важную проблему, как связь с экологией правовых основ охраны природы, определяет содержание экологии как совокупность всех проблем взаимодействия общества и природы, взятую в их научном отражении. Но тогда непонятно, как именовать науку, отражающую взаимодействия биосистем со средой обитания в целом, а не только с преобразованной человеком средой.

Е. К. Федоров [11] считает возможным называть экологическими проблемы, относящиеся ко всему процессу взаимодействия человека, человеческого общества с природной средой. Это вполне оправдано, если признается, что сохраняют свою актуальность и традиционные «экологические» проблемы, решением которых занимается экология еще с тех времен, когда ее принадлежность к биологии не оспаривалась.

И. И. Кравченко [6], рассматривая социальную экологию как результат совмещения эмпирической социологии и экологии, констатирует, что попытки создать экологическую супер-

науку не увенчались успехом, несмотря на обилие претендентов на эту роль и надежды некоторых исследователей. По его мнению, социальной экологией целесообразно именовать «уровень экологических исследований непосредственного общения человека с конкретным природным (в том числе и общественным) окружением с точки зрения функционирования, жизнедеятельности, поддержания физического существования и развития самого человека и среды его общения». Это — лишь один из срезов общей экологически ориентированной теории. Другой ее срез — глобальная экология. Социальная экология ведет исследования на микро-, а глобальная — на макроуровнях. С расширением масштаба охватываемых пространственных агрегаций социальная экология переходит в глобальную. Роль же интегратора в таком случае играет не сама экология человека, а некая экологически ориентированная общественная теория.

В «Философской энциклопедии» [13] социальная экология определена как раздел социологии, который разрабатывает проблемы взаимоотношения человека и среды (в том числе и социальной) и отмечено, что ни предмет данной дисциплины, ни ее главные понятия не определены достаточно четко, хотя первые этапы ее развития относятся к 20-м годам XX в.

Отсутствие единства взглядов на социоэкологию даже среди сторонников версии о существовании этой науки — свидетельство того, что данная наука пока не сформировалась и мало шансов на то, что это произойдет в недалеком будущем. В то же время государственные и общечеловеческие интересы требуют от ученых, прежде всего от экологов, решительного поворота к изучению новых вопросов, касающихся взаимодействия общества и природы, к поиску конкретных путей решения экологических по сути и социальных по происхождению проблем. Экологизация человеческой деятельности требует закономерной интеграции разных наук, но для этого не нужно умножать число попыток немедленного формирования некой новой науки. Пока достаточно переориентации части специалистов, активно работающих в сложившихся областях науки, на решение экологических проблем. Очень важно, чтобы эти специалисты сохраняли живую связь со своей наукой, и тогда общенаучный прогресс будет работать на решение социоэкологических проблем.

В общественных науках тенденция экологизации проявилась достаточно четко. Так, И. И. Кравченко [6] отмечает, что «важнейшие построения современного конструктивного буржуазного обществознания — теория модернизации, индустриального и постиндустриального общества, прогностическая теория развития — в разной мере соотносятся с экологической проблематикой, а степень ее включения в социальные исследования в определенном отношении стала показателем глубины и масштаба социального познания». Наблюдается рост интереса к экологи-

ческим проблемам и со стороны советских обществоведов. Экологическая проблематика находит все большее отражение в технических дисциплинах, что проявляется в разработке принципиально новых безотходных технологий, в конструировании приборов и оборудования природоохранительного назначения.

Общей теоретической платформой, позволяющей целенаправлено развивать различные подходы к решению всего комплекса проблем в системе «общество — природа», является, по нашему мнению, диалектико-материалистическая концепция, выдвинутая академиком В. И. Вернадским. Краеугольный камень этой концепции — признание необходимости перехода от несвязанных между собой и стихийных процессов биогенеза и техногенеза к лишенному внутренних антагонистических противоречий ноогенезу.

Цель ноогенеза — становление и неограниченное прогрессивное развитие ноосферы — сферы разумного и управляемого взаимодействия общества и биосферы при обязательном сохранении естественных основ функционирования последней. Это единственно возможный путь неограниченного прогресса цивилизации на Земле.

Для нас очевидно, что создание ноосферы как единого планетарного образования возможно только при коммунизме. Однако в современных условиях для большинства наук существует широкое поле деятельности в рамках концепции ноосферы.

Руководящим принципом преодоления антагонистических противоречий в отношениях общества и природы мы считаем постепенное приведение всех мер воздействия на природу, включая и самые локальные, в соответствие с перспективной целью создания ноосферы. Потребуются коррекция многих формулировок общественного прогресса и экономической выгоды, отказ от экологически опасных технологий, изменения структуры потребления. Человеческая деятельность, касающаяся взаимодействия с природой, будет постепенно включаться в биосферный круговорот вещества.

Особая ответственность за развитие соответствующих ноосферному содержанию знаний лежит на советских ученых — гражданах страны, строящей коммунизм. Под таким углом зрения и следует рассматривать процесс обращения советских экологов к социологической проблематике. Наука экология не нуждается в формулировании принципиально новых целей или изменениях ее структуры, но в рамках ее традиционной проблематики необходимо и возможно выделять социальные или ноосферные аспекты.

Экологический анализ необходим прежде всего для достоверного прогноза последствий антропогенного влияния на природу. Требуется определить, когда и где концентрация техногенных загрязнений может достичь угрожающего уровня, какие

экосистемы пострадают и какого рода социальный эффект будет преобладающим (непосредственное влияние на здоровье человека, понижение продуктивности экосистем, в том числе агроценозов, и т. п.). От доказательности такого рода заключений зависит эффективность подключения других научных учреждений и директивных органов к предотвращению неблагоприятных техногенных сдвигов.

Так, в рамках аутэкологической проблематики все большую актуальность приобретают исследования по прямому влиянию на биологические виды различных техногенных факторов. Это вызвано возрастающим прессом производственной деятельности, которая так или иначе влияет на свободно живущие организмы различных систематических групп — от бактерий до высших позвоночных.

В этой связи проблемой огромной важности является разработка норм экологически допустимых выбросов, для чего необходимо выявлять наименее устойчивые к загрязнениям группы видов, разрабатывать методы биоиндикации, оценивать биогеоценотические и гигиенические последствия длительного воздействия таких доз загрязнителей, которые признаются допустимыми. Самостоятельная проблема — экологический мониторинг.

Важный объект аутэкологии — сам человек в условиях урбанизированных ландшафтов и в районах с экстремальным климатом. Исследования в этом направлении требуют тесного сотрудничества экологов с гигиенистами, архитекторами, технологами, проектировщиками.

Перечисленные социальные аспекты аутэкологии не исчерпывают их разнообразия, но позволяют судить о том, насколько широк их круг.

Переходя к демэкологии (популяционной экологии), прежде всего следует остановиться на ее перспективном объединении с экологической генетикой для решения такой фундаментальной проблемы, как защита генофонда. У демэкологии и экологической генетики общий основной объект исследований — популяция. При оценках воздействия на нее тех или иных техногенных факторов следует исходить из биогеоценотических, а в перспективе — нооценотических критериев изменения ее генетической и экологической структуры.

В настоящее время происходят быстрые преобразования среды обитания многих видов организмов. Возникает проблема оценки соизмеримости темпов изменения ее качества с возможными темпами реализации адаптационных процессов в популяциях растений, животных и человека. Поэтому необходимы комплексные эколого-генетические исследования динамики популяций, находящихся под антропогенным прессом.

В качестве самостоятельного направления в настоящее время развивается популяционная экология человека, которая ис-

следует законы становления, авторегуляции и динамики человеческих популяций и имеет ряд общих проблем с антропологией, гигиеной, медицинской генетикой, экологической генетикой человека, демографией, социологией, социальной психологией. Это подразумевает возможность широкого комплексного охвата различных вопросов экологии человека, в том числе изучение популяций человека в отношении к «дему» и «этносу», изучение «экологических ниш» человеческих популяций и анализ разнообразия включающих их социоэкологических систем, исследование вопросов эволюции человека, прогнозирования, профилактики и лечения заболеваний. Такой подход позволит раскрыть новые существенные стороны ряда социальных проблем, несмотря на то, что свойства человека как биологического вида по мере исторического развития выступают во все более «снятом» виде.

Плодотворна идея определения «популяций» человека по социальным, а не биологическим признакам [8]. Целесообразно выделять популяции людей, находящихся в «близких условиях риска» по отношению к воздействию того или иного фактора, например ионизирующего излучения, токсичных промышленных эксгалатов, неблагоприятных санитарно-гигиенических условий, эпидемических заболеваний. Такой социопопуляционный подход не только не нивелирует отношение к отдельным лицам, оказавшимся в одной группе, но и позволяет глубже учитывать индивидуальные особенности их реакции на факторы среды. Данные популяционной экологии человека органически включаются в общую теорию взаимодействия общества и природы, поскольку позволяют находить параметры среды обитания человека, отвечающие его биологическим особенностям.

Демэкология имеет немало других выходов на социальные и экономические проблемы. Так, разработка прогрессивных методов ведения сельского, лесного и охотничьего хозяйства требует повышения комплексности использования эксплуатируемых угодий. Нерешенные проблемы, связанные с нерациональным использованием или несовершенной охраной тех или иных видов растений и животных,— прямое следствие узковедомственного подхода и существующего до сего времени разрыва между академической наукой и практикой.

В охотничье-промысловых хозяйствах нужно внедрять подлинно научную организацию промысла с учетом особенностей конкретной опромышляемой популяции в такие периоды и в таком объеме, чтобы выход продукции был максимальным при сохранении возможностей для дальнейшего расширенного воспроизводства. Для этого необходимы всесторонние популяционные исследования.

Таких же детальных популяционных исследований требует и борьба с организмами-вредителями сельского и лесного хозяйства и переносчиками опасных заболеваний. Эффективное

ограничение их численности требует выявления резерваций и организации направленного воздействия на популяции вида прежде всего в периоды депрессии его численности, а не после того, как она начинает причинять ощутимый ущерб. Это позволит отказаться от крупномасштабных обработок полей и лесов различными ядами, которые наносят вред массе полезных организмов. Следует целенаправленно искать резервации также для всех видов, популяции которых мы предполагаем охранять или эксплуатировать. Занимая, как правило, очень незначительную часть ареала вида и конкретной популяции, резервации гарантируют существование вида и его самовозобновление после воздействия любых элиминирующих факторов, включая и промысел. Направив охранительные мероприятия непосредственно на зоны видовых резерваций (естественных или искусственно созданных) и одновременно повышая изъятие за их пределами, можно стимулировать население резерваций к интенсификации размножения, увеличить продуктивность угодий. Сказанное касается и рыбного хозяйства. Пока же в отношении практического использования достижений популяционной экологии гораздо больше потенциальных, еще не реализованных, возможностей, чем реальных достижений.

Не принижая важности аут- и демэкологии в решении социальных проблем, следует отметить, что ведущую роль в теоретическом обосновании и практическом созидании ноосферы, в решении социальных проблем настоящего периода должна играть синэкология (биогеоценология или экология сообществ).

Даже самые первые конкретные шаги в созидании ноосферы потребуют целенаправленного труда нескольких поколений людей и разработки научных представлений об ее элементарных функциональных единицах, которые, по аналогии с элементарными структурными подразделениями биосферы — биогеоценозами, могут быть названы социобиогеоценозами [3] или более коротко и точно — **нооценозами** [1].

Нооценозы будут включать в себя как обычные для биогеоценозов компоненты в их естественных связях и при сохранении биотического круговорота веществ, так и людей в качестве консументов производимой в нооценозе продукции. Технология, продукция и отходы производства должны быть включены в единый нооценотический круговорот веществ.

Весьма вероятно, что на ранних этапах созидания ноосферы в основных физико-географических регионах планеты (или странах) потребуется создание экспериментальных нооценозов, чтобы с их помощью решать теоретические и практические вопросы такого грандиозного проекта, как создание ноосферы. Вопрос о том, какими быть неоценозам ближайшего будущего, следует поставить перед наукой уже сейчас. Не упускаем ли мы сегодня возможности создания модельных неоценозов, связанные со строительством новых территориально-производственных

комплексов (ТПК) или новых агропромышленных комплексов? К сожалению, упускаем, хотя существуют реальные предпосылки для конструирования экспериментальных нооценозов. Эта работа невозможна без детальных знаний о процессах и явлениях, протекающих в подверженных антропогенному воздействию экосистемах, без выявления пространственно-временных параметров адаптированных к этому воздействию сообществ. Напомним, что до сих пор нет ясного представления о долгосрочных экологических последствиях воздействия на природу и человека всей совокупности факторов современного производства, развитие которого в данном отношении остается в значительной мере стихийным процессом. Без учета же самых отдаленных последствий антропогенного воздействия нельзя предотвратить угрозу экологического кризиса.

Существуют виды производства, которые в предвидимом будущем по чисто технологическим причинам окажут неблагоприятное влияние на экосистемы, находящиеся в зонах действия их выбросов. В радиусе функционирования таких предприятий следует начать целенаправленное формирование искусственных экосистем из устойчивых к данному загрязнению видов. Это касается и зон с интенсивной рекреационной нагрузкой. Разработка методов создания искусственных продуктивных и устойчивых экосистем — актуальная задача синэкологии.

Следует тщательно изучать прошлый опыт осуществления крупных технических проектов у нас в стране и за рубежом. Нельзя допускать повторения имевшихся ошибок и просчетов, примером которых могут служить недостатки в проектировании и строительстве каскадов крупных водохранилищ на равнинных реках [9].

Искусственное перераспределение поверхностного стока, затопление плодородных земель, изменения экологических условий в целом повлекли за собой неблагоприятные последствия для сельского хозяйства и рыболовства на огромных территориях. Экологические последствия создания водохранилищ-гигантов стали изучаться с 25-летним опозданием. О недостатках в гидростроительстве уместно вспомнить теперь, когда интенсивно изучается вопрос о переброске части стока Оби в Среднюю Азию. Привлекательность данного проекта в том, что орошение миллионов гектаров земель в зонах с продолжительной интенсивной инсоляцией позволит, по некоторым расчетам, снимать до трех урожаев в год, каждый из которых будет заведомо больше, чем снимаемые раз в году урожаи в умеренной зоне. Но при орошении пустынь имеется опасность их быстрого вторичного засоления. Отсутствует пока и экологически обоснованная стратегия освоения пустынь. Нет ясности и в том, что предпочтительнее в долгосрочном плане: несколько крупных магистральных каналов с лентами орошаемых угодий вдоль их берегов или сеть разбросанных по пустыням оазисов

с сохранением на большей части территории традиционного пустынного скотоводства, которое может быть весьма продуктивным и без больших затрат водных и энергетических ресурсов. Кроме того, необходимо во избежание неприемлемого риска точно оценить последствия переброски для природы бассейна Оби.

Нет сомнения в том, что роль экологии в решении крупных целевых программ будет неуклонно возрастать. Сейчас вся страна участвует в выполнении Продовольственной программы СССР. Определенный вклад в ее решение внесут и советские экологи. Работа по Продовольственной программе должна сочетаться и с более далекими перспективными целями, связанными с переходом на принципиально иную систему производства продуктов питания и сельскохозяйственного сырья. Возможно, следует более настойчиво искать пути отказа от монокультур и вернуть культурным ландшафтам мозаичность, что позволит отказаться от применения ядохимикатов и оптимальным образом сочетать ведение сельского, охотничьего и рыбного хозяйств, эффективно противостоять эрозионным процессам и прогрессирующему падению плодородия почв. Колоссальные выгоды для природы и общества сулит внедрение таких севооборотов и агрономических приемов, которые позволяют интенсифицировать биологическую азотфиксацию и в перспективе минимизировать применение дорогостоящих и, что самое главное, экотоксичных азотных удобрений. Это позволит почти на треть сократить потребление энергоресурсов в сельском хозяйстве страны.

Среди социальных аспектов экологии важное значение приобретает разработка экологических основ экономики природопользования. Экологи должны помочь экономистам определить цену чистого воздуха, чистой воды, нерубленного леса — тех видов ресурсов, которые ранее доставались потребителю даром или почти даром, несмотря на то, что они — богатство народа в прямом смысле этого слова. Академик И. П. Герасимов [2] пишет по этому поводу, что «на основе проводимых экологических исследований прежде всего социально-экономического характера должны формулироваться социальные, экономические и правовые основы всего социалистического природопользования». И далее он отмечает, что «фундаментальные научные работы по различным вопросам социалистического природопользования должны проводиться широким фронтом... условием их успеха является тесное комплексирование всех таких исследований на основе единых общих программ».

Дополнительные требования предъявляет к советским экологам современный этап в соревновании двух мировых систем, когда экологическая проблематика все в большей мере выходит на передовые рубежи идеологической борьбы. Не должны обходить экологи и назревшую необходимость резкого повыше-

ния уровня экологического образования всего населения и экологического воспитания подрастающего поколения.

Прочная теоретическая и материальная база советской экологии и науки в целом, неустанная забота партии и Советского государства о прогрессе во всех сферах жизни нашего народа позволяют нам с оптимизмом смотреть в будущее и надеяться, что самые сложные проблемы взаимодействия общества и природы будут успешно решены. Долг ученых — всемерно этому способствовать.

ЛИТЕРАТУРА

1. Большаков В. Н., Любашевский Н. М., Потапейко С. А., Садыков О. Ф. О роли экологии в решении глобальных проблем современности.— В кн.: Марксизм-ленинизм и глобальные проблемы современности. М., 1983, с. 208—211.

2. Герасимов И. П. Социалистическое природопользование и задачи фундаментальной науки.— В кн.: Город, природа, человек (Проблемы экологического воспитания). М., 1982, с. 18—28.

3. Гирусов Э. В. Социальная экология о возможностях общественного развития.— В кн.: Рекреация и охрана природы. Тарту, 1981, с. 3—6.

4. Информационные материалы Научного совета по проблеме «Биологические основы освоения, реконструкции и охраны животного мира». Проблемная записка АН СССР. М., 1980. 71 с.

5. Колбасов О. С. Экология: политика — право. М.: Наука, 1976. 230 с.

6. Кравченко И. И. Экологическая проблема в современных теориях общественного развития. М.: Наука, 1982. 214 с.

7. Лаптев И. Д. Экологические проблемы. М.: Мысль, 1982. 246 с.

8. Москалев Ю. И., Дибобес И. К., Журавлев В. Ф., Рядов В. Г., Терман А. В. Концепция биологического риска воздействия ионизирующего излучения. М.: Атомиздат, 1973. 68 с.

9. Новиков Ю. Внимание: вода! М.: Молодая гвардия, 1983. 206 с.

10. Риклефс Р. Основы общей экологии. М.: Мир, 1979. 424 с.

11. Федоров Е. К. Социальные аспекты экологических проблем.— В кн.: Социально-экономические аспекты проблемы природопользования на Севере Сибири. Якутск, 1982, с. 30—38.

12. Фокин А. В., Хозин Г. С. Экология в системе глобальных проблем современности.— В кн.: Будущее науки. М., 1982, с. 217—234.

13. Философская энциклопедия. М.: Сов. энциклопедия, 1970, т. 5, с. 543—544.

14. Шварц С. С. Экологические основы охраны биосферы.— Вестн. АН СССР, 1973, № 9, с. 35—49.

АКАДЕМИЯ НАУК СССР УРАЛЬСКИЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР

ПОГРАНИЧНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ЭКОЛОГИИ 1986

Д. А. КРИВОЛУЦКИЙ

ЭКОЛОГИЯ ЧЕЛОВЕКА И ВОПРОСЫ УПРАВЛЕНИЯ БИОСФЕРОЙ

Проблема взаимоотношения биосферы и развивающегося человеческого общества — одна из самых значительных в современом естествознании. Внимание общественности в настоящее время привлечено к тем изменениям окружающей среды, которые происходят под влиянием промышленного производства и других форм хозяйственной деятельности человека. Эти процессы изучаются во многих странах, в том числе и в нашей, многими научными учреждениями. Исследования в этой области предусмотрены планом научного сотрудничества ученых стран СЭВ, а по линии ЮНЕСКО — программой «Человек и биосфера». Здесь на первый план выходит экология, поскольку именно она должна служить научной базой охраны и рационального использования всех живых ресурсов биосферы.

В наши дни экология — бурно развивающаяся область знания. Огромно количество работ исследовательского и публицистического характера, которые появляются в свежих номерах газет, журналов, в виде отдельных книг. С учетом конкретных задач, которые приходится решать современной экологии, ее можно определить как науку об управлении живым покровом Земли. Такова общая направленность исследований, стратегия научного поиска в экологии. Внимание ученых привлекают вопросы экологии человека. Это направление пока не успело четко выделиться среди близких проблем, таких как взаимодействие человека и природы, регулирование биологических ресурсов планеты и им подобных. Основное внимание здесь привлекает сам человек, а не окружающая его среда, и поэтому на начальном этапе развития экологии человека на переднем плане были медицинские аспекты проблемы. Эта проблематика является новой для экологии, о чем убедительно писал академик С. С. Шварц [8], но и она имеет глубокие корни в науке, поскольку восходит к основополагающим работам К. Маркса и Ф. Энгельса, раскрывшим диалектику взаимоотношения человека и окружающего его мира.

Крупным этапом в развитии представлений о роли человека

в природе явились работы академика В. И. Вернадского. Им были сформулированы важные положения о биосфере, сфере разума — ноосфере и особенностях геологических и геохимических процессов, которые протекают в биосфере под влиянием деятельности человека [2—4]. В работе «Эволюция биосферы» В. И. Вернадский так обобщил свои представления:

1. Человек, как все живые организмы, как всякое живое вещество, есть определенная функция биосферы, в определенном ее пространстве — времени.

2. Человек во всех его проявлениях составляет определенную закономерную часть строения биосферы.

3. «Взрыв» научной мысли в XX столетии подготовлен всем прошлым биосферы и имеет глубочайшие корни в ее строении — он не может остановиться и пойти назад. Ноосфера — биосфера, переработанная научной мыслью, подготовленная длившимся миллиарды лет процессом, создавшим *Homo sapiens* Faber,— не есть кратковременное и преходящее геологическое явление [4].

В 30-е годы нашего столетия в научный оборот был введен термин «экология человека», сразу же получивший широкое распространение. Здесь уместно вспомнить, что в то время изучение адаптаций признавалось едва ли не главной задачей экологии и, соответственно, важным направлением работ в экологии человека считали анализ приспособлений организма человека к разным климатическим условиям. На наш взгляд, задача эта целиком относится к медицине. Появилось немало исследований по экологии человека, особенно в англоязычных странах [9—19]. Высказывавшиеся иногда опасения по поводу неоправданной «биологизации» или «экологизации» человека, поскольку де возможно спутать биологические и социальные явления, едва ли могут служить препятствием для развития экологии человека, так как в наше время экология — конкретная наука со своими специфическими методами и объектами исследования. И нет оснований экологию смешивать с социологией, говоря о «биосоциальном» характере экологии,— а такие призывы иногда приходится слышать. Опыт других научных дисциплин, например медицины и социологии, показывает, что, изучая один и тот же объект, человека, разные науки могут успешно решать собственные задачи и находить области плодотворного сотрудничества.

Человек и экосистемы. Среди многих аспектов экологии человека не вызывает сомнений правомочность изучения экологическими методами и подходами взаимодействия человека со средой обитания, особенно в отношении производства и использования пищевых ресурсов. Здесь для эколога открываются большие возможности применения методов трофических связей, пищевых цепей и балансовых характеристик питания, которые давно разработаны в экологии, и адаптация этих мето-

дов по отношению к человеку и используемым им биологическим ресурсам вполне оправдана.

Попытку рассмотреть некоторые экосистемные аспекты экологии человека предпринял Одум [6], в книге которого, в специальной главе «На пути к прикладной экологии человека» содержится призыв рассматривать с экологических позиций проблемы динамики населения человека, управления природными ресурсами, поскольку за свою долгую историю человек столкнулся не только с локальными, но и с предельными ограничениями среды своего существования. В прикладной экологии человека Одум предлагает решить проблемы населения, борьбы с загрязнением среды, рационального природопользования, ряд проблем экономического и юридического характера, планирования науки и образования.

Производство пищи человеком как процесс в биосфере было рассмотрено Брауном [1], который подчеркнул, что рост народонаселения на Земле является, в первую очередь, результатом увеличения количества продуктов питания в современном мире. По его мнению, в первые два миллиона лет своего существования, когда человек являлся одновременно и хищником, и травоядным, и пожирателем падали, на Земле не могло прокормиться более 10 млн. людей. Сравнительно недавно, не более 10 тыс. лет назад, в связи с одомашниванием животных и растений, человек начал постепенно изменять структуру биоценотического покрова Земли в нужном для себя направлении.

Вопросам экологии человека как биологического вида в природе посвящена и превосходная книга Дювиньо и Танга «Биосфера и место в ней человека» [5], в которой кратко и убедительно показаны экологические механизмы функционирования биосферы и содержится неоспоримый вывод о том, что именно биосфера — источник благосостояния людей, и ее регулирование — насущная задача человечества.

Человек, став разумным существом, вышел из-под контроля исторически сложившихся трофических связей, регулирующих размножение любого вида. Затем, в процессе развития сельского хозяйства, постепенно изменялась структура наземных биогеоценозов, исчезали многие виды, а подавляющему большинству оставшихся был закрыт путь экологической экспансии, особенно тем видам, которые могли конкурировать с человеком.

Люди заняли совершенно исключительное место в природе, поставив эволюцию всей биосферы в зависимость от своей деятельности, в частности и потому, что нашли удобное для себя решение некоторых чисто экологических задач.

С момента своего возникновения как вида человек занимал конечную ступень трофической пирамиды, т. е. наиболее благоприятное место для быстрой прогрессивной эволюции.

Все развитие человеческого общества в сущности опирается на фундамент энергетики, и уровень обеспеченности энергией

определяет степень независимости общества от природы. Удельное потребление всех видов энергии растет из года в год, причем особенно быстро — в последние десятилетия. За каждые 20 лет мировое потребление энергии увеличивается вдвое, а на одного человека (удельное потребление) — на 40 %. Основную часть энергии дают ископаемое минеральное топливо, гидроэнергия, а в перспективе возрастет роль атомной энергетики. При этом важно иметь в виду, что подавляющее большинство источников энергии не зависит от продуктивности биосферы и в будущем эта независимость человека от биосферы возрастет за счет освоения неисчерпаемых источников энергии термоядерного синтеза.

Не только у людей каменного века ресурсы биосферы были практически единственным источником энергии, такое положение сохранялось вплоть до начала промышленной революции (16—17 вв.), когда в огромных количествах стали использовать энергию ископаемого топлива, запасенную биосферой в прошлые геологические эпохи.

Поскольку человек раньше полностью зависел от биосферы, он не мог использовать даже в идеальном случае более 1 % чистой продукции суши (человек обычно третье звено в цепи питания, а эффективность каждого уровня около 10 %). Известно, что по мере движения по пищевой цепи эффективность усвоения пищи повышается: растения утилизируют около 0,02 % солнечного света, травоядные животные — 2 %, всеядные и хищные — около 30 %, а человек — порядка 90 %. Человек смог, введя предварительную обработку пищи и культивируя на больших площадях только усвояемые виды растений и животных, значительно упростить ценозы, укоротить пищевые цепи (и сократить потери текущей к нему по пищевым цепям энергии), и поэтому сейчас человечество потребляет около 1 % общей чистой продукции биосферы и около 4 % чистой продукции суши. С точки зрения экологии человек тем и отличается принципиально от любых других видов животных, что использует энергию не только из пищи.

Все это позволило ему обеспечить для себя очень высокий уровень потребления энергии (выше, чем у всех животных). Так, потребление энергии человеком составляет около 40 ккал/сут против 1 — у птиц и млекопитающих и 0,5 — у насекомых на 1 кг веса.

Эти экологические особенности позволили человеку создать совершенно новое образование — культурный ландшафт. Еще не так давно на агроценозы смотрели как на некие случайные образования и спорили, можно ли к ним применять понятия биоценологии. Но сейчас признано, что накопление органики, т. е. неиспользуемой энергии, в агроценозах невозможно. Это заставляет рассматривать агроценозы как своеобразные и в то же время весьма совершенные экосистемы.

Таким образом, человек уже очень давно стал сильнейшим «экологическим фактором» для обитателей биосферы. И все же только в XX в. человечество вышло на принципиально новый уровень, которого никогда ранее не достигало ни одно живое существо нашей планеты. Вырабатываемая человечеством энергия составляет довольно заметную величину — $34 \cdot 10^{15}$ ккал/г. Пока это значительно меньше (на 4—5 порядков), чем Земля получает от Солнца, но при росте на 8 % в год энергообеспеченности человечества (средние многолетние данные) примерно через 200 лет техногенное тепло сравняется по количеству с солнечным в масштабе всей Земли, а в заселенных человеком районах суши это произойдет через 25—30 лет. При этом наибольшие надежды возлагаются сейчас на атомную энергетику и освоение в энергетических целях процессов управляемого термоядерного синтеза, т. е. на источники, совершенно независимые от биосферы. Возникшая на заре человеческой культуры (после появления огня, земледелия, скотоводства и стабильных поселений) антропогенная среда на наших глазах быстро изменяется в сторону все большего отклонения от исходного природного состояния путем увеличения площадей антропогенных биогеоценозов, интенсификации мелиоративных работ, химизации и изменения агрофизических свойств земель и др. Сейчас во многих странах на больших территориях сложились массивы «культурных почв», не имеющие ничего общего с исходными, также как растительность и животный мир этих территорий имеют очень мало общего с исходными типами; все эти интенсивные изменения происходят на фоне резких сдвигов энергетического баланса в используемой человеком среде.

В последние десятилетия новую экологическую обстановку создает бурный рост энергопотребления в агроэкосистемах, при производстве продуктов питания. Во многих промышленно развитых странах на производство пищи расходуется 10—20 % всей производимой энергии. Количество затрачиваемой человеком энергии нередко превышает ее количество, заключенное в собранном урожае. Бывает и так, что получаемая сельскохозяйственными растениями от Солнца и ассимилируемая путем фотосинтеза энергия много меньше затраченной земледельцами за счет других источников.

Рамад [7] образно заметил, что во Франции ежегодно «съедается» 31 млн. т нефти: столько ее расходуется в сельскохозяйственном производстве страны. Поэтому можно утверждать, что основу современного сельскохозяйственного производства составляют не только почва и высокопродуктивные сорта сельскохозяйственных растений или порода скота, но также нефтепродукты и электроэнергия, расходуемые на обработку почвы, производство удобрений, ирригацию, переработку продукции и ее доставку потребителю.

Экология человека и окружающая среда. Проблема окружающей человека среды не может быть правильно понята и решена, если ее сводить лишь к технико-экономическим и технологическим аспектам и при этом не учитывать или недостаточно конкретно характеризовать ее социальную сущность. Как показывает практика, экологическое регулирование прежде всего связано с решением ряда социальных, международно-правовых, политических и культурных проблем. Оно неизбежно затрагивает интересы различных общественных групп, социальных институтов, отдельных стран, социально-экономических систем.

В СССР на страже природы стоит сам народ. Будучи коллективным собственником всех общественных и природных богатств страны, он через свое общенародное социалистическое государство законодательно регламентирует использование природных ресурсов и устанавливает правила охраны окружающей среды.

Марксизм впервые строго научно обосновал идею о сущностном единстве природы и общества как в историческом, так и в функциональном планах. В историческом — поняв общество как высшую, социальную форму развития самой материи, а человеческую историю как порождение и продолжение истории природы. В функциональном — развив мысль о природе как «живой» системе кругооборота веществ, включающую в себя человеческое общество и определяющую своими законами возможности его прогресса. «Человек в своей практической деятельности имеет перед собой объективный мир, зависит от него, им определяет свою деятельность» [1].

Деятельность общества, которая наносит урон окружающей среде и вызывает ее ответную реакцию, часто изображается как исконно враждебная природе, но производство — лишь искусственное воспроизведение самих процессов, ведь человек в своем труде может действовать «лишь так, как действует сама природа», с помощью техники, которая сама «природный материал, превращенный в органы человеческой воли, властвующей над природой, или человеческой деятельности в природе» [2].

«Только при капитализме,— писал К. Маркс,— природа становится всего лишь предметом для человека, всего лишь полезной вещью; ее перестают признавать самодавлеющей силой, а теоретическое познание ее собственных законов само выступает лишь как хитрость, имеющая целью подчинять природу человеческим потребностям, будь то в качестве предмета потребления или в качестве средства производства. Соответсвенно этой своей тенденции капитал преодолевает национальную ограниченность и национальные предрассудки, обожествление приро-

---

[1] Ленин В. И. Полн. собр. соч., т. 29, с. 169—170.
[2] Маркс К., Энгельс Ф. Соч. 2-е изд., т. 46, ч. II, с. 215.

ды, традиционное, самодовольно замкнутое в определенных границах удовлетворение существующих потребностей и воспроизводство старого образа жизни»[3].

Так что «экологический кризис» — явление буржуазного общества, порождение погони за наживой любой ценой, немедленно, без заботы о завтрашнем дне и о других людях.

Иное дело — социалистическое общество. Социализм обладает несравнимо большими возможностями разумного регулирования взаимоотношений с природой, чем капитализм. Главное и решающее его преимущество заключается в том общеизвестном факте, что в условиях социализма природа и ее ресурсы принадлежат не частным компаниям и отдельным людям, а всему обществу. Свойственные социализму отношения к природе были достаточно точно и полно предсказаны классиками марксизма. Но складываться ныне очевидные для нас идеи начали много раньше — в эпоху Возрождения. Новые идеи состояли в том, что природа — не храм божий, созданный раз и навсегда, чтобы восславить Творца, и не просто источник сырья и материалов для удовлетворения потребностей человека, но мастерская и лаборатория, в которой люди должны работать не только пользуясь готовыми орудиями и материалами, но и создавая новые, заботясь о восполнении того, что было взято.

«...На каждом шагу,— писал Энгельс об отношении общества к природе,— факты напоминают нам о том, что мы отнюдь не властвуем над природой так, как завоеватель властвует над чужим народом, не властвуем над ней так, как какой-либо, находящийся вне природы,— что мы, наоборот, нашей плотью, кровью и мозгом принадлежим ей и находимся внутри ее, что все наше господство над ней состоит в том, что мы, в отличие от всех других существ, умеем познавать ее законы и правильно их применять»[4].

Целенаправленное управление природными явлениями, всем ходом развития биосферы с учетом высших интересов социалистического общественного строя есть вместе с тем и процесс создания необходимых условий для всестороннего развития самого человека. Более того, чрезвычайно важно, чтобы преобразуемая, сознательно формируемая человеком окружающая среда удовлетворяла бы его материальные и духовные потребности, соответствовала бы научно обоснованным гигиеническим нормам, обеспечивающим его здоровье.

Отношение к природе становится своеобразным критерием эффективности, жизнеспособности социально-экономической системы. Социализм и здесь показывает свои неоспоримые преимущества перед миром частной собственности с его хищническим, бездумным отношением к природным богатствам планеты.

---

[3] Там же, т. 46, ч. I, с. 387.
[4] Маркс К., Энгельс Ф. Соч. 2-е изд., т. 20, с. 496.

По мнению С. С. Шварца [8], эколог должен разрабатывать генеральную схему развития биогеоценозов в антропогенной среде, регулирования и рационального использования всего биогеоценотического покрова. Шварц предлагал именно для этой сферы деятельности название «экология человека». Правда, далеко не все еще понимают, что сейчас охрана природы — не консервация нетронутых еще уголков, а система сложных мероприятий, нередко дорогостоящих и трудоемких, по сохранению видового, популяционного и биоценотического богатства природы, по направленному созданию природных условий, оптимальных для жизни человека как биологического вида. И все эти мероприятия придется выполнять в постоянно и быстро изменяющейся среде, в условиях возрастания добычи полезных ископаемых, потребления кислорода воздуха, воды, интенсивной мелиорации на огромных площадях, переброски стока рек, а в перспективе — после овладения управляемым термоядерным синтезом — и в условиях поступления в биосферу огромного потока энергии из новых источников.

В эпоху научно-технической революции, при стремительном росте технической мощи общества и интенсивности использования природных ресурсов, забота о сохранении среды обитания человека и условий, обеспечивающих воспроизводство биологических ресурсов, требует активного управления процессами в биосфере.

Неудивительно, что все эти задачи для экологов новы и сложны — с такими масштабами изменений в окружающей среде им ранее не приходилось иметь дело.

ЛИТЕРАТУРА

1. Браун Л. Производство пищи человеком как процесс в биосфере.— В кн.: Биосфера. М.: Мир, 1972, с. 139—154.
2. Вернадский В. И. Биосфера. М.: Наука, 1967. 100 с.
3. Вернадский В. И. Несколько слов о ноосфере.— Успехи соврем. биологии, 1944, т. 18, № 2, с. 113—120.
4. Вернадский В. И. Эволюция биосферы.— Наука и жизнь, 1974, № 3, с. 40—44.
5. Дювиньо П., Танг М. Биосфера и место в ней человека. М.: Прогресс, 1968. 254 с.
6. Одум Ю. Основы экологии. М.: Мир, 1975. 740 с.
7. Рамад Ф. Основы прикладной экологии. М.: Гидрометеоиздат, 1981. 543 с.
8. Шварц С. С. Экология человека: новые подходы к проблеме «человек и природа».— Наука и жизнь, 1975, № 11, с. 86—95.
9. Adams Ch. The relation of general ecology to human ecology.— Ecology, 1935, v. 16, p. 316—335.
10. Bates M. Human Ecology.— In: Anthropology Today. Chicago: Chicago Univ. Press., 1937, p. 700—714.
11. Bews J. W. Human Ecology. Oxford, 1935. 312 p.
12. Bews J. W. Ecology. A problem in synthesis.— Science, 1954, v. CXX, p. 959—963.
13. Hawley A. H. Human Ecology: A Theory of Community Structure. N. Y.: Ronald Press, 1950.

14. Hollingshead A. B. Human Ecology and Human society.— Ecol. Monogr., 1940, v. 10, p. 354—366.
15. Mukerjee R. Social Ecology. N. Y.: Longmans-Green, 1945.
16. Park R. E. Human Ecology.— Amer. J. Sociol., 1934, v. 43.
17. Sears P. S. The ecology of Man.— Univ. Oregon. Press, 1957, v. 61.
18. Smith R. L. (Ed.) The Ecology of Man: An Ecosystem Approach. N. Y., 1976. 399 p.
19. Wirth L. Human Ecology.— Amer. J. Sociol., 1975, v. 50, p. 483—488.

АКАДЕМИЯ НАУК СССР УРАЛЬСКИЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР

ПОГРАНИЧНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ЭКОЛОГИИ 1986

Ф. Б. САДЫКОВ

ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ ПОДХОД К ПОТРЕБНОСТЯМ ЧЕЛОВЕКА

Неразрывность связи жизни и развития человека с нормальным развитием окружающей его природной и социальной среды диктует необходимость экологического подхода к различным проявлениям жизнедеятельности, а следовательно, и к человеческим потребностям.

Человек берет от природы все средства своего существования, и нет у него иных источников, кроме преобразуемых трудом веществ природы. Как неоднократно подчеркивал К. Маркс, общество не может существовать не потребляя богатства природы [1]. Труд настолько связал человека со всей земной природой, что последняя стала, по выражению К. Маркса, «неорганическим телом человека» [2].

Роль природы в жизни общества и отдельных личностей в благосостоянии людей несводима только к источнику жизненно необходимых материальных благ, она универсальна. Будучи средой человеческого бытия, природное окружение необходимо для каждого акта жизнедеятельности человека, для труда и восстановления растраченных физических и духовных сил. От природы во многом зависит здоровье, настроение и работоспособность людей. Природа — источник радости и всей жизни, объект вечных поисков и находок истины, незаменимое средство удовлетворения духовных потребностей людей.

Единство человека и его природного окружения столь нерасторжимо, что невозможно, заботясь о себе, о развитии своих сущностных сил, не заботиться о состоянии окружающей природы. Сама жизнь убеждает каждого в правоте идей К. Маркса: все, что враждебно природе, враждебно и человеку; отречение человека от природы равно его самоотречению. Поэтому проблема взаимоотношений общества и природы выступает как проблема самого человека, а научный подход к челове-

---

[1] См.: Маркс К., Энгельс Ф. Соч. 2-е изд., т. 25, ч. II, с. 337, 386, 387.

[2] Там же, т. 42, с. 92.

ческим потребностям не может быть последовательным без подхода экологического.

Духовный мир человека — это и мир окружающей его природной среды. Поскольку окружающий мир отражается в человеке, богатство природной среды обусловливает богатство человеческой чувственности [8]. Одна из самых изумительных и сильных духовных потребностей человека — потребность в общении с природой, в наслаждении ее красотой и в ожидании встречи с неведомым в ней.

В новых исторических условиях, когда телевидение, развитие транспорта, средств связи и сферы обслуживания ведут к утрате былых преимуществ жизни в центре города (близость культурных, деловых, торговых, бытовых учреждений и мест развлечений), все более насущной становится потребность в здоровом природном окружении, в определенной изоляции от шума и высоких темпов городской жизни, от больших людских масс и загрязненной атмосферы [8].

Растущее стремление на лоно природы — не только реакция на негативные аспекты урбанизации, но и показатель растущего понимания людьми непреходящей ценности, всеобщего, универсального значения природы для развития и жизни каждого человека, возвышения потребности в общении с природой в системе общественных и индивидуальных ценностей и приоритетов.

Пока воздух и вода остаются чистыми, люди не задумываются над тем, что чистый воздух и чистая вода — жизненно важные для человека блага, пользуются ими и иными веществами, не интересуясь судьбой самой природы.

Коренная причина растущего антропогенного воздействия на природу, называемого экологической экспансией,— это человеческие потребности, которые в своем развитии, обогащении, утончении практически беспредельны. При этом было бы ошибочным позитивное отношение к некоторым из них, оправдание потребительской неразвитости только потому, что удовлетворение потребностей означает растущее давление человека на природу. И в этом отношении, пожалуй, воздействие возвышенных социальных и духовных потребностей, в литературе нередко называемых потребностями социального существования людей, одинаково с воздействием потребностей биологических, которые, когда они соотнесены с объективными возможностями их удовлетворения, не менее разумны.

Общество коренным образом преобразовало биологические потребности человеческого организма, и они, существенно отличаясь от потребности животных, стали вместе с тем и надбиологическими, несут на себе печать социализации личности, так как надбиологична система общественных отношений, в которые включен человек. К. Маркс подчеркивал, что жизненные, биологические потребности человека являются, «не просто ес-

тественной потребностью, а такой естественной потребностью, которая исторически модифицирована определенным уровнем культуры»[3].

Объективное отношение между человеком и материальными условиями воспроизводства его жизни, его физического бытия определяет содержание его первичных жизненных потребностей. Предметное содержание этих потребностей несводимо к благам, непосредственно удовлетворяющим биологические нужды организма (к пище, одежде, обуви и жилью), и включает в себя все те создаваемые обществом условия, использование которых необходимо для присвоения материальных благ (возможности осуществления трудовой деятельности, образование, социальное обеспечение, средства отдыха и разрядки, необходимая для ориентации в повседневной жизни информация и т. д.).

Развитие производства и в целом общества, усложняя условия жизнедеятельности человека, обновляет структуру первичных жизненных потребностей, порождает их новые формы. Абстрактная потребность (в быстром передвижении, например) через реальное проектирование и производство превращается в конкретную потребность пользоваться новым благом, а удовлетворение этой потребности — из роскоши в необходимость.

Роскошью К. Маркс называл удовлетворение потребностей, выходящих за пределы повседневности и простой естественной необходимости[4], подчеркивая при этом превращение того, что прежде являлось роскошью, в исторически созданную необходимость. Закономерность превращения абстрактной потребности в необходимость универсальна, она охватывает как первичные материальные, так и вторичные социально-духовные потребности человека.

Научно-техническая революция, повышая производительность труда и этим увеличивая блага, имеющиеся в распоряжении общества, существенно изменила не только структуру, но и содержание потребностей. Словарь Даля трактовал потребление лишь как удовлетворение нужды, житейской необходимости. Современность характеризуется, по выражению К. Маркса, «утонченностью потребностей и средств для их удовлетворения»[5], все больше распространяемой на широкие слои населения.

Интересны в понимании закономерного утончения, усложнения и усовершенствования потребностей исследования потребительных установок школьников и их родителей, проведенные социологами Челябинска в 1968 г. и повторенные через десять лет. В 1968 г. почти половина старшеклассников в число пред-

---

[3] Маркс К., Энгельс Ф. Соч. 2-е изд., т. 47, с. 51; т. 12, с. 718.

[4] См.: Маркс К., Энгельс Ф. Соч. 2-е изд., т. 46, ч. I, с. 387; ч. II, с. 19.

[5] Там же, т. 42, с. 129.

метов, необходимых для нормальной жизни, включала магнитофоны, а число родителей, согласившихся с таким мнением, составило только 1 %. Через десять лет большинство родителей сочло магнитофон необходимым в повседневной жизни, поставило покупку его в число первоочередных нужд, видя в нем материальное средство удовлетворения духовных потребностей, нужное для обучения детей языку, их культурного развития и общего развития всей семьи [11].

Процесс трансформации абстрактной в прошлом потребности в жизненную необходимость ведет к возвышению потребностей, усложнению их структуры. Г. Г. Дилигенский справедливо отметил, что потребность в личной физической безопасности, например, разветвляется на ряд конкретных потребностей: под влиянием прогресса медицины и развития нездоровых видов труда интенсифицируются потребности в охране здоровья, в результате загрязнения природы развиваются потребности в средствах оздоровления природной среды. Рост угрозы мировой термоядерной катастрофы интенсифицирует потребности в сохранении мира, усиливает потребность в формировании общественно-политических условий, исключающих войну из жизни общества [5].

Материальные, первичные жизненные потребности личности не только детерминируют ее социальные и духовные потребности, но и преобразуются, совершенствуются, возвышаются под воздействием этих вторичных потребностей, все больше наполняются социальным содержанием. Голод — это социальное бедствие трудящихся антагонистических обществ — при социализме (за исключением экстремальных условий, например навязываемых империалистами войн) исчезает. Однако остается отражаемая ныне в Продовольственной программе КПСС проблема бесперебойного снабжения всего населения и совершенствования структуры питания с целью обеспечения максимально возможной для данных социально-экономических условий продолжительности жизни человека и его трудовой активности. Потребность труженика в жилье социалистическое общество стремится удовлетворить с учетом необходимости создания максимально благоприятных культурно-бытовых условий. К тому же здесь, как и в потребности в одежде, постепенно реализуется неповторимое своеобразие индивидуальных эстетических запросов и вкусов людей.

Могучий двигатель непрерывного совершенствования, утончения потребностей — их взаимодействие с трудовой деятельностью людей, которая, преобразуя мир, опредмечивая, объективируя сущностные силы человека, изменяет, развивает и его самого.

Как известно, понятие «потребность» объединяет отношения между объективным миром и человеком, побуждающие его к деятельности, и отражающее эти отношения субъективное со-

стояние личности, ее требование от себя определенной деятельности. Преобразующая мир и самого человека человеческая деятельность, стимулируемая его потребностями, создает новые потребности, стимулирующие новую деятельность. Как подчеркнули К. Маркс и Ф. Энгельс, «сама удовлетворенная первая потребность, действие удовлетворения и уже приобретенное орудие удовлетворения ведут к новым потребностям»[6]. Диалектика потребностей и деятельности стала предметом исследований ряда советских философов и психологов [9, 10, 14].

Преобразующая мир человеческая деятельность означает самореализацию, саморазвитие личности. «Призвание, назначение, задача всякого человека — всесторонне развивать все свои способности»,— писали К. Маркс и Ф. Энгельс[7]. И эта потребность в саморазвитии, в самореализации, в самотворчестве личности является стержнем ее устремлений. Разумна та система потребностей, которая соответствует идеалу всесторонне развитой личности. И наоборот, неразумны те потребности, удовлетворение которых ведет к деградации личности.

Главный критерий разумности потребностей — их соответствие всестороннему раскрытию способностей личности, ее всестороннему развитию. Отождествляя понятия «разумная потребность» и «богатая человеческая потребность», К. Маркс писал: «Богатый человек — это в то же время человек, нуждающийся во всей полноте человеческих проявлений жизни, человек, в котором его собственное осуществление выступает как внутренняя необходимость, как нужда»[8].

Подлинное стремление к всестороннему развитию своей личности, к раскрытию своих сущностных сил отнюдь не эгоистично. Личность становится способной к самоутверждению, к саморазвитию, когда она вбирает в себя богатство общественных отношений, творений культуры, осознает свое единство с обществом, живя широкими общенародными интересами. Означающая самореализацию сущностных сил человека человеческая деятельность представляет собой индивидуальное бытие общественных отношений, «специфический способ существования и воспроизводства общественной жизни, способ самовоспроизводства и саморазвития общественного организма» [6].

На вершине всей иерархии разумных потребностей личности находится потребность в труде, в творческой деятельности — важнейшая из всех социальных потребностей человека. При социализме она превращается в первую жизненную потребность все более широких слоев трудящихся, и ее удовлетворение выступает основным средством самоутверждения, самореализации, саморазвития труженика через гармоничное сочетание

---

[6] Маркс К., Энгельс Ф. Соч. 2-е изд., т. 3, с. 27.
[7] Маркс К., Энгельс Ф. Соч. 2-е изд., т. 3, с. 282.
[8] Там же, т. 42, с. 125.

общественных и личных интересов. Именно в творческом труде — главном двигателе общественного прогресса и высшем проявлении жизнедеятельности — природные дарования человека шлифуются, модифицируются, становятся способностями личности. Вопреки измышлениям буржуазных идеологов главной сферой самореализации личности выступает не досуг, а общественно полезный творческий труд.

Иные формы социальных и духовных потребностей личности — потребность участия в общественной жизни, в управлении делами общества, потребность в общении, в самообразовании (в познании мира и самопознании), в создании и потреблении духовных ценностей — выступают как различные проявления стремления человека к самореализации своих сущностных сил.

Поскольку главное в этом стремлении — творческий труд, все остальные социальные и духовные потребности стимулируются, совершенствуются, развиваются по мере растущего превращения труда в первую жизненную потребность и оказывают воздействие на этот процесс. Например, потребность участия в общественной жизни, связанная с осуществлением высоких общественных целей и идеалов, обусловливает не только расширение социальных функций, но и более глубокое понимание роли труда в созидании коммуниза, в возвышении самой личности. Эстетические же потребности, играющие особую роль в гармонизации всей системы потребностей личности, различных видов ее деятельности, порождают в процессе труда стремление творить по законам красоты.

Как подчеркнули М. Т. Иовчук и Л. Н. Коган [6], развитие сущностных сил человека предполагает возрастание степени его свободы — его власти над стихийными силами природы, над стихией общественных отношений и над самим собой, своими действиями и поступками. Одним из важнейших проявлений свободы личности выступает умение управлять своими потребностями, умение целесообразно воздействовать на их формирование, развитие, обогащение и совершенствование.

Совершенствование человеческих потребностей, человеческой деятельности, человеческого могущества порождает противоречивые экологические последствия.

Для всех биологических элементов экосистем природа — только необходимая материальная предпосылка жизни и естественная среда обитания. Лишь человек как социальное существо приобрел способность к экологической экспансии. Конечно, при этом, как любое живое существо, человек не перестал принадлежать природе, не вырвался из-под власти природной необходимости — законов рождения и смерти, смены возрастных периодов, потребления благ ради жизни и продолжения рода. Вместе с тем, будучи социальным существом, вступая в отношения с природным окружением как наделенный самосозна-

нием член коллектива, вооружающийся все более совершенными орудиями труда, человек вышел за пределы биологических экосистем. Природа, оставаясь для человека средой обитания, стала материальной предпосылкой человеческой истории и культуры.

Историческое развитие человечества сопряжено с его растущим давлением на природное окружение. «Искусственная» очеловеченная природа и разрушает, и дополняет «естественную» природу.

Машины, железные дороги, вообще все современные средства производства характеризовались К. Марксом как продукты человеческого труда, природный материал, превращенный в органы человеческой воли, властвующей над природой, или человеческой деятельности в природе[9]. Эти созданные человеческой рукой органы человеческого мозга, будучи овеществленной силой знания, заставляют силы природы служить человеческим потребностям. Современные технические процессы представляют собой результат сознательного применения естествознания, т. е. природные процессы, преобразованные человеком в промышленные[10].

Рост могущества человека в результате все большего превращения науки в непосредственную производительную силу общества выступает мерилом роста сознательной деятельности людей. Однако нередко эта же причина ведет к деградации экосистем под воздействием антропогенных факторов и, следовательно, выступает как проявление недостаточно сознательной деятельности.

Жизнь рождает немало внутренних противоречий: необходимые для удовлетворения жгучих потребностей общества, созданные на базе применения новейших достижений науки и техники предприятия становятся источником загрязнения среды обитания человека, ухудшения условий его жизни. И эти противоречия будут проявляться, возобновляться, даже углубляться, пока человек не научится экологически подходить к решению любых научно-технических проблем.

Проблемы размещения и развития производительных сил, использования природных ресурсов должны быть социально-экологически значимыми, они должны подчиняться созданию лучших условий жизни, росту благополучия человека, невозможного без обеспечения его здоровья.

Становление и функционирование крупного машинного производства как технической основы капитализма намного увеличило масштабы давления человека на природу, негативные аспекты которого усугубились узкоэгоистическими целями буржуа. Производство ради прибыли, не соотносимое ни с реаль-

---

[9] Маркс К., Энгельс Ф. Соч. 2-е изд., т. 46, ч. I, с. 216.
[10] Там же, с. 213.

ными потребностями общества, ни с возможностями и требованиями природного равновесия, превратилось в крайне экспансивный имманентный процесс развития «производства ради производства», стремящийся к беспредельному расширению. Порождаемые ростом угрозы экологического кризиса буржуазно-реформистские идеи самоограничения развития и обуздания экспансивности общества остаются утопическими [7].

Растущее же воздействие человека на природу отнюдь не односторонне. Природа и общество взаимодействуют, а во взаимодействии обе стороны, хотя и по-разному, активны. И нередко человечество испытывает ответную реакцию природы на свое воздействие через десятилетия, столетия, а то и тысячелетия.

Однако бывшие ранее отдаленными неблагоприятные последствия хозяйственной деятельности в современных условиях становятся не столь отдаленными: за экологическое загрязнение, деградирование природной среды под воздействием антропогенных факторов расплачиваются не только будущие поколения, но и сами «преобразователи» природы.

Человек испытывает результаты своего вмешательства в процессы природы чаще всего опосредованно — через негативное воздействие изменений в окружающей среде, которые он вызвал, на те или иные процессы природы, жизненно важные для человечества. Ф. Энгельс отмечал, что природа вслед за первыми результатами, на которые человек рассчитывал, преподносит ему вторые и третьи, которых он не предполагал и которые часто полностью перечеркивают значение первых [11].

Ныне человечество обрело могущество, сравнимое с природными стихиями, оно вовлекло в свою деятельность «практически все известные нам возобновимые и невозобновимые ресурсы близ поверхности земного шара» [12], и становится, по выражению В. И. Вернадского, мощной геологической [4], а в последние десятилетия — даже космической силой.

Столкновение современного человечества с признаками не только продовольственного, но и энергетического, сырьевого, водного и даже воздушного дефицита в результате загрязнения среды самим обществом, нарушения им хода биосферных процессов и истощения многих природных ресурсов ярко свидетельствует о правоте идей К. Маркса о взаимообусловленности истории природы и истории общества [12], о том, что культура, если она развивается стихийно, а не направляется сознательно, оставляет после себя пустыню [13].

На рост давления человечества природа начинает реагиро-

---

[11] Маркс К., Энгельс Ф. Соч. 2-е изд., т. 20, с. 495.

[12] Маркс К., Энгельс Ф. Из ранних произведений. М.: Политиздат, 1956, с. 596.

[13] Маркс К., Энгельс Ф. Соч. 2-е изд., т. 32, с. 45.

вать такими процессами, которые уже сейчас заметно затрудняют и ограничивают развитие производства, все больше затрагивают различные стороны общественной жизни. В перспективе эта тенденция чревата опасностью гигантских катаклизмов.

Узки рамки физического существования человека, но и они сужаются еще больше в результате деятельности самих людей. Не впадая в насаждаемый буржуазными идеологами экологический психоз, человечество должно заботиться об устранении опасности экологического кризиса. Как метко отметил И. Д. Лаптев, «зона комфорта» естественной среды жизни человека всегда была довольно ограниченной, а возможности людей все больше сузить ее стали ныне поистине беспредельными» [8].

Растущая угроза экологического кризиса — порождение капитализма, с первых дней своего становления ведущего хищническое наступление на природу во имя прибылей капиталистов, разрушающего, опустошающего мир природы противопоставлением и людей друг другу, и человека природе. Современный капитализм, углубивший «разрыв между... неорганическими условиями человеческого существования и самим этим деятельным существованием» [14], угрожает гибелью человечеству как от оружия массового истребления, так и от экологического кризиса, представляющего собой, по выражению Гэса Холла, «еще одно свидетельство негодности капитализма как общественной системы» [13]. Ликвидация капитализма становится актом не только дальнейшего развития, но и самосохранения человечества.

Только коммунизм в состоянии наладить гармонические отношения с природой на подлинно научной основе. К. Маркс характеризовал всемирную историю как становление природы для человека, а коммунизм — как «действительное разрешение противоречия между человеком и природой, человеком и человеком» [15].

Будучи первой фазой коммунизма, социализм не может немедленно решить веками накопившиеся проблемы во взаимоотношениях общества и природы. К тому же он не застрахован от возможных просчетов в воздействии на природу, а также от негативных последствий неразумной деятельности, связанной с недостаточным уровнем познания закономерностей круговорота веществ в природе. Но с победой социализма устраняются коренные социальные причины нерационального использования природных богатств и опустошения окружающей среды. На базе общественной собственности на средства производства и планомерного централизованного научного управления народным хозяйством социализм создает предпосылки

---

[14] Маркс К., Энгельс Ф. Соч. 2-е изд., т. 46, ч. I, с. 478.
[15] Там же, т. 42, с. 116.

принципиально нового отношения людей к природной среде своей жизни, рационального комплексного использования естественных ресурсов всем обществом и в интересах всего общества.

Охрана природы включена в ряды первостепенных забот и превращена в неотъемлемую часть народнохозяйственных программ развитого социализма, сделавшего ее всенародной задачей, обязательной — согласно Конституции СССР — для каждого гражданина, для каждого предприятия и учреждения. XXIV съезд КПСС обязал учитывать необходимость охраны природы при строительстве новых и реконструкции действующих предприятий, так как «не только мы, но и последующие поколения должны иметь возможность пользоваться всеми благами, которые дает прекрасная природа нашей Родины»[1]. XXV съезд призвал охранять и «облагораживать природу, помочь природе полнее раскрывать ее жизненные силы» [2]. XXVI съезд КПСС впервые в истории поставил задачи охраны природы в один ряд с развитием сельского хозяйства и промышленности, разработал широкую природоохранительную программу в общей структуре производственной деятельности общества [3].

Любые экологические затруднения выступают как результат углубления, обострения противоречия между социально потребным (нередко — кажущимся социально потребным) и естественно возможным. Поэтому решение экологических проблем предполагает рационализацию (а не раздувание) потребностей как важнейшего компонента оптимизации взаимодействия общества и природы. Современная экологическая ситуация требует уточнения, конкретизации закона возвышения потребностей, решения проблемы разумного потребления. Потребности, удовлетворение которых ухудшает среду обитания людей, наносят ущерб их здоровью, какими бы утонченными они ни были и какими бы прогрессивными ни казались, экологически не обоснованы, а следовательно, недостаточно разумны. Жизненная важность воспитания разумных, экологически обоснованных потребностей диктует нетерпимое отношение к случайным, стихийно складывающимся отношениям в этой области, которые еще остаются даже в социалистическом обществе.

Отнюдь не потребностями социалистического общества, а традиционно-ошибочным восприятием системы отношений к природе (будто «можно с ней и с ее даровыми ресурсами не считаться») и узковедомственным подходом определяется бесхозяйственное отношение к богатствам природы со стороны некоторых ответственных работников, маскирующих свое экологическое невежество словами об интересах народа. Такие «радетели общественного интереса» в погоне за сиюминутной ведомственной экономической выгодой наносят обществу громадные потери.

Недостатки планирования и управления народным хозяйством способствуют противопоставлению ведомственных интересов общественным, производственной деятельности — охране природы. Пока учитывается только товарная продукция, поставляемая тем или иным предприятием, без учета затрат природного материала для производства данной продукции. Лесозаготовителям, например, выгоднее рубить кедровые рощи, чем иные виды древесины, а лесопоставщикам выгоднее молевой сплав.

Подлинная себестоимость любой продукции складывается не только из количества и качества затраченного труда, но и из количества и качества затраченного ресурса природы. Без учета объективной ценности для общества используемых природных ресурсов, т. е. без повсеместного внедрения экологического коэффициента рентабельности предприятий, невозможно добиться полной рационализации природопользования, невозможно выяснить разницу между «дано стране» и «взято у природы», между полезностью и ущербностью для общества той или иной производственной деятельности [8].

При сиюминутном подходе любые природоохранительные меры могут казаться экономически обременительными — ведь они требуют значительных затрат. Иной хозяйственник не может либо не хочет понять, что эти меры в масштабах всего общества и в перспективе экономически высокоэффективны. Их воздействие на производительность труда через здоровье, настроение, повышение работоспособности и творческой активности людей может сказаться в будущем.

Ведомственность проявляется и в науке, в конъюнктурных устремлениях отдельных институтов быстрее протолкнуть свой проект «грандиозных преобразований природы», игнорируя возможные экологические последствия этих преобразований. Авторы таких проектов придерживаются позиции примата техники по отношению к человеку, превращают развитие техники, производства в самоцель, игнорируют проблему биосферосовместимости техники и технологии, пренебрегают опасностью посредством технических преобразований вывести те или иные участки биосферы за рамки параметров, необходимых для нормального функционирования человеческого организма.

Не всякий технический проект экологически обоснован, т. е. учитывает биологические потребности самого человека и адаптационные возможности биосферы к намечаемым преобразованиям. Дело тут не только в трудностях на пути развития науки, в недостаточном знании природных явлений, в общение с которыми вступает человек, в неумении предвидеть ход изменений в природных системах под воздействием антропогенных факторов, но и в личных качествах хозяйственных руководителей.

Природоохранительные же мероприятия чаще всего направ-

лены на исправление последствий ошибок, а не на устранение вызывающих их причин.

Явно несостоятельны попытки оправдания бесхозяйственного отношения к природе ссылками на необходимость ускорения развития народного хозяйства, возрастания экономической мощи страны, созидания коммунизма. Коммунизм созидается на Земле и не может быть не связан с ее природой. Новые поколения наследуют не только экономические и культурные достижения, но и природу страны. Строительство коммунизма нельзя сводить к общественным преобразованиям, оно включает в себя планомерную, целенаправленную оптимизацию природопользования с учетом закономерностей развития и совершенствования природы в интересах ныне живущих и будущих поколений. Прав И. Д. Лаптев, заявляя: «Чем больше богатства природы сохраняется, тем надежнее будет фундамент грядущего расцвета коммунистической цивилизации» [8]. Охрана природы выступает необходимым условием общественного прогресса, составной частью созидания коммунизма, так как борьба за всестороннее развитие каждой личности, за создание для всех подлинно человеческих условий жизни органически включает в себя заботу о поддержании благоприятной для здоровья и жизнедеятельности людей среды их обитания.

Узкоутилитарный подход к природе, погоня за немедленным экономическим эффектом без учета влияния разрушаемых объектов на иные природные явления и процессы — рецидивы метафизического подхода к миру. Диалектико-материалистический учет материального единства мира, включающего в себя единство природы и общества, ориентация на подлинные и перспективные общественные интересы диктуют растущую заботу о природе, о жизнедеятельности всех ее сфер, каждого ее участка.

Богатства природы — собственность всех поколений человечества, не только ныне живущих, но и грядущих. К. Маркс отмечал, что хозяева тех или иных участков земли — не настоящие собственники земли, а лишь пользующиеся ею владельцы, призванные оставить ее улучшенной следущим поколениям [16]. То же самое можно сказать о владении общенародной собственностью на любые природные богатства страны.

«Достижение научно обоснованного природопользования» и «осуществление экологической революции» — понятия тождественные. Экологическая же революция — результат коренного глобального преобразования всей системы общественных отношений и обусловленного им преобразования структуры отношений между человеком и окружающей его как социальной, так и природной средой обитания, между обществом и всеми объективными условиями жизни человека, его развития. Для

---

[16] Маркс К., Энгельс Ф. Соч. 2-е изд., т. 25, ч. II, с. 337.

осуществления экологической революции социальная революция создает общественные, а научно-техническая революция — технологические условия.

Значительным шагом на пути к глобальной экологической революции может стать координация антикризисных природоохранных усилий государств противоположного типа, что достижимо при отказе от конфронтации, при ограничении гонки вооружений и торжестве ленинских принципов мирного сосуществования.

Экологическая революция предполагает осознание свободы человека по отношению к природе не как возможности произвола, а как необходимости рационального регулирования обмена веществ с природой, поставленного под общий контроль[17], так как только такое взаимодействие общества и природы экологически и социально целесообразно.

Будущие экологические отношения нового качества — это оптимизированный обмен веществ общества с природой, эффективный с точки зрения его продуктивности и стационарный с точки зрения равновесия в биосфере. При сотрудничестве человека с природой, при опоре на объективные закономерности самой природы можно, действуя в унисон с ней, добиваться меньшими усилиями больших результатов, поддерживать и поднимать биологическую продуктивность биосферы, создавать такие биоценозы, которые способны к самосохранению, саморегулированию и саморазвитию в мире, измененном и изменяемом человеком. Улучшающаяся природная среда, постоянно восстанавливающая свои жизненные силы, все полнее раскрывающая свои возможности и облагораживающая условия человеческого существования — вот экологический идеал, достижимый при научном управлении всемирным процессом труда ради всестороннего гармонического развития, расцвета личности каждого. Повышение эффективности природопользования — необходимое условие социально-экономической эффективности общественного производства и более полного удовлетворения потребностей народа.

Грядущее коммунистическое общество создаст, по выражению В. И. Вернадского, ноосферу, т. е. качественно новое состояние биосферы, в глобальном масштабе управляемой человеческим разумом, в интересах всего человечества на основе познанных объективных закономерностей ее развития.

На пути к коммунизму приходится решать немало проблем защиты людей от них самих, так как пока далеко не все практические действия учитывают неизбежные негативные последствия близорукого воздействия на природную среду.

В преодолении таких препятствий в созидании коммунистического будущего велико значение экологического подхода к

---

[17] Маркс К., Энгельс Ф. Соч., 2-е изд., т. 25, ч. II, с. 386.

человеческим потребностям. Разумны, научно обоснованы те потребности и действия людей, которые исходят из необходимости органического сочетания общественного и личного, реальных нужд общества и интересов будущих поколений, учитывают возможности природы и направлены на сохранение стабильности и улучшение своих жизненных условий.

ЛИТЕРАТУРА

1. Материалы XXIV съезда КПСС. М.: Политиздат, 1971, с. 57, 58.
2. Материалы XXV съезда КПСС. М.: Политиздат, 1976, с. 53.
3. Материалы XXVI съезда КПСС. М.: Политиздат, 1981, с. 183—184.
4. Вернадский В. И. Химическое строение биосферы Земли и ее окружения. М., 1965, с. 328.
5. Дилигенский Г. Г. Проблемы теории человеческих потребностей.— Вопр. философии, 1976, № 9, с. 30—43.
6. Иовчук М. Т., Коган Л. Н. Советская социалистическая культура: исторический опыт и современные проблемы. М.: Политиздат, 1979, с. 17, 21.
7. Кравченко И. И. Экологическая проблема в современных теориях общественного развития. М.: Наука, 1982. 212 с.
8. Лаптев И. Д. Экологические проблемы. М.: Мысль, 1982. 246 с.
9. Леонтьев А. Н. Деятельность и личность.— Вопр. философии, 1974, № 5, с. 65—78.
10. Леонтьев А. Н. Потребности, мотивы, эмоции. М., 1971. 210 с.
11. Терешко Н. Лишний рубль.— Урал, 1982, № 7, с. 113—123.
12. Федоров Е. К. Общество и природная среда.— Проблемы мира и социализма, 1968, № 5, с. 24—31.
13. Холл Г. Классовый аспект экологического кризиса.— Пробл. мира и социализма: Теорет. и информ. журн. ком. и рабочих партий, 1972, № 8, с. 21—26.
14. Ярошевский М. Г. Психология в XX столетии. Теоретические проблемы развития психологической науки. М.: Политиздат, 1974. 447 с.

АКАДЕМИЯ НАУК СССР УРАЛЬСКИЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР

ПОГРАНИЧНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ЭКОЛОГИИ · 1986

Ю. И. НОВОЖЕНОВ

СОЦИОБИОЛОГИЯ И ФИЛЕТИЧЕСКАЯ ЭВОЛЮЦИЯ ЧЕЛОВЕКА

После выхода классических работ Дарвина не было перерывов в появлении различных теорий социал-дарвинизма. Одним из их пионеров был Спенсер, имевший целую плеяду последователей (Ницше, Ратценхофер, Вольтман, Ланге и др.), использовавших концепцию «выживания сильнейших» в социологии. Другая мощная волна подобных теорий возникла с развитием экологии в первые годы нашего столетия. Закономерности поведения животных адепты этого течения не задумываясь переносят на современного человека и пытаются объяснить многие социальные явления с этологических позиций. Особой претенциозностью в этом отношении отличается недавно возникшее направление, именующее себя социобиологией. Не вызывает сомнения, что исследование социального поведения, как это делает американский энтомолог Уилсон [23], поможет проследить эволюцию социальных инстинктов от простейших до антропоидов и вскрыть еще одну из причин происхождения человека. Однако автор считает социобиологию специальной наукой, способной не только понять поведение человека, но объяснить и предвидеть историю человечества [15, 23]. Не вдаваясь в анализ этого направления с философско-методологических позиций, что отчасти уже сделано [17, 3, 4, 6, 7], отметим его эволюционно-диалектическую ограниченность.

При рассмотрении поведения человека, вне зависимости от редукционистского [15, 23] или холистского подходов [10], социобиологи забывают о специфике эволюции этого вида. Они не различают грани, которая разделяет биологическую эволюцию и эволюцию социальную. Вслед за бихевиористами [19, 20] они игнорируют главную адаптацию человека, ранее отсутствующую у каких-либо других видов животных и изменившую весь ход эволюционного процесса в биосфере. Пытаясь рассматривать человека исходя из закономерностей поведения, обнаруженных у животных, социобиология теряет под собой эволюционный фундамент и превращается в социальную псевдогипотезу. Социобиологи обвиняют марксизм в том, что он не учитывает структурированность человеческого общества, кото-

рая оказывает влияние на его социально-историческое развитие. Они забывают, что именно К. Маркс доказал социальную структурированность любого общества, которая играет несравненно более значимую роль в истории, чем этолого-биологическая структура популяций человека.

Оформившийся в последнее десятилетие социобиологический подход в изучении поведения животных быстро приобрел большую популярность не только среди биологов, но и среди философов, социологов, психологов и всех, кто интересуется проблемой человека. С эколого-этологической и генетической точек зрения это направление отнюдь не безупречно и базируется на весьма сомнительных допущениях относительно реципроктного альтруизма [11, 21], родительского вклада [22], непотизма [8] и некоторых других. В результате этих допущений единица отбора — не фенотип и популяция, а ген [12], получивший преимущество благодаря «итоговой приспособленности» и названный Даусоном «эгоистическим» [9]. Все эти построения не выдерживают критики этологов [5] и генетиков [14], не безупречны они и в эволюционном аспекте, о чем и пойдет речь.

Пытаясь объяснить беспрецедентный по скорости скачок эволюции человека, лидеры социобиологии [15] выдвигают концепцию существования трех видов программ, которые реализуются в ходе индивидуального развития. Первая из них — генетическая, когда развитие каждого члена общества генетически обусловлено. Вторая заключается в передаче информации с помощью культуры. Она, как и первая, не вызывает возражений и названа ими культурной. Ф. Г. Добржанский в своих статьях и книгах по эволюции человечества называл ее социальной наследственностью. Наконец, в качестве собственного изобретения они выдвигают генокультурную передачу информации. Эта третья программа приводит авторов к социоламаркизму.

В построениях Уилсона и Ламсдена [15] просматриваются две основных ошибки. Модель генокультурной коэволюции, построенная авторами, состоит из трех основных компонентов: гены — мозг (организм) — культура. Гены, как известно, оказывают непосредственное влияние на развитие организма, формируя фенотип со всеми его особенностями, включая мозг. Обратное влияние фенотипа на гены не доказано, хотя существовали многочисленные спекуляции в виде теории Ламарка, пангенетической теории Дарвина и неоламаркистской теории Лысенко. Прямая и обратная связь культуры с фенотипом ни у кого не вызывает сомнения, хотя степень влияния генов и социальной среды на формирование человека — предмет бесконечных дискуссий [1, 2]. Таким образом, возможно установить воздействие генов через особей и их мозг на развитие культуры, как духовной, так и материальной. Что же касается обратного влияния культуры на гены, то она

опосредована той частотой и характером мутационного процесса, который имеет место в биосфере и на который может воздействовать развитие культуры, например, путем радиоактивного загрязнения среды. Однако мутационный процесс носит неадекватный характер. Изменчивость, возникающая в результате этого процесса, по мнению Дарвина, случайна, ненаправлена и неопределенна, в силу неопределенности процессов, происходящих на том микроуровне, на котором она имеет место. Природа не придумала специального механизма, трансформирующего изменения, происходящие в среде, в том числе и культурные, в соответствующую адаптивную изменчивость генотипов. Однако это не смущает социобиологов, и они изобретают «эпигенетические правила», призванные выполнять ту же роль, и «культургены», являющиеся якобы следствием воздействия культуры на генотип. Они утверждают, что не существует резкой границы, которая бы разделяла генетическую и культурную эволюцию. Предлагаемую модель они называют генокультурной коэволюцией и считают, что обоснование ее — дальнейшее развитие социобиологии. Связующее звено между генетической и культурной эволюцией расматриваемой модели — эпигенетические правила. С одной стороны, социобиологи определяют действие генов на создание культуры, с другой — влияние культуры на генотип. В качестве примеров такой коэволюции социобиологи рассматривают возникновение у человека различных признаков, например фобий: боязни змей, неизвестного, страха ребенка перед новым человеком, боязни инцеста; к этим же признакам относится материнская забота и т. п. Примеры эти малоубедительны. Известно, что подобное поведение, по существу, определяется безусловными рефлексами, возникшими в результате естественного отбора на базе индивидуальной изменчивости. Что же касается психических и интеллектуальных особенностей человека, то в настоящее время наследственность их слабо изучена, и социобиологи, игнорируя имеющиеся данные, просто постулируют гены агрессивности, альтруизма, ксенофобии, гетеросексуальности и прочие, необходимые им для построения теории. Однако не следует забывать, что вышеперечисленные признаки, например материнский инстинкт и ряд других привлекаемых авторами для демонстрации действия коэволюционных процессов, возникли у гоминидов еще до культурной эволюции, началом которой можно считать появление способности изготавливать первые орудия. С точки зрения создателей концепции коэволюции, закрепление в генотипе человека благоприобретенных признаков поведения адаптивно. Этот путь уже изведан природой и привел к появлению социальных насекомых. Для них он оказался приспособительным, так как жизнь насекомых коротка, и процесс обучения у них ограничен; у насекомых несравненно более высокий биотический потенциал, позволяющий безболезненно терять значи-

тельную часть потомства при несоответствии среды их врожденному поведению.

Нет никакой адаптивной необходимости в коэволюции. Биологическая эволюция человека основана на генетической наследственности, культурная — на социальной, не передающейся с помощью генов. Информационные функции при культурной эволюции выполняют символика языка, речь, письменность, традиции, навыки и другие многочисленные атрибуты материальной и духовной культуры.

Еще одна ошибка социобиологического подхода к проблеме современного человека — ретроактивность. Проанализируем это. Допустим, что, исследуя поведение животных, возможно обнаружить и объяснить некоторые особенности поведения человека. Можно привести уже достаточно примеров, когда это удалось сделать. Вспомним исследования Харлоу и его сотрудников, которым удалось выяснить влияние изолированного воспитания резусов на нарушение материнского, социального и семейного поведения у подопытных обезьян. Впечатляющие наблюдения Гудол за поведением шимпанзе помогли установить роль материнской заботы в воспитании характера отпрысков, выяснить степень обучаемости в выработке некоторых инстинктов у приматов. Лоренцу и Тинбергену удалось вскрыть приспособительное значение агрессивности у животных. Однако их открытия отнюдь не говорят о том, что особенности поведения животных столь же адаптивны у человека (например, та же агрессивность или стремление любым путем завоевать роль резидента в группе). Изучение социального поведения животных, безусловно, поможет вскрыть биологические предпосылки аналогичного поведения у человека, но это не означает, что их следует реставрировать, возводить в абсолют или, что еще ошибочней, пытаться объяснить и предсказать на их основе историю человечества, как это предлагают Уилсон и Ламсден [15]. Такая попытка столь же беспомощна и абсурдна, как если бы мы, изучив особенности сексуального поведения у животных, пытались внести некоторые изменения в сексуальные отношения людей или ностальгически сожалели об утраченном.

Известно, что и у человека половое поведение определяется функцией желез внутренней секреции, но в отличие от животных оно находится под контролем коры головного мозга и может регулироваться различными условными стимулами, например такими, как музыка, изобразительное искусство, мода и др. Привязанность брачных партнеров наблюдается и у животных, но она никогда не достигает такой степени совершенства и эмоционально-духовной утонченности, как любовь у человека. Разумеется, и у человека эта способность сильно варьирует, принимая иногда крайние формы проявления. Тем не менее у всех людей с появлением второй сигнальной системы и разви-

тием такой специфической адаптации, как культура, сексуальное поведение безвозвратно изменилось, даже в своей физиологической основе. И никакие новые открытия в области полового поведения животных не могут изменить специфику сексуального поведения человека. Точно так же, как никакие закономерности социального поведения животных не могут объяснить или изменить социальное поведение людей. Оно подвержено другим законам, например экономическим, этическим, которых нет и не было в мире животных. Таким образом, главная цель Уилсона и его последователей — соединение социологии с биологией — не достигнута. Не удалась им и попытка обоснования социобиологии эволюционной теорией. Однако неудача социобиологии не оправдывает дуалистического подхода к проблеме человека, предлагаемого Н. П. Дубининым [2], фактически подразделяющего людей на больных, к которым применимы законы генетики, и здоровых, живущих по социальным закономерностям. По всем психическим и интеллектуальным признакам популяции человека имеют непрерывную изменчивость, описываемую кривой нормального распределения, и любое разделение ее на части будет носить искусственный характер. Биологические особенности жизнедеятельности человека и социальная сущность его изображаются (там же) как независимые начала. К категории первых относятся генетические закономерности воспроизводства, эпигенетические особенности развития, физиологические отправления и другие процессы, совершающиеся на онтогенетическом уровне. В социальную категорию попадают общественно-экономические отношения людей, их психика, интеллект и другие особенности личности, которые искусственно отрываются от живого человека со всеми его биологическими качествами. При этом предается полному забвению тот факт, что человек остается биологическим видом со своей независимой эволюционной судьбой, принципиально отличной от судьбы других видов. Вместо этого объявляется научно доказанным, что генетическая эволюция человека прекратилась, влияние естественного отбора для человека как биологического вида не имеет значения, то есть биосоциальная сущность человека отрицается. Этот вывод настораживает самого автора, который пишет: «Тот факт, что биологическая эволюция человека на уровне вида прекратилась, кажется противоречащим диалектическому учению о вечном движении материи. Но это факт, и его надо объяснить» [2]. Далее, естественно, необходимы доказательства, что человек уже перестал быть биологическим существом, и автор тратит немало сил, чтобы их предъявить. Можно заранее предсказать, что эта попытка обречена на неудачу. Ни один биологический вид в условиях биосферы не прекратит своей эволюции, пока его воспроизводство осуществляется с помощью генов. Эволюция — это качественное состояние любого вида. Ни один

вид не может существовать не эволюируя — это было бы равносильно его вымиранию. Этот основной диалектический постулат особенно применим к человеку, так как он существует в быстро изменяющейся под воздействием растущей культуры окружающей среде. Тут наглядно проявляется реальность «гипотезы Черной Королевы» Ван Валена о том, что действие естественного отбора сводится главным образом к тому, чтобы вид не терял своей адаптивности в постоянно меняющейся среде. Как персонаж сказки Льюиса Кэрролла, он должен постоянно бежать, чтобы оставаться на месте. В противном случае он обречен на отставание и гибель.

Специфика современной эволюции человека заключается в том, что этот вид эволюирует филетически, т. е. без дивергенции, путем изменения генетической и экологической структуры популяций.

С появлением птиц и млекопитающих в эволюции постепенно приобретает силу тенденция совершенствования сигнальной наследственности на основе открытой генетической программы. Насыщенность биоценозов видами со сложным поведением требует накопления не врожденных актов поведения, а более совершенных изменчивых и адекватных среде особенностей поведения, основанных на обучении. Появляются виды, у которых условные рефлексы приобретают определяющую роль. Этой тенденции, однако, препятствует отсутствие средств в передаче сигналов у многих животных. Язык жестов, запахов, нечленораздельных звуков и красок для этого был явно недостаточен. Лишь развитие второй сигнальной системы на основе членораздельной речи позволило обеспечить возможность обучения жизненным навыкам зарождающуюся ветвь гоминидов.

Обучение, как процесс, который модифицирует и корректирует заданную генетическую программу, становится доминантным типом поведения. Развитие мозга и изменение голосового аппарата — необходимые условия совершенствования такого поведения. Развитие голосовых данных способствовало выработке системы звуковых символов — слов. Восприятие их и использование в жизненном обиходе группы позволяло мыслить такими символами и закрепляло генетические предпосылки развития второй сигнальной системы.

Непременным условием выработки этих приспособлений явилось доминирование групповой формы отбора. В борьбе за выживание, захват лучших угодий, более рациональное их использование для добывания пищи и других средств существования побеждали те популяции гоминидов, где социально-этологическая структура была более совершенной, с развитыми способами коммуникации. Речевое общение, однако, не главное социальное качество, скреплявшее группу. Существовали и другие адаптивные признаки, присущие не отдельным особям, а популяции в целом. Главным из них было зарождение куль-

туры как группового атрибута поведения нового типа. Многим животным присуща способность манипулирования предметами. Как показали исследования последних лет, использование различных предметов особенно развито у человекообразных обезьян и носит подчас ярко выраженный адаптивный характер. Однако употребление предметов для добывания пищи, для обороны и агрессии, для игр и других целей у животных носит спорадический и индивидуальный характер. Этот опыт приобретается индивидуальным обучением путем наблюдения и подражания за взрослыми особями стада. Однако он не превращается в культуру, пока не становится достоянием группы или популяции. Именно накопление опыта употребления и, что самое главное, изготовления орудий и систематического их использования популяцией послужило основой зарождения культуры. Человек овладевает принципиально новой адаптацией и завоевывает новую экологическую нишу. Приспособление с помощью культуры становится его главной адаптацией и знаменует собой новый прогрессивный эволюционый путь, приведший к социальной эволюции и превращению человека в биосоциальное существо.

Как долго длился этот переходный этап и какими изменениями он сопровождался, пока детально не известно, однако совершенно ясно, что он изменил направление биологической эволюции человека. Во-первых, она стала филетической, во-вторых, происходит под сильным давлением культуры и социальных преобразований.

Термин «филетическая эволюция» был применен Симпсоном [18] для обозначения эволюционного этапа, происходящего у видов без их дивергенции. Иначе говоря, это трансформация вида во времени, выражающаяся в изменении генетической и экологической структуры его популяций. Первоначально, при расселении популяций человека по разным материкам и ландшафтным зонам, наметилась тенденция формирования рас или подвидов. Она была обусловлена необходимостью биологического приспособления человека к специфическим физическим факторам среды. Отсюда сформировались многие адаптивные морфофизиологические признаки, характерные для разных человеческих рас. Они обеспечивали приспособление к инсоляции, холоду, пыльным бурям, давлению, длительному голоданию, инфекционным заболеваниям и т. д. В дальнейшем, с интенсивным развитием культуры, адаптивное значение этих приспособлений стало снижаться. Это было вызвано возможной и реальной заменой их культурными средствами (одежда, жилища, транспорт и т. п.), которые обеспечивали приспособленность человека в различных природных условиях. Дальнейшая дифференциация рас и превращение их в виды прекратились. Главная причина этого заключается в том, что все расы, все популяции человека обрели одну общую адаптацию — спо-

собность приспосабливаться с помощью культуры. Все они оказались приспособленными к одной экологической нише, где, согласно экологической закономерности Г. Ф. Гаузе, может существовать лишь один вид. Для дифференциации гоминидов на Земле нет соответствующих экологических ниш, поэтому все расы, все популяции людей принадлежат к одному виду *Homo sapiens*. Способность адаптироваться с помощью культуры обеспечивает человеку единство его вида. Все это, однако, ни в коей мере не препятствует его эволюционному развитию. Напротив, начался адаптивный процесс биологического приспособления человека к неограниченно растущей культуре. Этот процесс выражается в филетической эволюции. Если бы человек был существом исключительно социальным, то он довольствовался бы лишь культурными, социальными приспособлениями и изменениями. Однако сколь ни велики они и могущественны, все же пока не меняют характер размножения и развития человека. Кроме того, все культурные приспособления базируются на генетической основе. Способность воспринимать культуру, обучаться и совершенствовать ее определяется генами человека. Реальной базой социальной наследственности или культуры является генетическая наследственность. Генофонд любой долгоживущей популяции должен надежно воспроизводиться и совершенствоваться отбором. Отбор в популяциях человека не прекратится, даже если смертность, в том числе детская, усилиями медицины будет сведена до минимума.

Существуют две стратегии отбора — дифференцированная смертность при высокой рождаемости и дифференцированная рождаемость при низкой смертности. Первый путь характерен для видов с большим биотическим, репродуктивным потенциалом. Дарвин подсчитал, что 20 головок белого клевера дают 2290 семян, пара слонов за 750 лет может произвести потомство в 19 миллионов особей, в неконтролируемых условиях (по Одуму) потомки одной пары мух через несколько лет весили бы больше, чем земной шар. Однако лишь пара личинок должна превратиться во взрослых особей, чтобы численность популяции осталась на прежнем уровне. Вся остальная биопродукция идет на поддержание биоэнергетических связей в ценозах. Расточительность природы в данном случае используется на благо сообщества. У человека, в связи с увеличивающимися размерами мозга, рождением недоразвитого детеныша, необходимостью продолжительного материнского ухода, длительным периодом развития и обучения жизненным навыкам, поздней половой зрелостью и другими особенностями,— рождаемость сведена до минимума. Эта специфика онтогенеза имеет большое адаптивное значение: для того, чтобы усвоить основы культуры и быть приспособленным общественным существом, человеку потребовался мозг нового типа — мозг, растущий и форми-

рующийся под воздействием внешней среды. У новорожденного младенца объем мозга составляет лишь 25 % объема мозга взрослого человека. Это одновременно облегчило роды и увеличило биологическое детство человека. Потенциал мозга человека стал обратно пропорционален его первоначальной недоразвитости, а беспомощность ребенка потребовала длительной опеки родителей и общества. Развивающийся мозг лучше усваивал информацию, а удлиненное биологическое детство позволяло человеку обучаться и приобретать необходимые качества для приспособленного существования в усложняющейся культурной среде. Все это уменьшало рождаемость и отсюда смертность в популяциях антропоидов. Дальнейшее развитие культуры еще более закрепило это приспособление. Поэтому отбор у человека перемещается на стадии образования гамет, зигот и донатального развития — от зародыша до рождения. По обобщенным данным, потери в пренатальный период составляют 15 %, из оставшихся обычно 3 % — мертворожденные, неонатальные случаи смертей достигают 2 % (раньше это число было значительно выше), около 3 % людей умирают не достигнув половой зрелости. Наконец, из выживших в некоторых популяциях около 20 % не образуют семей, а из семейных 10 % не имеют детей [16]. Установлено, что частота спонтанных абортов в ряде популяций растет, достигая 18 %. С развитием медицины и биологии и эта эмбриональная и детская смертность, несомненно, сократится. Однако генетическая структура популяций человека и в этом случае будет продолжать меняться, так как приспособленность особей и популяций понятие относительное и, согласно Дарвину, определяется количеством оставляемого потомства. Семья, имеющая четырех детей, будет в четыре раза более приспособлена, чем семья с одним потомком.

В эволюции человека численность одних популяций растет с ускорением 3—4 %, других — стабильна, а у третьих — сокращается. Каковы бы ни были причины этого процесса, он вполне подтверждается демографическими и этнографическими данными. Кроме того, изменчивость популяций человека постоянно пополняется процессами метисации, т. е. рекомбинацией генетического материала и мутационным потоком, давление которого возрастает в последнее время. Скорость отбора, согласно фундаментальной теореме Фишера, находится в прямой зависимости от изменчивости признаков и, следовательно, от насыщенности популяции измененными особями. Холден считал человека самым полиморфным видом на Земле. Полиморфизм человека беспределен. В популяциях его имеется изменчивость буквально по каждому признаку. До недавнего времени ее можно было оценить лишь по внешним морфологическим показателям (цвет кожи, волос, глаз, форма черепа, пропорция тела и т. п.), затем были изучены физиолого-биохимические

показатели, например различные системы групп крови, которых уже выявлено около 500. С конца 60-х годов начались исследования изменчивости белков методом электрофореза, которые позволили выяснить более точную картину разнообразия особей в популяциях человека. Приблизительно ее можно оценить следующим образом. Степень гетерозиготности у человека, установленная с помощью электрофореза, составляет 6,7 % [13]. Это означает, что если человек имеет 100 000 генных локусов, то 6700 из них гетерозиготны. Такой индивидуум потенциально может продуцировать 2^{6700} или 10^{2017} различных половых клеток. Эта огромная изменчивость постоянно умножается комбинаторикой полового процесса и непрекращающимся потоком мутаций. Таким образом, запаса изменчивости, который уже накоплен в популяциях человека, вполне достаточно для его эволюции на длительное время. Процесс этот также стимулируется большим количеством генетически различающихся популяций человека, изолированных в слабой степени и различных по размеру и ускорению роста численности. Популяционная структура такого вида, как человек, согласно теоретическим положениям Райта и И. И. Шмальгаузена, идеальна для интенсивного протекания эволюционного процесса. Эволюция — процесс статистический, и его элементарная единица — популяция. В такой группе особей одного вида часть особей может сделать значительный вклад в генофонд следующей генерации, другая часть оставит меньше потомства, третья — вообще не оставит. В результате этого за одно поколение произойдет значительное изменение генофонда вида.

Некоторые авторы понимают естественный отбор у человека в узком смысле, как кровавую борьбу за существование и выживание сильнейших. При этом забываются такие формы борьбы за существование, как сотрудничество и кооперация, взаимопомощь и симбиоз, которые приносят не меньший адаптивный успех. У антропоидов взаимопомощь играла огромную роль в формировании общественных качеств и становлении человека. Процветали именно те популяции, где она была более развита. Становление культуры повлияло на действие всех факторов эволюционного процесса. Например, все усилия медицины сводятся к ослаблению действия отбора, однако полностью устранить его медицина не в силах. При этом не следует забывать, что естественный отбор оперирует не общественными отношениями, а популяциями человека, не культурными ценностями, а генами. Он устраняет из популяции те генетические особенности, которые не способствуют ее биологической адаптивности и, напротив, оставляет полезные, необходимые. Их, безусловно, великое множество, но на современном этапе эволюции человека это прежде всего те признаки, которые делают его приспособленным к развивающейся культурной среде во всех ее проявлениях от вредных для организма (загрязнение

среды, стрессовая обстановка в городских конгломератах и т. д.) до полезных и особенно способствующих развитию самой культуры. Для примера напомним лишь о способности человека обмениваться информацией с помощью символов. Без возникновения второй сигнальной системы, развитие которой заложено в генах, бурный рост культуры был бы невозможен и человек никогда не стал бы человеком. Таким образом, естественный отбор повлиял и на ход социального становления человека, сделав его способным к творческому труду, обеспечив качествами, необходимыми для восприятия культуры (обучаемость, вторая сигнальная система, длительное биологическое детство) и ее совершенствования (развитие коры головного мозга, руки, жажда познания и импровизации и т. д.). Кроме того, не следует забывать и о том, что отбор продолжает способствовать сохранению всех тех биологических качеств, которые обеспечивают жизнеспособность человека и его воспроизводство. Некоторые финалисты считают, что эволюция имеет одну цель — создание человека и что после достижения этой цели она останавливается. Однако эволюция не имеет финала и нелогично считать, что с созданием человека эволюция прекратилась, хотя бы потому, что другие виды существуют в биосфере и продолжают эволюировать.

Человек в биосфере не единственный биологический вид. Он существует в комплексе со всеми другими видами и эволюирует, изменяется вместе с ними. Странно предполагать, что в биогеоценозах, где происходят постоянные изменения, один вид вдруг прекратит эволюировать. Жизнь на нашей планете находится в сложных отношениях с окружающей средой, и трудно предположить, что когда-либо наступит устойчивое эволюционное равновесие. С появлением жизни химическая эволюция в биосфере не прекратилась, а лишь приняла новые формы и темпы под воздействием живого вещества. Точно также с появлением общества с его культурой биологическая эволюция человека не остановилась, хотя находится под давлением и направляющим началом развивающейся культуры. В начале это воздействие стихийно, но со временем приобретает упорядоченность. Биологическая эволюция постепенно становится управляемой, так как попадает под влияние культуры. Между биологической и культурной эволюцией имеется обратная связь, хотя последняя основана на фенотипических признаках, не передающихся по наследству. В популяциях человека укрепляются гены, которые способствуют развитию культуры и делают человека приспособленным к ней. Например, несомненно преимущество генов, повышающих обучаемость, стрессоустойчивость, коммуникабельность и др. Знания человека по наследству не передаются, но способности человека к восприятию информации несравненно выше, чем у животных, и продолжают эволюировать. Лишь у человека генетически закрепилась спо-

собность к восприятию символов, что позволило ему накапливать культуру.

Человек — единственный в биосфере вид, осознавший свою эволюцию, поэтому у него нет другого выхода, кроме как подчинить этот процесс своей воле. Он осознал прошлое и способен смотреть в будущее, поэтому он должен управлять эволюционым процессом.

ЛИТЕРАТУРА

1. Беляев Д. К. Социальное и биологическое в человеке.— Полит. самообразование, 1982, № 2, с. 33—41.
2. Дубинин Н. П. Что такое человек. М.: Мысль, 1983. 334 с.
3. Игнатьев В. Н. Социобиология человека: Теория генокультурной коэволюции.— Вопр. философии, 1982, № 9, с. 134—141.
4. Карпинская Р. С., Никольский С. А. Социобиология — ее сторонники и оппоненты.— Филос. науки, 1982, № 1, с. 145—148.
5. Панов Е. Н. Поведение животных и этологическая структура популяций. М.: Наука, 1983. 423 с.
6. Сатдинова Н. Х. Социобиология — «за» и «против».— Вопр. философии, 1982, № 3, с. 129—136.
7. Фролов И. Т. Перспективы человека. М.: Политиздат, 1983. 350 с.
8. Alexander R. D. Darwinizm and human affairs. L., 1979. 212 p.
9. Dawkins R. The selfish gene. N. Y.;Osford, 1977. 234 p.
10. Freedman D. G. Human sociobiology: a holistic approach. N. Y.: Free press, 1979. 242 p.
11. Hamilton W. D. The evolution of altruistic behavior.— Amer. Natur., 1963, v. 97, p. 354—356.
12. Hamilton W. D. Selection of selfish and altruistic behavior in some extreme models.— In: Man and beast: comparative social behaviour/Ed. J. F. Eisenberg. Washington, 1971, p. 55—91.
13. Harris H., Hopkinson D. A. Average heterozygosity in man.— J. Human Genet., 1972, v. 36, p. 9—20.
14. Lewontin R. C. Sociobiology as an adaptationist program.— Behavioral science, 1979, v. 24, N 1, p. 5—14.
15. Lumsden Ch. J., Wilson E. O. Genes, mind and culture. The coevolution process. L.: Harvard Univ. Press, 1981. 385 p.
16. Penrose L. S. Human variability and adaptability.— In: Human variation and natural selection /Ed. D. F. Roberts.— Symp. Soc. Human Biol., L., 1975, v. 13, p. 15—26.
17. Ruse M. Sociobiology: sense or nonsens? L., 1979, 253 p.
18. Simpson G. G. The meaning of evolution. New Haven, 1949, 254 p.
19. Skinner B. F. The behaviour of organisms: an experimental analysis. N. Y.: Applton-Century-Crofts, 1938. 350 p.
20. Thorndike E. L. Animal intelligens. N. Y.: Macmillan, 1911. 374 p.
21. Trivers R. L. The evolution reciproctal altruism.— Quart. Rev. Biol., 1971, v. 46, p. 35—37.
22. Trivers R. L. Parental investment and sexual selection.— In: Sexual selection and the descent of man/Ed. B. Campbell. Chicago, 1972, p. 137—179.
23. Wilson E. O. Sociobiology: the new cynthesis. Cambrige, 1975. 697 p.

АКАДЕМИЯ НАУК СССР УРАЛЬСКИЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР

ПОГРАНИЧНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ЭКОЛОГИИ 1986

В. В. ПЛОТНИКОВ

ЭВОЛЮЦИОННО-ФИТОЦЕНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРЕДПОСЫЛКИ КОНСТРУИРОВАНИЯ БИОЦЕНОЗОВ

По мнению В. И. Вернадского, которое все больше подтверждается современными представлениями, жизнь на Земле зародилась несколько миллиардов лет назад и «сразу в виде сложных комплексов» [2—5]. Таков опыт эволюции в конструировании биосферы.

Исторический опыт человечества в конструировании биоценозов начинается со времен возникновения земледелия и насчитывает 9—10 тыс. лет. Пренебрегать этим грандиозным опытом для *Homo sapiens* было бы неразумно.

Рассматривая основные и принципиальные различия в стратегиях эволюции и человечества при конструировании биоценозов, С. С. Шварц [20] писал: «Природа стремится создавать стабильные системы, их продуктивность ее (природу) не интересует. Однако человек заинтересован не только в стабильных, но и продуктивных экологических системах. Биологические системы, созданные человеком (агроценозы), обладают высокой продуктивностью, но низкой стабильностью. Природа подсказывает нам выход из создавшегося противоречия. Анализ явлений на уровне биогеоценозов показывает, что сочетание высокой продуктивности с максимальной стабильностью возможно практически в любых условиях среды».

Итак, эволюция создает устойчивые биоценозы, а человек до недавнего времени был заинтересован исключительно в продукции биоценозов, причем, по замечанию Одума [12], именно в чистой продукции: если мы выращиваем чай или табак, то нам нужны листья и ничего более, если речь идет о пшенице, то нам нужно только зерно и т. д. Между тем за последние два-три десятилетия обстановка решительным образом изменилась: человек все чаще вынужден прибегать к созданию именно устойчивых биоценозов, иной раз пренебрегая их прочими полезными качествами. Необходимо думать над тем, как наиболее разумно использовать на благо человека ограниченные природные ресурсы и беспредельные возможности живой природы.

Гений В. И. Вернадского увлек нас идеей биосферы как колыбели познавшей себя материи и стартовой площадки для экспансии человеческого разума в мировое пространство [2—5]. На фоне этой превосходной концепции неоправданно потускнел закон географической зональности как отражение одной из фундаментальных структурных закономерностей жизнедеятельности биосферы. Действительно, геофизики выработали принцип геофизической зональности через проявления геомагнитного поля Земли; астрофизики пришли к тому же самому на уровне атмосферы и ионосферы Земли; аналогичные выводы гораздо ранее сделали исследователи Мирового океана... Короче говоря, географические пояса изолированы один от другого по всей биологически актуальной толще гораздо больше, чем это предполагалось ранее.

На всем этом естественно-историческом фоне знаменательно то обстоятельство, что в умеренном поясе северного полушария сейчас сосредоточена подавляющая часть всех промышленных производств, энергетических и транспортных коммуникаций, сельскохозяйственных площадей с монокультурами, новых техногенных сред и субстратов, площадок для запуска космических кораблей и пр. Чудовищная концентрация здесь производительных сил придает всем аспектам взаимоотношений между природой и обществом не виданную раньше остроту. Все биоценозы умеренного пояса северного полушария испытывают огромное давление техногенных факторов, с которыми эволюция еще не встречалась.

Очевидно, что универсальным средством против любых мыслимых катаклизмов в этих обстоятельствах является конструирование и перестройка биоценозов. Вопрос можно поставить так: какие уроки для теории конструирования биоценозов (объектов сельского хозяйства, лесоразведения, рекультивации земель) можно извлечь из эволюционного прошлого фитоценозов и растительного покрова нашей планеты?

Для природы не существует принципиально новых задач: многие коллизии, над которыми мы сегодня ломаем головы, возникали и раньше, на протяжении последних четырех млрд. лет и успешно природой преодолевались.

Самой обычной и основной задачей, стоявшей во все времена перед созидательным элементом биосферы — растительным покровом — является освоение новых сред и субстратов (это и экспансия жизни из Мирового океана на сушу, и освоение плакорных и высокогорных местообитаний, и заселение аллювиальных и вулканогенных субстратов и т. д.). Вполне очевидно, что и проблема конструирования биоценозов должна начинаться с решения этой же задачи.

Освоение растительностью новых сред и субстратов складывается из распространения организмов в новую среду и удержания ее за собой, т. е. того свойства жизни, которое

В. И. Вернадский называл «свойством слепого растекания в пространстве». На огромном числе примеров можно показать, что пионерную роль или функцию «растекания» в пространстве выполняют виды, обладающие разнообразными и изощренными способами размножения, характеризующиеся обилием репродуктивного материала (спор, семян, выводковых почек, корневых отпрысков и т. д.) и повышенными темпами индивидуального развития особей (онтогенеза). К таковым относятся все древнейшие обитатели Земли — бактерии, водоросли и споровые сосудистые растения, а из новейших флористических элементов — в первую очередь цветковые апомикты.

Устойчивость пионерных растительных группировок, сложенных низшими типами организмов, чрезвычайно высокая, чего нельзя сказать о пионерных группировках высших растений. Достаточно представить себе обычные моховые, хвощовые или папоротниковые синузии, чтобы составить представление о средствах, которыми эта устойчивость достигается. А достигается она исключительной простотой структуры сообщества и огромной силой вегетативного размножения растений. Коллизий, связанных с конкурентными взаимодействиями в монодоминантных группировках, споровые растения избегают благодаря исключительной онтогенетической разновозрастности вегетативных отпрысков в пределах пусть даже единого клона. Короче говоря, устойчивость группировок примитивных типов растений достигается путем снижения организационных материально-энергетических затрат. По нашим расчетам, в современной темнохвойной тайге эти затраты достигают 4/5 от потенциальной продуктивности древостоя, а в степных сообществах — до 3/5 от потенциальной продуктивности травостоя [15].

Мы знаем, с какими трудностями связана рекультивация промышленных земель. Сплошь и рядом мы еще усугубляем эти трудности, стремясь во что бы то ни стало конструировать сразу и непременно биоценозы высшего типа, по образцу ухоженных газонов и цветочных клумб. Но, может быть, иногда достаточно оказать минимальное содействие поселению на безжизненных субстратах именно споровых растений? Пусть они «поработают» в меру присущих им замечательных пионерных свойств... Мхи и папоротники, например,— известные первопоселенцы вулканогенных субстратов. По-видимому, полезно к ним присмотреться, исходя из интересов первичного заращения терриконов. Полоса сработки уровня регулирующих водохранилищ, по выражению Б. А. Корнилова [9], представляющая собой «прибрежное болото, покрытое слоем грязи, топкое и зловонное, с разлагающейся органической массой, отравляющей воды водоема, и преграждающее путь к воде», вероятно, может быть полигоном для испытания некоторых замечательных способностей хвощей.

Эти примеры из жизни наиболее примитивных и филогене-

тически древних типов растений позволяют утверждать, что эволюция создала практически неисчерпаемый оперативный, технологический, строительный материал для конструирования биоценозов любого мыслимого функционального назначения. Эволюция породила около 500 тыс. видов растений, и все они рассредоточены по исправно функционирующим экосистемам. Методами генной инженерии можно сконструировать новые виды, сорта и расы. Но как наиболее эффективно вписать их в действующие экосистемы? Культурфитоценология развивается в таком направлении, что ей в предвидимом будущем придется иметь дело с растениями практически всех жизненных форм и таксономических рангов. Каким же образом комбинировать новые сочетания, новые экосистемы из старого, классического биологического материала?

Мы подошли к вопросу о технологии конструирования биоценозов, которую можно было бы позаимствовать из богатейшего созидательного опыта эволюции. Вопрос поставим так: в чем состоят принципиальные различия в технологии конструирования биоценозов между эволюцией и человеком?

Первая технологическая особенность эволюционного процесса выработки биоценозов заключается в том, что в качестве вместилища для биоценозов эволюция испытывает абсолютно все доступные для элементарных носителей жизни — организмов — среды и субстраты («природа не терпит пустоты»). Действительно, жизнь на Земле в той или иной форме мы находим повсюду. Более того, во многих случаях мы можем различить своего рода волны или последовательные эшелоны экспансии жизни. Так, некогда жизнь зародилась в водной среде, затем, достигнув определенного уровня, распространилась на сушу; в условиях суши произошла ангиоспермизация (возникли покрытосеменные растения), и, наконец, некоторые из этих «победителей в борьбе за существование» переселились обратно в водную среду, демонстрируя мощь своих морфогенетических приспособлений (вспомним хотя бы об элодее канадской или водном гиацинте). Человек до недавних пор шел по пути наименьшего сопротивления, создавая биоценозы в наиболее удобных для себя условиях. Теперь обстоятельства изменились, и в этой связи нам следует присмотреться к тактике передовых соединений растительности при освоении новых субстратов и сред, но об этом должен быть специальный разговор.

Далее следует отметить, что природа (эволюция) решительно не признает каких-либо политико-административных, ведомственных и прочих измышленных человеком границ. Для нее существуют лишь ландшафтно-геохимические барьеры [13, 14]. Природа стремится к минимизации числа и протяженности границ. Человек же находится под давлением политико-административного и ведомственного подчинения территорий. Более того, в своей хозяйственной деятельности человек безоглядно

дробит исправно функционирующие естественные биоценозы всевозможными искусственными барьерами и преградами. Человек стал генеральным «межевальщиком» биоценологического покрова Земли, намного превосходя в этом отношении естественные геологические и геофизические силы. Мы знаем много институтов, которые фундаментальным образом исследуют, скажем, клеточные и субклеточные мембраны. Но известна ли хоть одна лаборатория, которая столь же последовательно изучала бы поведение микроорганизмов, микроэлементов или хотя бы семян, спор, пыльцы растений, а в целом — миграции вещества и энергии на границе между двумя смежными биоценозами?

Между тем бесконечно умножается число примеров, когда действия человека в этом аспекте явно уступают по своей логике «слепой стратегии» природы. Всем известно, например, для чего у нас в стране созданы и создаются государственные заповедники. Интересы человека и эволюции в этом направлении полностью совпадают. Но эволюция не знает ведомственных барьеров, а мы ухитрились около 100 заповедников «рассовать» по 30 ведомствам! О какой же единой стратегии и политике может идти речь в этих обстоятельствах? Эволюция не может выйти из рамок зонально-климатических, гидрографических и прочих естественно-исторических рубежей. Так, географы и экологи давно уже пришли к пониманию водосборного бассейна как элементарной ландшафтной единицы эволюционного процесса (на уровне биогеоценозов) и одновременно элементарного целостного объекта какой-либо хозяйственной деятельности. Совершенно очевидно, например, что, вырубая леса или осушая болота в верховьях какой-либо реки, мы воздействуем на основы сельского хозяйства в низовьях этой же реки и т. п. Границы хозяйства должны согласоваться с естественноисторическими границами бассейнов, тем более, что любой бассейн можно по единому принципу поделить на сколь угодное число соподчиненных суббассейнов.

Возвращаясь к технологии конструирования биоценозов, можно сформулировать следующий вывод: при конструировании биоценозов, а также при их объединении или разъединении для каких-либо хозяйственных целей мы должны руководствоваться, насколько это возможно, естественно-историческими границами, барьерами и рубежами.

Еще один технологический момент, который следует выделить, состоит в том, что эволюция при конструировании биоценозов действует, так сказать, методом видового насыщения, а человек — методом исключения. С. С. Шварц писал по этому поводу, что человек «...стремится улучшить условия жизни организмов, изменяя неживой компонент экологической системы. Отрицать перспективность этой работы невозможно, но анализ закономерностей эволюции биокомплексов показывает, что воз-

можен и иной путь, основанный на направленном, научно обоснованном обогащении биоценозов» [20, с. 227].

В отложениях Ганфлинт-Айрон в Северной Америке, возраст которых оценивается в 2 млрд. лет, найдено 12 видов микроорганизмов [1]. По расчетам Виланда [22], в девонской системе (320—400 млн. лет назад) на Земле существовало уже около 12 тыс. видов растений, в карбоне (270—320 млн. лет назад) их стало 27 тыс., а в перми и триасе — более 43 тыс. Сейчас, как мы знаем, число видов растений на Земле оценивается примерно в 500 тыс., а всего за историю жизни на Земле «промелькнуло», по приблизительному расчету Симпсона [17], около 500 млн. видов растений и животных. Теперь есть достаточно оснований считать одной из причин интенсивного угленакопления в карбоне и перми облигатную монодоминантность преобладавших в растительном покрове сообществ древовидных споровых растений. Иными словами, угольные пласты любого геологического возраста — красноречивые свидетельства биогеоценологических катаклизмов, случавшихся из-за структурного несовершенства биоценозов.

Сейчас более 10 % поверхности суши занято монокультурами высших растений, преимущественно злаков: из них 14 % приходится на долю СССР. Примерно такими же величинами характеризуются площади, где монодоминантная структура естественных фитоценозов поддерживается человеком (лесные культуры, сообщества рудеральных растений и т. п.). Пропорционально этим размерам увеличивается и доля ответственности человека, а точнее — мера зависимости глобальных функций биосферы и от сугубо геофизических (климатологических), и от социально-политических (антропогенных) катаклизмов.

Как уже было сказано, эволюция вырабатывала «методом проб и ошибок» все более насыщенные, обогащенные в видовом отношении биоценозы, и в этом видится неистребимая жизнеспособность естественных экосистем. Каковы же механизмы, которыми эволюция биоценозов достигала и, надо полагать, достигает своих целей?

Прежде всего, в этой связи следует заметить, что эволюция, как правило, не отвергает ранее созданные формы, а находит им новое применение в новых физических условиях и в новых биогеоценологических средах. Для примера достаточно вспомнить те же мхи: по многим гипотезам, они были пионерами освоения растительностью суши Земли; они же и до сих пор безраздельно господствуют в растительном покрове тундровой зоны и арктических пустынь. Совсем недавно выяснилось, что некоторые виды мхов способны фотосинтезировать при температуре —20 °С под слоем снега толщиной до 20 см. Какие еще сюрпризы заготовила для нас эта таксономическая группа? К чести геоботаников следует заметить, что в последние годы они занялись мхами весьма основательно.

Далее отметим, что эволюция «обкатывает» механизмы облигатного взаимодействия видов с взаимодополняющими физиологическими потребностями и чрезвычайно отдаленной таксономической принадлежности. Речь идет не столько о симбиозе, как явлении, сколько о симбиогенезе, как процессе. Теория симбиогенеза переживает сейчас, трудно сказать в который раз, свое новое рождение [19] благодаря привлечению данных цитогенетики и молекулярной биологии. На этом фоне неоправданно потускнело фундаментальное представление Б. А. Келлера [8] о том, что «каждое растение и животное есть частица общего симбиоза». Мы знаем, что Келлер трактовал явление симбиоза чрезвычайно широко, распространяя его до уровней биоценозов и биосферы. А мы привыкли рассматривать симбиоз на уровне взаимодействия представителей двух или, значительно реже, трех видов. В экспериментальной или агропромышленной практике, разумеется, можно сконструировать биоценозы, состоящие из одного-трех видов, но долго ли они продержатся, предоставленные сами себе? В природе процветают многовидовые сообщества (не путать с полидоминантными!). В тропическом дождевом лесу на 1 га площади можно встретить от 40 до 100 видов только древесных растений [21]. Рекуррентный расчет показывает, что в сообществе, состоящем всего из восьми видов растений одной жизненной формы, возможны 64 соединения по принципу «одного ближайшего соседа» и 43 480 соединений, если нам вздумается учитывать для каждого растения видовую принадлежность восьми его ближайших соседей. Разумеется, этот пример отнюдь не подтверждает гипотезу симбиогенетического происхождения современных естественных биоценозов, но он вполне убедительно показывает, что эволюцией на протяжении геологической истории испытаны на прочность самые невообразимые сочетания известных нам биологических видов, а мы в познании явлений отмеченного порядка стоим лишь на дальних подступах.

Итак, выражаясь словами Одума [12], «разнообразие — это необходимость, а не только «приправа» к жизни». И самое удивительное, что на уровне биоценозов беспредельное видовое разнообразие четко укладывается в раз и навсегда предустановленные эволюцией структуры. Действительно, структуру микробного, водорослевого, мохового, древесного и какого угодно ценоза мы можем выразить в одних и тех же формализованных показателях, таких как видовой состав, плотность ценопопуляций, тип размещения особей, скорость размножения или возрастная структура ценопопуляций, сопряженность или сегрегация между особями разных видов, возрастов и форм и т. д. Плотность ценопопуляций, например, в любом случае будет основополагающим фактором, она же и наиболее доступна регулированию в каких-либо хозяйственных целях.

Если абстрагироваться от внешних физических факторов, то

структура биоценозов — это и есть та реальная биогенная среда, тот биогенный субстрат, на котором протекает борьба за существование в ее современной эволюционной трактовке [6]. Русский ботаник Н. Ф. Леваковский [10, 11] одним из первых поставил экспериментальные исследования по этому вопросу, но и почти сто лет спустя австралийский ботаник Дональд [7] имел достаточно оснований заявить, что «мы пока еще не совсем понимаем взаимосвязи между максимальным урожаем с одного растения и максимальным урожаем с единицы площади».

Дело в том, что на всем протяжении геологической истории эволюцией вырабатывалась структура биоценозов, отвечающая интересам их максимальной устойчивости, т. е. выживания, но никак не интересам производства максимальной продукции. В частности, с момента зарождения еще в морской среде прикрепленных к субстрату форм растений началась и продолжается дифференциация растений на фитоценотипы, как элементы структурно-функциональной специализации видов в пределах ценоза: эдификаторы («силовики»), субэдификаторы («выносливцы») и ассектаторы. Растения одного и того же вида в некоторых условиях могут быть эдификаторами, в других — могут довольствоваться ролью субэдификаторов или даже ассектаторов, но в любом устойчивом фитоценозе должен присутствовать полный набор фитоценотипов. Одно из эмпирических обобщений экологии гласит, что наиболее остро конкуренция протекает в среде равных во всех отношениях партнеров: дифференциация сообщества на фитоценотипы как раз и предохраняет его от соответствующих неугодных коллизий.

Мы стремимся создавать не просто одновидовые биоценозы, т. е. сложенные одним фитоценотипом, но зачастую и в генетическом отношении представленные, так сказать, стерильно чистой линией. Между тем уже давно экспериментально установлено [16], что конкурентоспособность культурных растений выше, чем дикорастущих, а следовательно, и чувствительность культурных растений к факторам структурного порядка (плотности и размещению особей) чрезвычайно велика. Можно утверждать, что эволюция протекала в направлении все большей индивидуализации особей в пределах вида, и новейшие флористические элементы — культурные растения не уклоняются от этой генеральной тенденции. Вот и получается, что при одной плотности посева в чистой культуре, например клевера, мы можем получить 0,6 г сухого вещества с одного растения, а при другой плотности — 34 г в одних и тех же экологических условиях. Короче говоря, в некоторых случаях, вероятно, мы должны позаботиться не о том, чтобы любой ценой избавиться от сорняков, а о том, чтобы специально «засорить» посев какими-либо заведомо безобидными, а еще лучше — полезными дикими видами, способными и вытеснить злостные сорняки, и опо-

средовать конкурентные взаимодействия между особями культурного вида, и сообщить биоценозу достаточный запас прочности. В тех случаях, когда по каким-либо причинам невозможно создавать смешанные фитоценозы, определенного положительного эффекта можно достигнуть путем конструирования ценопопуляций разновозрастной структуры. Наконец, если невозможно манипулировать соотношениями возрастных генераций, то в интересах устойчивости ценозов полезно добиваться их генотипической неоднородности или хотя бы некоторого оптимального соотношения форм семенного и вегетативного происхождения.

В экспериментальной и полевой научно-исследовательской практике к настоящему времени изучено огромное количество парных сочетаний видов, т. е. различных взаимодействий на уровне двухвидовых сообществ. По-видимому, пришла пора както синтезировать эти представления, например, путем выявления «меры комплементарности» некоторых наиболее изученных в фитоценологическом отношении видов, как показателя, характеризующего степень их биогеоценологической совместимости. Нетрудно представить себе таблицу, из которой бы можно было по мере надобности извлекать объективные сведения о сравнительной эффективности тех или иных видовых сочетаний. В идеале же представляется весьма актуальной задача установления хотя бы для важнейших в хозяйственном отношении видов своего рода свит, т. е. набора видов-сателлитов, в присутствии которых интересующие нас особенности данного вида раскрываются наилучшим образом.

Подведем некоторые итоги. Выше было сказано, что для конструирования биоценозов эволюцией заготовлен неисчерпаемый объем строительного материала. Далее мы показали, что из «опыта» эволюции для наших потребностей можно позаимствовать и сознательно использовать немало сугубо технологических моментов. Уместно поставить вопрос: нет ли в природе механизмов, аналогичных ОТК в производстве, т. е. ответственных за качество продукции? Казалось бы, что лучше, чем время, может проверить надежность тех или иных биологических конструкций, но у нас слишком часто времени-то и нет. В этих обстоятельствах огромную ценность представляет предуготованный для нас эволюцией набор эталонов, в виде исправно функционирующих естественных биоценозов. Н. В. Тимофеев-Ресовский в одном из последних своих выступлений обратился к эволюционистам с призывом к изучению «на современном уровне огромного природного эволюционного материала..., чтобы увеличить, расширить, уточнить и окончательно завершить те знания микроэволюционных процессов, которые сейчас уже помогают нам прояснить всю картину грандиозного эволюционного процесса, происходящего на Земле» [18].

Кому не знакома такая картина, когда посреди загублен-

ного, например, атмосферными промышленными выбросами лесного массива зеленеет клочок живого леса? Вполне очевидно, что здесь мы имеем дело с результатами незапланированного биогеоценологического эксперимента и эти результаты необходимо зафиксировать. Хотим мы этого или не хотим, но нам нередко придется действовать методом «посмертного вскрытия», чтобы выяснить причины гибели отдельных экосистем и выработать рекомендации на будущее.

ЛИТЕРАТУРА

1. Баргхорн Э. С. Древнейшие органические остатки на Земле.— Природа, 1972, № 5, с. 77—82.
2. Вернадский В. И. Биосфера. Л.: Науч. хим.-техн. изд-во, 1926. 148 с.
3. Вернадский В. И. Об условиях появления жизни на Земле.— Изв. АН СССР. Отд. мат. и естеств. наук, 1931, № 1, с. 633—653.
4. Вернадский В. И. Биогеохимические очерки. М.: Изд-во АН СССР, 1940. 250 с.
5. Вернадский В. И. Размышления натуралиста. Пространство и время в неживой и живой природе. М.: Наука, 1975. 175 с.
6. Галл Я. М. Борьба за существование как фактор эволюции. Л.: Наука, Ленингр. отд-ние, 1976. 155 с.
7. Дональд С. Конкуренция за свет у сельскохозяйственных культур и пастбищных растений.— В кн.: Механизмы биологической конкуренции. М., 1964, с. 355—394.
8. Келлер Б. А. Ботаника. Главные факты и закономерности. М., 1935. 472 с.
9. Корнилов Б. А. Физико-географические исследования в районе Печорского водохранилища.— В кн.: Влияние водохранилищ лесной зоны на прилегающие территории. М., 1970, с. 53—62.
10. Леваковский Н. Ф. К вопросу о вытеснении одних растений другими. I. Отношение семян растений к влаге.— Труды О-ва естествоиспытателей при Казанском ун-те, 1871, т. 1, вып. 2, с. 35—52.
11. Леваковский Н. Ф. К вопросу о вытеснении одних растений другими. II. Значение семян и подземных частей растений, находящихся в почве.— Труды О-ва естествоиспытателей при Казанском ун-те, 1873, т. 3, вып. 2, с. 19—31.
12. Одум Ю. Основы экологии. М.: Мир, 1975. 740 с.
13. Перельман А. И. Геохимия ландшафта. М.: Географгиз, 1961. 311 с.
14. Перельман А. И. Биокосные системы Земли. М.: Наука, 1977. 160 с.
15. Плотников В. В. Эволюция структуры растительных сообществ. М.: Наука, 1979. 276 с.
16. Сакаи Кан-Ихи. Конкурентоспособность растений, ее наследуемость и некоторые связанные с ней проблемы.— В кн.: Механизмы биологической конкуренции. М., 1964, с. 309—331.
17. Симпсон Дж. Темпы и формы эволюции. М.: ИЛ, 1948. 358 с.
18. Тимофеев-Ресовский Н. В. О взаимоотношениях микро- и макроэволюции.— В кн.: Микро- и макроэволюция. Тарту, 1980, с. 51—57.
19. Хахина Л. Н. Проблемы симбиогенеза. Л.: Наука, 1979. 156 с.
20. Шварц С. С. Эволюция и биосфера.— В кн.: Проблемы биогеоценологии. М., 1973, с. 213—228.
21. Шмитхюзен И. Общая география растительности. М.: Прогресс, 1966. 310 с.
22. Weyland H. Die Flora des Elberfelder Mitteldevons in ihrer Bedeutung für die Kenntnis der gesamten Devonflora.— Jahrb. Naturwiss. Verein, Elberfeldt, 1925, Bd 15.

АКАДЕМИЯ НАУК СССР УРАЛЬСКИЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР

ПОГРАНИЧНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ЭКОЛОГИИ 1986

А. М. СТЕПАНОВ

БИОСФЕРНЫЕ АСПЕКТЫ ПИРАМИДАЛЬНЫХ ГОРОДОВ

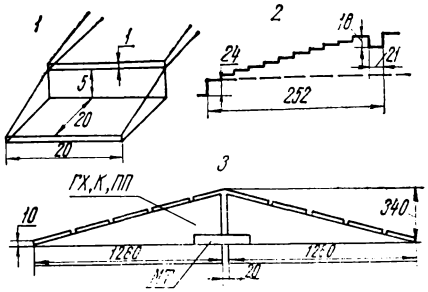
Для обоснования концепции пирамидальных городов необходимо хотя бы кратко перечислить основные аспекты отношения человека к среде его обитания — биосфере, которые до сего времени однозначно не определены и по которым еще имеется большое количество мнений.

Из трудов В. И. Вернадского, рассматривавшего биосферу как глобальное целое, следует, что масса живого вещества во все периоды филогенеза есть величина постоянная [1]. Вывод будет понятен, если мы примем во внимание теоретические скорости распространения организмов, приводящие к высокому значению «напора жизни» во всех средах, борьбу видов за существование, заполнение живыми организмами всех экологических ниш биосферы и т. д.

По В. И. Вернадскому, развитие всех процессов в биосфере самопроизвольно идет в направлении постоянного увеличения количества вещества и энергии, вовлекаемых в биогеохимические круговороты, в сторону возрастания КПД всех процессов и увеличения биопродуктивности и биомассы живого вещества вплоть до пределов, определяемых размерами Земли. Это означает, что биосфера в своем самопроизвольном (без влияния человека) развитии оптимизирована во все периоды филогенеза, что отклонения в ней от оптимума всегда локальны и временны и не нарушают глобальной закономерности.

Угроза экологического кризиса в значительной мере определяется изъятием значительной части территории суши из сферы действия природных экосистем. Отсюда следует, что территория должна рассматриваться как ресурс не менее важный, чем полезные ископаемые, леса, чистый воздух, чистая вода. Перед нами встает задача экономии этого ресурса, высвобождения территории для функционирования природных экосистем, которые продуцируют биомассу, кислород, чистый воздух, чистую воду, поддерживают циклы массо- и энергообмена, хранят генофонд дикой природы.

Все эти компоненты окружающей среды — фундамент нормальной жизни на нашей планете. Надо отдавать себе отчет в том, что никакой иной среды обитания, кроме естественной,



Поперечное сечение и модуль пирамидального города.

1 — модуль на 6 человек; *2* — шаг улиц; *3* — поперечное сечение: *МТ* — междугородний транспорт, *ГХ, К, ПП* — городское хозяйство, коммуникации, промышленное производство соответственно.

природной, в распоряжении людей в обозримом будущем не предвидится. Идеи создания искусственной среды и переселение под воду, в околоземное пространство, в «сферы Дайсона», на другие планеты и т. п. пока несостоятельны. Все это вполне реально для ограниченного количества людей, например в интересах научных экспериментов, но не для всего человечества. Иными словами, отношения биосферы и антропосферы всегда объективно складывались как отношения базиса и надстройки.

Реально существующая антропосфера на поверхности земли имеет вид узловато-ячеистой структуры, в которой узлы — города соединены связями — транспортными магистралями, а в ячейках, образованных этими связями, остается место, где могут развиваться природные экосистемы, выполняя свои многообразные, столь необходимые человеку функции. Таким образом, единственная альтернатива экологическому кризису в условиях непрерывного прогресса человеческой культуры — качественное преобразование узловато-ячеистой структуры антропосферы и прежде всего уплотнение узлов-городов, упорядочение транспортных связей с целью высвобождения территорий для функционирования природных экосистем.

Идея пирамидальных городов не нова. С глубоких времен она обсуждается в философском и научном плане, восходя к утопиям древних. По-видимому, настало время, когда от утопических представлений необходимо переходить к практическому воплощению этой идеи в жизнь человеческого общества, рассматривая пирамидальные города как возможный резерв биосферы, которая должна вместить в себя и обеспечить дальнейшее развитие и прогресс человеческого общества.

Сформулируем принципы построения и выберем конструктивный модуль пирамидального города (см. рисунок).

1. Желательно, чтобы город имел большую высоту, что способствует увеличению плотности населения. Однако при высоте более 300—350 м он может оказывать заметное влияние на тропосферные процессы. Кроме того, сооружение более высоких городов сопряжено с техническими трудностями, тогда как одним из принципов строительства таких городов должен быть следующий: при их возведении не должны применяться ника-

кие принципиально новые конструкции или технические устройства, а только те, которые уже существуют и проверены на практике.

2. Жилая зона пирамидального города должна быть расположена на боковой поверхности пирамиды, которая для этого террасирована, внутренний объем отводится под размещение городского хозяйства, транспорта — внутригородского и междугородного, различных коммуникаций и промышленных предприятий.

3. Пирамидальный город имеет треугольное поперечное сечение с площадкой наверху шириной 20 м. Если объем промышленного производства города не помещается в треугольник, поперечное сечение выбирается трапецеидальным.

4. В качестве основного жилого модуля на семью из 6 человек (три поколения — формула, обеспечивающая стабилизацию населения) принимаем фасад 20 м длиной, 5 м высотой с участком перед ним 20 × 20 м. Технический этаж высотой 1 м даст возможность разместить слой почвы на участке и подвести коммуникации к жилым помещениям.

5. С учетом толщины стен и перекрытий шаг террасы составляет 21 × 6 м.

6. Улицы глубиной 18 м (3 этажа) размещаются через 10 этажей и имеют ширину 21 м. Таким образом, периодически повторяющаяся структура из 10 этажей с улицей имеет длину 252 м и высоту 66 м.

7. Вокруг города располагается заповедная зона, протяженность которой в каждом конкретном случае может быть разная. Выход из города на прилегающую заповедную зону не разрешается. Высота первого этажа над поверхностью земли принимается равной 10 м. Здесь может быть организована круговая, обзорная галерея, дорожки, смотровые площадки и т. д. Междугородный транспорт пересекает заповедную зону под землей.

8. В городе нет автомобилей, мотоциклов и вообще устройств с двигателями внутреннего сгорания. Транспортировка осуществляется лифтами, эскалаторами, метро, электрокарами. При высокой плотности населения и экономии средств и строительных материалов оправдают себя движущиеся тротуары.

9. Пирамидальные города не обязательно должны быть круглыми в плане. Скорее всего они будут вытянуты в линейную структуру, которая, применяясь к рельефу местности и естественным преградам, будет располагаться вдоль реки, берега моря, по склонам гор. На равнине пирамидальные города могут быть в плане любой формы: волнистой или прямой, круга, кольца, эллипса, цветка, розетки, многолучевой звезды, концентрических колец и т. д.

Оценим длину пирамидальных городов на разное число жителей (см. таблицу).

Параметры пирамидальных городов

Число жителей, тыс. чел.	Длина, км	Площадь, км²	Диаметр кольца, км			Дополнительное население за счет застройки центра, тыс. чел.	Σ, тыс. чел.
			внешн.	средн.	внутр.		
100	3,5	8,89	—	—	—	—	—
200	7	17,78	4,77	—	—	—	—
300	10,5	26,7	5,88	3,34	0,80	—	—
400	14	35,6	7,00	4,46	1,92	—	—
500	17,5	44,5	8,11	5,57	3,03	100	600
600	21	53,3	9,23	6,69	4,15	200	800
700	24,5	62,2	10,34	7,80	5,26	300	1000
800	28	71,1	11,46	8,92	6,38	400	1200
900	31,5	80,0	12,57	10,03	7,49	500	1400
1000	35	88,9	13,69	11,15	8,61	600	1600

Круглый в плане пирамидальный город с типовым сечением, имеющим в основании диаметр 2,54 км, вместит около 50 тыс. жителей; ответвление длиной 1,75 км с круглой пирамидой на конце — 100 тыс.; ответвление длиной 3,5 км с типовой пирамидой на конце — 150 тыс. жителей и т. д. Комбинируя просчитанные элементы, можно быстро прикинуть размеры пирамидальных городов самой разной формы на различное число жителей.

Разумеется, изложенные принципы построения, конструктивный модуль и предлагаемые результаты расчетов могут быть иными, так же как размеры и расположение улиц, площадей, переходов, размещение массивов жилых участков и промышленных зон могут быть самыми разнообразными, создавая неповторимый индивидуальный облик города.

Преимущества пирамидальных городов следующие:

1. Высвобождение территории. Плотность населения разобранного варианта пирамидального города составляет 11,2 тыс. чел. на 1 км², почти вдвое выше, чем в Москве, и приблизительно в 5—6 раз выше, чем в Волгограде. Если же учесть исчезновение пригородов, дач, садовых участков, реорганизацию и уменьшение рекреационной зоны, то выигрыш в территории будет гораздо большим.

2. В данном варианте автомобилей в городе не требуется; они сохраняются только в сельской местности, что резко уменьшит загрязнение атмосферы.

3. Проблема сохранения генофонда дикой природы стоит сейчас крайне остро. Пластичность жизни столь велика, что каждый вид, приспосабливаясь к географическим условиям определенного ареала, дает большое количество подвидов, создавая подчас трудноразрешимые задачи классификации. По сути

дела, каждый вид полиморфен [2] и, строго говоря, для его сохранения необходимо сберечь все ареалы и местообитания, что вряд ли осуществимо в современных условиях. Пирамидальные города, высвобождая территорию, делают реальным образование сетчато-непрерывной заповедной зоны по всей территории суши. В конечной стадии реализации концепция пирамидальных городов, по-видимому, позволит выделить для заповедников 1/3 суши и создать условия для обитания всех видов растений в животных, которые к тому времени сохранятся.

4. Элементарный расчет показывает, что для сооружения пирамидального города потребуется почти вдвое меньше стройматериалов, чем для городов современной застройки (точнее, около 55 %).

5. Произойдет резкое сокращение всех коммуникаций: транспорта, связи, водопровода, канализации, теплоснабжения и прочих. Оценить его сейчас трудно; думается, что вполне реально сокращение на два-три порядка величин. Это означает экономию колоссального количества материалов, средств, труда, времени на переезды. Вполне реально, что с помощью лифтов, эскалаторов и метро среднестатистическая длительность одного переезда в крупном пирамидальном городе составит 15—20 мин, в то время как для Москвы, Ленинграда и других крупных городов, даже с использованием метро, она сейчас составляет 45—60 мин.

6. Отпадает необходимость помещать коммуникации под землю — они разместятся на техническом этаже и в технических переходах, будут всегда доступны для осмотра, контроля и ремонта; они могут быть выполнены из современных полимерных материалов, более качественно, надежно, более гигиенично; при этом эксплуатационные и ремонтные расходы существенно сократятся. Установки водопровода, канализации и связи в еще большей степени будут походить на большие приборы, оправдывая определение Корбюзье: «машина для жилья».

7. В 1926 г. академик А. Ф. Иоффе подсчитал, что пирамидальный город не надо отапливать, он сам согреет себя, выделяя в замкнутый объем низкоградиентное тепло на финише любых энергопроцессов. Это означает, что в конечном итоге сооружение пирамидальных городов может дать экономию 25 % энергобюджета мира, именно такое количество энергии потребляется сейчас на коммунальные нужды. Более того, есть надежда утилизировать низкоградиентное тепло на выходе вентиляционных систем города и вырабатывать добавочную электроэнергию. Другой путь энергетического использования пирамидальных городов — размещение наверху ветроэнергетических установок; и тот и другой пути в перспективе могут дать вклад, равный еще 5—10 % энергобюджета.

Кроме биосферных, экономических и технических преимуществ, несомненно, будут и социальные.

8. Решение жилищной проблемы. В предлагаемом варианте пирамидального города на одного жителя в среднем приходится 67 м² освещенной дневным светом жилплощади и, по-видимому, практически неограниченное количество помещений с искусственным освещением, в то время как в современных условиях эта норма близка к 10—11 м² на человека. Далеко идущие социально-психологические последствия этого трудно переоценить.

9. Решение проблемы дач и садовых участков. Многие современные семьи стремятся иметь два дома — городской и сельский — и находят пути реализации этого своего стремления. Важно понять, что тяга к земле, огороду, садовому участку, сельскому дому — это не каприз и не дань переходящей моде, это потребность людей, с которой необходимо считаться. Думается, многие семьи вполне будут довольны четырьмя сотками около их дома в пирамидальном городе и не будут приобретать дом в сельской местности.

10. Город станет функционально трехмерным при экономии средств и материалов.

11. Можно тратить дополнительные средства на придание индивидуальных черт и отличий каждому городу, улице и дому, у которого будет индивидуальный фасад. Можно надеяться, что в пирамидальных городах нам удастся избежать эстетически неприемлемого стандарта, который есть следствие индустриализации и удешевления строительства и который реализует, по существу, единственно возможный вариант конструкции. Естественно, что индивидуальным в таких условиях будет и интерьер домов, где наконец появится реальная возможность воплощения идей передвижных стен, разных уровней и т. п.

12. По этим же причинам (трехмерность и экономия средств и материалов) все параметры пирамидальных городов будут более вариабильны. Появляется возможность наследования и практического воплощения всего богатства, накопленного архитектурой разных эпох и стилей,— от варианта «Манхаттан» до Латинского квартала или Монмарта для улиц, а для отдельных домов — от деревянной избы Русского Севера до дома над водопадом Фрэнка Ллойда Райта.

13. Улицы возвращаются пешеходам. В ненастную погоду и на зиму их можно будет перекрывать.

14. Наконец, необходимо учесть последствия от сооружения пирамидальных городов для инфраструктуры антропосферы. Преобразование систем расселения людей и сопутствующие ему перемещение предприятий обрабатывающей промышленности представляется неизбежным. Скорее всего пирамидальные города будут размещены в климатически комфортных зонах на побережьях морей и океанов.

Поскольку в современном высокоразвитом обществе все отрасли экономики тесно взаимосвязаны, и взаимозависимы, раз-

вивать и видоизменять какую-то часть, не затрагивая остального, невозможно.

Из всех видов транспорта выделяется экономичностью показателей скоростной электрифицированный рельсовый транспорт. В городе это метро, между городами — электричка. Давно доказано и общепризнано, что самый грязный и дорогой — автомобильный транспорт. В условиях современных городов и промзон, рассредоточенных на больших территориях, автомобиль сохраняет преимущества целевой избирательности, индивидуальности, более высокой скорости доставки грузов. При развитии пирамидальных городов преимущество получат, по-видимому, конвейеры, пневмотранспорт, метро, а между городами и странами — скоростной электрический рельсовый транспорт, идущий со скоростью до 1000 км/ч — автоматизированный, телеуправляемый, с совершенными системами погрузки-разгрузки. На больших расстояниях возможен безрельсовый транспорт, подобный «Планетрану», вагоны которого передвигаются на магнитной подвеске внутри вакуумных труб со скоростью 22 тыс. км/ч. Роль авиации значительно сократится, и вместе с тем существенно снизится и глобальное загрязнение атмосферы, исчезнет проблема сохранения озонового экрана и ряд других. При переводе подавляющей части транспорта на электротягу доля электроэнергии в общем энергобюджете сильно возрастает. Выработать ее способами, не загрязняющими окружающую среду и не использующими невозобновимые ресурсы ископаемых топлив, возможно только с помощью различных видов солнечной энергетики, которая технически разработана и должна получить в ближайшие десятилетия стимул преимущественного развития. Это прямое концентрирование солнечных лучей зеркалами и нагревательными элементами, это термоэлементы, реальный КПД которых уже достиг 10 %, это энергия ветра, течений, волн, градиентов температур и солености, биомасса растений и животных, мускульная энергия животных и человека. В пределах солнечной энергетики желательны и целесообразны децентрализация, многоотраслевое и локальное заполнение мелких статей энергобюджета на фоне развития единой энергосистемы мира, которая позволит перекачивать энергию с дневной стороны Земли на ночную. К созданию такой системы мы весьма близки уже сейчас. Это будет иметь следствием резкое сокращение добычи горючих ископаемых и территорий, занятых карьерами, а высвобожденные средства могут быть направлены на усиление рекультивации почв. В пирамидальных городах обрабатывающая промышленность получит стимул развития безотходных технологий и производств, что в свою очередь будет означать существенную экономию материалов и энергии.

Конечно, при повсеместном строительстве пирамидальных городов возникнут трудности и проблемы, касающиеся совер-

шенствования освещения, вентиляции, защиты от шума и вибрации, сохранения исторических памятников, и другие, сейчас не осознанные. Не следует сбрасывать со счетов и психологическую проблему боязни замкнутых пространств (клаустрофобии), которой подвержены некоторые люди.

Необходимы комплексная оценка и прогнозирование всех последствий перестройки и принятие оптимальных многофакторных решений. Думается, что всесторонняя оценка решит дело в пользу сооружения пирамидальных городов.

В заключение подчеркнем, что идеи, высказанные нами, не новы. Большинство из них изложено в громадном количестве книг и статей разных авторов, дать ссылки на которые не представляется возможным. В своих рассуждениях мы опирались на самые общие цифры и оценки, а задачу этой работы видели в том, чтобы объединить все эти идеи в целостную картину и дать ей оценку с биосферных позиций. Если у читателей вслед за автором возникнет мнение, что современная экологическая ситуация вполне созрела для осуществления подобных проектов, цель работы будет достигнута.

В нашей стране ежегодно возникает около 20 новых городов. Вполне возможно часть из них проектировать как пирамидальные. Уже сейчас можно начать сооружение таких городов в качестве спутников-спален больших промышленных центров.

ЛИТЕРАТУРА

1. Вернадский В. И. Химическое строение биосферы Земли и ее ближайшего окружения. М.: Наука, 1965, с. 187.

2. Тимофеев-Ресовский Н. В., Воронцов Н. Н., Яблоков А. В. Краткий очерк теории эволюции. М., 1977, с. 47.

АКАДЕМИЯ НАУК СССР УРАЛЬСКИЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР

ПОГРАНИЧНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ЭКОЛОГИИ · 1986

Л. Б. ИЛЬИНА

ЭКОЛОГО-ГЕНЕТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПОВЫШЕНИЯ ПРОДУКТИВНОСТИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ РАСТЕНИЙ И ОХРАНА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Несмотря на большие успехи растениеводства, становится очевидным, что процессы интенсификации сельского хозяйства порождают ряд новых эколого-экономических проблем. К их числу относятся возрастающая энергетическая «цена» каждой дополнительной пищевой калории, увеличивающаяся опасность нарушения экологического равновесия и загрязнения окружающей среды. Актуальны проблемы научно обоснованного конструирования высокопродуктивных и экологически стабильных агроценозов, оптимального агроклиматического размещения культур, разработки экономичных технологий их возделывания. Практическое решение этих задач связано с увеличением общей и специфической адаптивности возделываемых растений и возможно лишь на основе разработки методов управления генотипической и модификационной изменчивостью. На решение данных проблем направлены исследования в области экологической генетики культурных растений [1].

История человеческой цивилизации дала миру множество примеров успешной селекции. Важнейшим итогом многовековой сельскохозяйственной практики явилось современное разнообразие культурных форм организмов, чье регулярное воспроизводство неразрывно связано с существованием человеческого общества. Но нельзя игнорировать тот очевидный факт, что сложившиеся к настоящему времени формы и методы ведения сельского хозяйства, как и сами культурные формы растений и животных, по своей сути всегда были неэкологичными и поэтому подрывали естественный баланс, вели к ситуациям локальных и региональных экологических кризисов. Относительность успехов научной селекции в XX в. состоит в том, что современные сорта и породы еще более неэкологичны по сравнению с примитивными и в биологическом плане представляют из себя еще более глубокие эволюционные тупики. Необходимость подготовки качественного преобразования древнейших форм хозяйствования — земледелия и животновод-

ства — находит свое отражение как в идеализации естественных экосистем и призывах к возврату эры примитивного собирательства, реакционных по своей сути, так и в более серьезных реалистических подходах, вытекающих из современных взглядов на эволюцию как на экологически детерминированный и необратимый процесс преобразования популяционных генофондов, который, в принципе, доступен контролю и управлению со стороны человека. Человечеству предстоит превратить селекцию в управляемую эволюцию. Разработанность современного эволюционного учения, высокий уровень развития популяционной генетики и экологии позволяют перейти к практическому применению в селекционной практике эволюционного подхода. В частности, можно ставить целью придание посевам ряда важнейших свойств природных популяций, обеспечивающих их пространственно-временную стабильность и тонкую генетическую адаптацию к конкретным условиям среды обитания [2]. Внимание исследователей привлекает метод эволюционной селекции, предложенный шведским генетиком и селекционером Нильсоном-Эле [14, 15]. Метод основывается на использовании адаптивных и эволюционных процессов, имеющих место в гетерогенных популяциях гибридного и негибридного происхождения в результате естественного отбора. Этим методом получен ряд сортов [5—7].

Преимущества эволюционного метода определяются лучшей приспособленностью гетерогенных популяций к меняющимся условиям среды. О лучшей жизнестойкости определенных сортовых смесей самоопыляющихся культур, особенно при неблагоприятных условиях выращивания, известно из ряда работ [8—13, 16—19]. Более высокая адаптивность смесей по сравнению с чистыми сортами и большая отзывчивость гетерогенных популяций на значительные отклонения факторов среды обусловливаются тем, что отдельные сорта, составляющие популяцию, занимают различные экологические ниши.

Урожайность каждого компонента смеси — результат конкуренции с другими компонентами и его собственного преимущества. В результате, наряду с повышенной адаптивностью, может быть и увеличение потенциальной урожайности гетерогенных популяций [19]. Следует отметить, что урожайность смесей увеличивается только тогда, когда в них входят компоненты, обладающие высокой конкурентоспособностью. Обязательное условие успеха при работе методом эволюционной селекции — наличие положительной корреляции между адаптивностью и хозяйственной ценностью генотипа [13, 16].

К эволюционному методу селекции непосредственно примыкают и вопросы, связанные с использованием гетерозиса, распространяющегося за пределы первого гибридного поколения. Проблема эта предусматривает создание сортов с самовозобновляющимся (или многократным) гетерозисом.

С созданием таких сортов открывается перспектива упрощения и удешевления семеноводства. Для этого надо разработать методы формирования сортов такого типа [4]. Ряд теоретических положений экологии и популяционной генетики, изучение природных популяций создают предпосылки для решения этой проблемы.

Успехи селекции в создании продуктивных сортов, обладающих хозяйственно ценными признаками, неоспоримы. Однако чрезмерное требование однородности сорта (особенно это касается самоопылителей) привело к тому, что каждое отдельное растение практически не отличается от других растений этого же сорта. Все особи сорта введены в одну и ту же экологическую нишу. В результате современные сорта, хотя и создаются с учетом устойчивости к заболеваниям, оказываются через короткий промежуток времени уязвимыми по отношению к действию нового патогена. Угроза эпифитотий устранима посредством создания таких сортов, которые по генетическому разнообразию имитировали бы природные популяции. При получении и поддержании гетерогенности сорта можно спровоцировать образование полиморфной популяции паразита, неспособной из-за конкуренции к эпифитотийному размножению. Гетерогенный сорт имеет больше возможностей противостоять и другим неблагоприятным факторам среды, так как последние не могут одинаково угнетать различные по своему генотипу растения.

В связи с этим большой интерес представляет создание многолинейных сортов на широкой генетической основе как средства преодоления вспышек заболеваний и повышения жизнестойкости. Состав линий в таком сорте со временем может меняться в соответствии с изменением расового состава возбудителя. Так селекция сможет опережать эволюцию патогена и повышать жизнестойкость сорта.

Для того, чтобы селекция сорта действительно развивалась по эволюционным законам, необходимо более глубокое изучение закономерностей эволюции в природных популяциях и их практическое применение.

Показано [4], что самовозобновляющийся гетерозис широко распространен в природных популяциях. На него, как на наследственно обусловленное явление, опирается естественный отбор при формировании биологической приспособленности популяции к выживанию и оставлению потомства. Сам гетерозис интересует селекционеров также со стороны приспособленности сорта к производству высокого урожая и хорошего качества. Следовательно, имеются общие черты в экологическом и селекционном подходах к гетерозису как приспособительному свойству.

Приспособительный гетерозис нашел свое выражение в учении об оптимальном уровне гетерозиготности [4]. Основное

содержание этого учения заключается в объяснении того, как естественный отбор формирует приспособленность популяции и отдельной особи, опираясь на сочетание гетерозиготности по одним генам с гомозиготностью — по другим, но не на полной гомо- или гетерозиготности.

Из учения об оптимальном уровне гетерозиготности вытекает важное положение о том, что методическая селекция должна учитывать взаимозависимость основных типов приспособительных балансов. Необходимо помнить, что отбор на одностороннее преобладание гомо- или гетерозиготности неизбежно приводит к возникновению генетического дисбаланса, а следовательно, и к снижению продуктивности. Все вышесказанное касается как самоопылителей, так и перекрестников.

Исследования, направленные на изучение типов цветения и селективности оплодотворения, непосредственно связаны с учением о формировании популяций, обладающих оптимальным уровнем гетерозиготности.

Остановимся на эволюционном смысле гомо- и гетерозиготного баланса. При гетерозиготном воспроизведении приспособленность преобразовывается отбором за счет новых рекомбинаций. При гомозиготном воспроизведении наследственные основы, формирующие приспособленность, не обогащаются за счет новых генов. Однако в них удачнее могут осуществляться возможности, заключенные в рецессивных генах, которые проявляются в фенотипе при переводе их в гомозиготное состояние. Это способствует формированию конкретных приспособлений к условиям окружающей среды. Сочетание гомо- и гетерозиготного баланса способствует процессу адаптации. Там, где адаптивные возможности гомозиготного генотипа недостаточны, они могут дополняться за счет повышения гомеостатичности популяции. Если условия относительно постоянны, то произойдет смещение приспособления в сторону образования гомозиготной сбалансированности. При создании сортов для определенных экологических зон необходимо добиваться совмещения и лучшего соотношения гомо- и гетерозиготного типов воспроизведения. Основные механизмы, регулирующие этот баланс — самонесовместимость и селективность оплодотворения,— могут быть усилены отбором, так как они генетически обусловлены.

Имеется достаточно фактов, говорящих о том, что оптимальные условия для эволюции природной популяции обеспечиваются при сочетании в ней преимуществ гомо- и гетерозиготного типов баланса. Именно поэтому естественный отбор создает и совершенствует приспособления, способствующие осуществлению этого сочетания, т. е. закона оптимального уровня гетерозиготности. И не случайно в настоящее время уделяется все больше внимания этому закону со стороны генетиков и селекционеров. Современный сорт, будучи искусственной популяцией, должен отражать в себе закономерности популяции

природной. В современное понимание сорта обязательно должно входить требование сочетания в нем гомо- и гетерозиготного типов генетического баланса.

Современная селекция характеризуется тем, что методы, выработанные на самоопылителях, применяют в работе с перекрестниками и наоборот. Значит, сорт следует рассматривать как сумму, состоящую из двух слагаемых: внутригеномной сбалансированности, созданной на основе отбора лучших гомозигот, и межгеномной, являющейся результатом селекции на комбинационную способность. При соответствующем подборе исходного материала можно ускорить процесс повышения урожайности сортов, опираясь на оптимальное сочетание гомо- и гетерозиготности.

Здесь мы непосредственно подошли к вопросу о регулировании типов опыления. Для получения гетерозиготного организма осуществляется перекрестное опыление, а гомозиготного — самоопыление. Чтобы совместить преимущества гомо- и гетерозиготного баланса, нужно перевести самоопылители на частичное перекрестное опыление. Этот перевод можно осуществлять с использованием генной и цитоплазматической мужской стерильности, а также селективности оплодотворения.

Исходя из вышеизложенного, можно спланировать структуру сорта, сочетающую в себе гомо- и гетерозиготный баланс в пропорциях, необходимых в соответствии с их пригодностью к районам зоны, т. е. создать двухкомпонентную структуру сорта [14]. Эта структура дает возможность воспроизведения гетерозисных синтетиков у самоопылителей [3].

При создании сложной гибридной популяции яровой мягкой пшеницы нами используется метод, предложенный Сунесоном [19, 20]. Для увеличения степени аутбридинга в пшеницу введены формы, несущие гены мужской стерильности. В состав этой сложной гибридной популяции включены 362 исходных образца, в том числе гибриды второго поколения между лучшими сортами зон Башкирии, Поволжья, Урала (то есть соседних зон близлежащих районов), а также образцы из мировой коллекции Всесоюзного института растениеводства.

Основываясь на методах эволюционной селекции, мы намерены создать гетерогенную популяцию яровой мягкой пшеницы, подобную той, которая создана Сунесоном [19, 20] на ячмене в Калифорнии на протяжении 25 поколений. Популяция состояла из 378 гибридов между 28 сортами. В первом поколении она уступала по урожайности лучшему из компонентов скрещивания — сорту Атлас. Начиная с F_{15} популяция стала почти выравненной по большинству морфологических признаков и по урожайности достигла сорта Атлас. Гибридная популяция улучшалась еще в течение 10 поколений. В F_{24} она по урожайности превосходила сорт Атлас на 35,7 % [6]. Это произошло благодаря выщеплению множества высокопродук-

тивных генотипов, обладающих адаптивностью к условиям конкретной зоны выращивания.

Обобщая данные об эффективности естественного отбора в гибридных популяциях, Аллард [6] пришел к выводу о том, что процент высокопродуктивных особей в популяции последовательно повышается по мере увеличения длительности совместного размножения. Эта особенность популяции обусловливает перспективность искусственного и естественного отбора. Сложную гибридную популяцию можно использовать для выведения лучших линий и проведения скрещиваний в сравнительно больших масштабах и в нужных сочетаниях. При такой работе обеспечивается создание у самоопылителей многолинейных сортов, которые сочетают индивидуальный баланс с популяционным.

Многолинейные сорта привлекают к себе растущее внимание специалистов. Их рассматривают как средство преодоления вспышек заболеваний, почва для широкого распространения которых была создана резким увеличением генетической однородности возделываемых сортов. Замена чистолинейных сортов многолинейными, компоненты которых характеризуются разными типами устойчивости, является надежным средством борьбы против массового распространения болезней.

Процесс создания многолинейных сортов породил понятие экологической комбинационной способности, характеризующее более высокий и устойчивый урожай от смеси линий, чем от изолированного выращивания их [14]. Многолинейные сорта представляют собой генетические синтетики. Создание полигибрида дает возможность применения к ним методов, свойственных перекрестникам. У самоопылителей сорта, созданные на основе полигибрида, содержат отдельные генотипы, способные опыляться чужой пыльцой. Поэтому объединение гомо- и гетерозиготного балансов осуществляется не только при селекции, но и в процессе эксплуатации сорта.

Необходимо развивать исследования, направленные на изменение селекционного процесса посредством управления инбридингом и кроссбридингом у растений, создавать сорта-популяции со структурой, благоприятствующей сочетанию преимуществ гомо- и гетерозиготного типов генетического баланса, что приведет к возможности использования гетерозисного эффекта без изменения естественного процесса воспроизведения. Предпосылки для создания таких популяций уже имеются [14].

Анализ показывает, что тенденция роста энергетической «цены» пищевой калории в значительной мере обусловлена несовершенством многих звеньев системы интенсивного сельского хозяйства: большие потери удобрений, пестицидов, поливной воды, генетическая однородность культивируемых видов и сортов растений и др. И несмотря на то, что в большинстве случаев прибавка урожая, получаемая за счет существующих

приемов ведения хозяйства, оказывается значительно большей, чем потери, необходимость пересмотра ряда основных положений современного растениеводства очевидна. Главную роль при этом должно сыграть повышение адаптивного потенциала всей системы ведения сельскохозяйственного производства. Эта проблема может быть успешно решена лишь на основе глубокого понимания генетических, физиологических и биохимических механизмов адаптации, разработки методов управления адаптивными реакциями от субклеточного до биоценотического уровня.

Необходимо постепенно готовить переход на экологическое хозяйствование. Основная роль в решении этой важнейшей задачи должна принадлежать генетике и экологии — естественнонаучному фундаменту будущего природопользования.

ЛИТЕРАТУРА

1. Жученко А. А. Экологическая генетика культурных растений. Кишинев: Штиинца, 1980. 586 с.
2. Ильина Л. Б. Эколого-генетические аспекты адаптивной селекции.— В кн.: Экологическая генетика растений и животных. Кишинев: Штиинца, 1981, с. 62—63.
3. Мирюта Ю. П. Избирательность оплодотворения растений и перспектива использования ее в селекции.— В кн.: Селекция и семеноводство [Тематич. сб.]. Киев, 1970, вып. 15, с. 13—25.
4. Палилов А. И. Многократный гетерозис. Минск: Наука и техника, 1976. 148 с.
5. Харберг А. Сравнительные методы селекции ячменя в Швеции.— В кн.: Селекция самоопыляющихся культур. М., 1968, с. 78—90.
6. Ajjard R. W., Adams J. Populations studies in predominanty seltpollinating spectes. XIII Intergenotypic competition and population structure in barjey and wheat.— Amer. Natur., 1969, v. 103, N 394, p. 621—645.
7. Allard R. W., Harding S., Wehrhahn C. The estimation and of selektive valies in predicting population change.— Heredity, 1966, v. 21, N 4, p. 547—563.
8. Brim C. A., Schutz W. M. Inter-genotypic competition in soybeans. II. Predicted and obsterved performance of multiline mixtures.— Crop. Sci., 1968, v. 8, N 6, p. 735—739.
9. Gustafsson F. The cooperation of genotypes in barley.— Hereditas, 1953, v. 39, N 1—2, p. 1—18.
10. Hartwig E. E., Johnson H. W., Carr R. B. Border effects in soybean test plots.— Agron. J., 1951, v. 43, N 9, p. 443—444.
11. Jensen N. F. Intravarietal divertification in oat breeding.— Agran. J., 1952, v. 44, N 1, p. 30.
12. Jensen N. F., Federer W. T. Competing ability in wheat.— Crop. Sci., 1965, v. 5, N 5, p. 449—452.
13. Mumaw C. R., Weber C. R. Competition and natural selection in soubean varietal composites.— Agran. J., 1957, v. 49, N 3, p. 154.
14. Nilson-Ehle H. Einige Ergebnisse von Kreuzungen bei Hafer und Weizen.— Lund univ. Arsskrift, 1908, Bd 5, N 2, S. 1—122.
15. Nilson-Ehle H. Gibt es erbliche Weizen Rassen mit mehr oder weiniger vollsständiger Selbstbefruchtung? — Zeitschrift für Pflanzenzüchtung. Berlin, 1915, Bd 3, p. 3—6.
16. Probst A. H. Performance of variety blends in soybeans.— Agran. J., 1957, v. 49, N 3, p. 148.
17. Schutz W. M., Brim C. A. Inter-genotypic competition in soybeans.

1. Evalution of effect and proposed field plot design.— Cp Crop. Sci., 1967, v. 7, N 4, p. 371—375.
18. Schutz W. M., Brim C. A., Usanis S. A. Intergenotypic competition in plant population. 1. Feedback Systems with stable equilibria in populations of autogamous homozygous lines.— Crop. Sci., 1968, v. 8, N 1, p. 61—66.
19. Suneson C. A., Wiebe G. A. Hybrid barley promises high yields.— Crop. Sci., 1962, v. 2, p. 410—411.
20. Suneson C. A., Wiebe G. A. Plant Breeding Enterprise with Barley.— Crop. Sci., 1962, v. 2, N 4, p. 347—348.

АКАДЕМИЯ НАУК СССР УРАЛЬСКИЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР

ПОГРАНИЧНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ЭКОЛОГИИ 1986

Б. Ф. САДЫКОВ

ЭКОЛОГО-СОЦИАЛЬНЫЕ АСПЕКТЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ БИОЛОГИЧЕСКОГО АЗОТА В АГРОЦЕНОЗАХ

Заметные сдвиги экологического равновесия в природе, вызванные нерациональным хозяйствованием человека на планете, заставляют нас критически пересмотреть современные доктрины и методы природопользования, в том числе и в сельском хозяйстве. Рассмотрим одно конкретное проявление социально-экологических противоречий сельскохозяйственной практики.

Известно, что проблема получения пищевого белка остается одной из основных в сельском хозяйстве. Рост дефицита белка в продуктах питания человека и кормах животных продолжается. Мы пытаемся восполнить этот дефицит селекцией и возделыванием сортов и культур растений с высоким содержанием белка, которые, как полагают, требуют внесения в почву больших доз азотных удобрений. Производство минеральных азотных удобрений из молекулярного азота воздуха химическим путем требует больших энергетических затрат. Так, в США около 30 % всех используемых на нужды сельского хозяйства энергоресурсов тратится на производство минеральных азотных удобрений, а в ГДР — 42 %. Дополнительные издержки связаны с экологической токсичностью производства и использования этих удобрений. Нельзя забывать, что именно сельское хозяйство и обеспечивающие его нужды отрасли промышленности в совокупности являются мощнейшим источником экологического риска, связанного с загрязнением почв, воды и воздуха, усиливающейся эрозией и падением естественного плодородия. В значительной мере это связано с ростом использования минеральных азотных удобрений, что повышает содержание нитратов и нитритов в окружающей среде [2] и отрицательно сказывается на состоянии экосистем и здоровье самих людей.

Постоянный вынос из почвы основных элементов питания растений с хозяйственной частью урожая необходимо компенсировать внесением органических и минеральных удобрений. Но если дозы фосфорных и калийных удобрений для создания

бездефицитного баланса в почве рассчитать нетрудно, то этого нельзя сказать об азоте, имеющем более сложный цикл превращений в природе. Круговорот азота не ограничивается системой почва — растения, а двусторонне (посредством азотфиксирующей и денитрифицирующей деятельности микроорганизмов) затрагивает и атмосферу. Поэтому применение азотных удобрений должно основываться лишь на конкретных знаниях природного азотного цикла, на знаниях реальных масштабов поступления в почву дарового биологического азота, т. е. на всемерном использовании в сельском хозяйстве полезных свойств самой природы. Тяжелые экологические последствия, вызванные применением азотных удобрений, огромные материальные затраты на их производство привели к широкому фронту работ по изучению микробной азотфиксации, требующей для фиксации молекулярного азота лишь энергии Солнца.

Несимбиотическая или ассоциативная азотфиксация

Использование меченого ^{15}N и ацетиленового метода для определения фиксации молекулярного азота микроорганизмами-диазотрофами способствовало отказу от взгляда на биологическую азотфиксацию как на уникальный, присущий только отдельным видам микроорганизмов процесс. Способность связывать азот атмосферы обнаружена более чем у 40 родов бактерий. Согласно теории «генетического потока» [19], основанной на способности почвенных бактерий легко обмениваться целыми блоками генов, приводящей к освоению ими различных экологических ниш, можно предполагать наличие азотфиксирующей активности у большинства почвенных бактерий [17].

Если значение симбиотической азотфиксации (осуществляемой клубеньковыми бактериями в симбиозе с бобовыми растениями) для пополнения запасов азота в почве в связанной форме известно давно [8], то роль несимбиотической азотфиксации подверглась значительной переоценке. Еще недавно считали, что в зоне умеренного климата на долю несимбиотической азотфиксации приходится всего лишь 3—5 кг/га/год азота, что даже меньше количества азота, поступающего с осадками. Такие расчеты основывались на количественном определении в почве всего двух видов свободноживущих азотфиксаторов — азотобактера и клостридиума и на приблизительной оценке в почве энергетического вещества, доступного этим микроорганизмам. В настоящее время установлено, что азотфиксация в почве в большей мере связана с прижизненными растительными выделениями и опадом, а не с разложением органических остатков и гумуса почвы, что до одной трети всего углерода фотосинтеза прижизненно выделяется растениями в почву через корни и листья преимущественно в виде

богатых энергией легкодоступных для микроорганизмов углеводов. Вероятно, целесообразность выделения растениями такого большого количества углеродсодержащих веществ и связана с регуляцией ими азотного обмена с почвенными азотфиксаторами [17]. Наиболее интенсивно азотфиксация протекает в ризосфере и филлосфере растений. Поэтому ассоциированную с растениями азотфиксирующую активность микроорганизмов следует называть ассоциативной азотфиксацией в отличие от азотфиксации свободноживущих почвенных микроорганизмов. Ассоциативная азотфиксация в естественных экосистемах достигает 50—150 кг/га/год азота в зоне умеренного климата и 200—300 кг/га — в тропиках [17]. В среднем для нашей страны Е. Н. Мишустин предлагает считать ассоциативную азотфиксацию равной 10—30 кг/га [7]. Он показал, что до 80 % азота, фиксированного благодаря ассоциативной азотфиксации диазотрофными микроорганизмами, прижизненно экскретируется ими в окружающую среду [20]. Это способствует тому, что за счет ассоциативной азотфиксации растения удовлетворяют свои потребности в азоте на 10—45 % [3], следовательно, сбрасывать со счетов этот источник азотного питания растений нельзя.

Симбиотическая азотфиксация

Наиболее эффективно азотфиксация протекает в клубеньках бобовых растений, составляя для разных видов бобовых 200—500 кгN/га/год [14]. Естественные фитоценозы содержат мало бобовых, поэтому в общепланетарном масштабе симбиотическая азотфиксация играет меньшую роль, чем несимбиотическая. Иная картина наблюдается в агроценозах, где используются как чистые, так и смешанные со злаками посевы бобовых культур.

Использование прямых методов определения симбиотической азотфиксации позволило установить, что не только многолетние бобовые травы, но и зернобобовые культуры при правильной агротехнике оставляют после себя положительный баланс азота в почве [14]. Причем продуктивность симбиотической азотфиксации можно значительно повысить используя для инокуляции эффективные штаммы клубеньковых бактерий [10].

Чтобы оценить продуктивность азотфиксации, необходимо проводить измерения ее активности несколько раз за вегетационный период в одно и то же время суток и определять также суточную динамику процесса. Наибольшие трудности связаны с экстраполяцией результатов, получаемых с конкретных площадок, на бóльшие площади, поскольку вести исследования в динамике с повторностью, отражающей всю совокупность, не

представляется возможным. Поэтому при исследовании динамики процесса в трех-четырехкратной повторности в течение сезона на закрепленных площадках надо один-два раза за сезон проводить параллельно определение активности процесса еще на 9—10 площадках, уже отражающих всю исследуемую совокупность (делянка, гектар). Сравнивая стационарные площадки со всеми временными в конкретный момент определения, вычисляют коэффициент, связанный с отражением стационарными участками всей совокупности. Конечные результаты, получаемые по вычислению продуктивности процесса на стационарных участках, умножают на этот коэффициент.

До сих пор существует неверная точка зрения, будто под бобовые культуры следует вносить азотные удобрения [5]. Действительно, в кислых почвах или почвах, не имеющих местных активных для данной бобовой культуры штаммов клубеньковых бактерий, азотные удобрения оказывают положительное действие. Но в условиях сложившегося симбиоза урожаи бобовых, потребляющих азот за счет симбиотической азотфиксации, не ниже, чем при любых высоких дозах минерального азота [16]. Затраты же на производство, транспортировку, хранение и внесение 1 т минерального азота составляют в среднем 220 руб., а на обеспечение образования 1 т биологического азота затраты, связанные с производством нитрагина и инокуляцией, неизмеримо ниже — всего лишь 8,4 руб. [9]. К тому же при внесении минерального азота большая часть его (20—50 %) просто теряется при выносе с грунтовыми водами или превращается в газообразные окислы азота и молекулярный азот и улетучивается в атмосферу. Биологический же азот или непосредственно используется растением, или, находясь в органической форме, используется впоследствии и служит источником пополнения гумуса [9]. Поэтому биологический азот можно считать практически даровым по сравнению с минеральным.

В этой связи концепцию о том, что бобовому растению будто бы выгоднее использовать минеральный азот, чем тратить часть энергии фотосинтеза на питание клубеньковых бактерий [5], следует считать научно необоснованной как с экономической, так и экологической точек зрения. Симбиотическая азотфиксация в клубеньках протекает с очень высокой эффективностью. На 1 г восстановленного азота требуется 6—10 г углерода, что в 10—15 раз меньше, чем нужно для фиксации азота свободноживущих микроорганизмов [21]. Растения, используя молекулярный азот, восстановленный клубеньковыми бактериями до аммонийного, являющегося непосредственным предшественником аминокислот при синтезе белков, не тратят энергию на восстановление нитратного азота до аммония, как в случае питания минеральным азотом. Тесная сопряженность у бобовых азотфиксации и фотосинтеза способствует даже большей эффек-

тивности получения бобовыми азота из атмосферы, чем питание минеральным азотом [16]. Таким образом, гипотеза о том, что, обеспечив бобовые минеральным азотом и снизив тем самым затраты растения на образование и снабжение клубеньков энергией, можно получить больший урожай, не оправдывается.

Бобовые передают клубенькам 32 % всего углерода фотосинтеза [24], то есть столько же, сколько небобовые выделяют в почву для регуляции азотного обмена [17]. Почти весь фиксированный клубеньковыми бактериями азот (более 90 %) экскретируется в клубеньки и используется растением [22]. Очевидно, что азотные удобрения увеличивают урожай бобовых только в случае полного отсутствия или неэффективного симбиоза [11, 12], и наоборот, при благоприятных условиях симбиоза внесение минерального азота под бобовые в любых дозах нецелесообразно [1, 12]. Установлено, что даже сравнительно невысокие дозы азотных удобрений (20—60 кг/га) могут частично или почти полностью, в зависимости от содержания минерального азота в почве и ее минерализационного потенциала, подавлять симбиотическую азотфиксацию [6, 13]. При использовании азотных удобрений под бобовые в подкормке, когда симбиотрофный аппарат уже сформировался, снижается отток ассимилятов к клубенькам, и клубеньковые бактерии переходят на паразитический образ жизни, используя в качестве углерода неопробковевшие корни растений [15].

Поскольку не только бобовые травы, но и зернобобовые культуры при условии создания эффективного азотфиксирующего симбиоза с клубеньковыми бактериями оставляют после себя положительный баланс азота в почве, можно в целом значительно сократить в севооборотах с бобовыми применение азотных удобрений [4, 23]. Именно незнание реальных масштабов симбиотической азотфиксации, недооценка роли этого огромного источника сбережения энергоресурсов [16] и здоровья человека приводят к тому, что бобовым в нашей стране отводится слишком скромное место в структуре посевных площадей — всего 11 % пашни, а в США — 26 % [9]. По данным продовольственной и сельскохозяйственной организации ООН (ФАО), в мировом производстве белка на долю зернобобовых приходится около 20 %, а у нас — только 5,8 %. Поскольку содержание перевариваемого протеина в зерне бобовых в три — четыре раза выше, чем в зерне злаковых, то наше животноводство, использующее около 150 млн. т зерна, дает 14 млн. т мяса, а в США зерновых продуктов скармливается примерно столько же (но с большим содержанием бобовых), а мяса получают в два раза больше [7].

Почему же так мала доля пахотных земель под зернобобовыми в нашей стране? Причина как будто ясна и лежит на поверхности: более низкая урожайность бобовых по сравне-

нию со злаковыми культурами и более дорогая технология возделывания. Но при этом не учитывается, во-первых, что даже при существующих в нашей стране урожаях бобовых (с содержанием протеина в зерне 25—40 %) и злаковых (10—14 %) для получения единицы белковой продукции требуются приблизительно равные площади посевов; во-вторых, простые расчеты показывают, что меньшие затраты и делают белок бобовых даже более дешевым, чем белок злаковых, выращивание которых требует больших затрат на производство и внесение азотных удобрений.

В заключение следует подчеркнуть, что применение азотных удобрений в агроценозах должно основываться только на реальных знаниях о масштабах «даровой» симбиотической и несимбиотической (ассоциативной) азотфиксации. Поскольку продуктивность несимбиотической азотфиксации на единицу площади относительно симбиотической азотфиксации невелика, то основная стратегия в увеличение производства белка должна опираться (не игнорируя и роли азотных удобрений) на всемерном использовании бобовых культур. Повышение доли бобовых в структуре посевных площадей — мощный фактор сбережения энергоресурсов страны, ее природы и здоровья человека.

Важно подчеркнуть, что биологический азот способен обеспечить близкое к естественному протекание почвообразовательного процесса в агроценозах, тогда как минеральный азот лишь неуклонно снижает естественное почвенное плодородие. Отметим, что органические азотные удобрения в этом отношении также обладают значительными преимуществами над минеральными.

В общеэкологическом плане представляется перспективным и направление по увеличению роли биологической азотфиксации в природе, прежде всего в зонах с интенсивной рекреацией и при лесовосстановлении. Этот путь связан с созданием искусственного симбиоза азотфиксирующих микроорганизмов со злаковыми растениями по типу того, что природа уже создала у бобовых и ряда древесных и кустарниковых растений. Принципиальная возможность формирования клубеньков на корнях различных злаков уже установлена [18], и, видимо, дело уже не очень далекого будущего получить такие штаммы азотфиксирующих бактерий, которые могли бы полностью обеспечить злаковые культуры азотом как в естественной среде, так и в агроценозах. Этот путь открывает перспективу перехода в сельском хозяйстве от прогрессирующего уничтожения плодородного слоя к его антропогенному накоплению и дает тем самым возможность наделить наши агроценозы важнейшими экологическими свойствами естественных биогеоценозов, связанными с почвообразованием и сохранением почвенного плодородия.

ЛИТЕРАТУРА

1. Вавилов П. П., Посыпанов Г. С., Баранов И. К. Симбиотическая деятельность посевов и урожай кормовых бобов при разной обеспеченности минеральным азотом.— Изв. ТСХА, 1979, вып. 6, с. 20—25.

2. Гавва И. А., Корягин А. Н. Общие принципы и задачи охраны природы в связи с интенсификацией сельскохозяйственного производства.— В кн.: Изменение природной среды в процессе сельскохозяйственного производства. М., 1981, с. 3—7.

3. Гильманов Т. Г., Рыжова И. М. Имитационная модель круговорота азота суходольного луга.— Изв. АН СССР. Сер. биол., 1982, № 5, с. 670—685.

4. Гнетиева Л. Н., Лосев С. И., Еремин Л. П. Баланс азота в севооборотах с различной насыщенностью зернобобовыми культурами.— В кн.: Научные труды ВНИИ зернобобовых и крупяных культур, 1981, № 8, с. 29—38.

5. Кобозев И. В. Влияние удобрений и орошения на формирование симбиотического аппарата люцерны в чистых и смешанных посевах.— Изв. ТСХА, 1980, вып. 1, с. 22—32.

6. Кожемяков А. П. Влияние азотных удобрений на размеры накопления биологического азота зернобобовыми культурами.— В кн.: Экологические последствия применения агрохимикатов (удобрения). Пущино, 1982, с. 25—26.

7. Мишустин Е. Н. Биологический азот в сельском хозяйстве СССР.— Вестн. с.-х. науки, № 4, с. 18—22.

8. Мишустин Е. Н., Черепков Н. И. Роль бобовых культур и свободноживущих азотфиксирующих микроорганизмов в азотном балансе земледелия.— В кн.: Круговорот и баланс азота в системе почва — удобрение — растение — вода. М., 1979, с. 9—18.

9. Мишустин Е. Н., Черепков Н. И. Биологический азот в сельском хозяйстве.— С.-х. биология, 1981, т. 16, № 3, с. 349—358.

10. Новикова А. Т., Доросинский Л. М., Загорье И. В., Афанасьева Л. М. Эффективность нитрагинизации по данным научных учреждений географической сети опытов.— Труды ВНИИ с.-х. микробиологии, т. 50, с. 60—75.

11. Посыпанов Г. С., Князева Л. Д., Буханова Л. А. Особенности минерального питания фасоли при разной обеспеченности азотом.— Изв. ТСХА, 1979, вып. 2, с. 19—26.

12. Посыпанов Г. С., Баранов И. К. Формирование симбиотического аппарата и урожайность люпина желтого при разной обеспеченности минеральным азотом.— Изв. ТСХА, 1981, вып. 5, с. 177—181.

13. Садыков Б. Ф., Зуева Л. Д., Чернов А. Я., Щукина В. В., Довгаль В. Н. Продуктивность симбиотической и несимбиотической азотфиксации.— В кн.: Экологические последствия применения агрохимикатов (удобрения). Пущино, 1982, с. 35—37.

14. Садыков Б. Ф., Зуева Л. Д., Садыкова Н. Ю. Оценка продуктивности симбиотической азотфиксации ацетиленовым методом.— Микробиология, 1983, т. 52, вып. 5, с. 658—662.

15. Тевелева М. К. Роль минерального азота в симбиозе клубеньковых бактерий кормового люпина.— В кн.: Регуляция микробиологических процессов в почве. Рига, 1981, с. 9—17.

16. Трепачев Е. П., Човжик А. Д., Спивак З. С. Исследования действия возрастающих доз минеральных удобрений на продуктивность многолетних трав и последующих культур севооборота на дерново-подзолистой почве.— Агрохимия, 1980, № 10, с. 72—83.

17. Умаров М. М. Значение несимбиотической азотфиксации в балансе азота в почве.— Изв. АН СССР. Сер. биол., 1982, № 1, с. 92—104.

18. Черемисов Б. М. О селекции небобовых растений на развитие у них симбиотической фиксации азота атмосферы.— Селекция и семеноводство, 1975, № 3, с. 25—28.

19. Richmond M. Organisation and control in procaryotic and eucaryotic cells.— Cambridge univ. press., 1970, p. 249.
20. Lustig B., Plischke W., Hess D. Nitrogenase activity in a transfilter culture of rhizobia with a non-leguminous plant cells.— Experientia, 1980, n 36, p. 1386.
21. Beringer J. E. Soil Microbiology department.— Rothamsted Exp. Stat. Rept., 1981, n 1, p. 209—218.
22. Beringer J. E., Brewin N., Johnston A. W. B., Schulman H. M., Hopwood D. A. The rhizobium-legume symbiosis.— Cell Habitat. Roy. Soc. Discuss., 1978, Lond., 1979, p. 219—233.
23. Mathan K. K., Sankaran K., Kanacabushini N., Krishnamoorthy K. K. Available nitrogen status of black under the influence of continuous cropping.— J. Indian Soc. Soil Sci., 1978, v. 26, n 2, p. 166—168.
24. Minchin F., Pate J. The carbon of a legume and the functionale economy of its root nodules.— J. Exptl Bot., 1973, v. 24, n. 79.

АКАДЕМИЯ НАУК СССР УРАЛЬСКИЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР

ПОГРАНИЧНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ЭКОЛОГИИ 1986

Н. М. ЛЮБАШЕВСКИЙ, Б. В. ПОПОВ, А. А. МОКРОНОСОВ, З. А. ЛЮБАШЕВСКАЯ, В. И. СТАРИЧЕНКО

БИОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ МЕЖВИДОВЫХ ЭКСТРАПОЛЯЦИЙ ПАРАМЕТРОВ СКЕЛЕТНОГО МЕТАБОЛИЗМА

Сравнительно-физиологическое изучение метаболических характеристик позвоночных и человека в настоящее время получает новый пульс, поскольку возрастает техногенное загрязнение природы.

Среди неотложных задач, связанных с угрозой техногенной деградации окружающей среды, важнейшей является количественное описание и прогнозирование динамики потока загрязнителей, в том числе радионуклидов и стабильных минеральных веществ в экосистемах, в частности, через популяции. Необходимым этапом этой работы должно быть всестороннее раскрытие особенностей метаболизма в отдельных организмах представителей таксономических групп, подверженных антропогенным воздействиям, т. е. в настоящее время — практически у всех растений, животных и человека. Однако экспериментальные исследования подобного масштаба и тем более подробные наблюдения в природной среде в сроки, которые отвечают требованиям актуальности, явно не выполнимы. Очевидным выходом является применение методов экстраполяции данных по метаболизму от наиболее изученных видов к другим.

Особенно интенсивно названные методы разрабатывались при решении ряда медико-биологических задач переноса данных от животных к человеку [7, 8]. Мы также ограничимся рассмотрением только позвоночных. Поскольку метаболизм большинства важнейших в токсикологическом отношении поллютантов (радиоизотопы щелочных и щелочноземельных металлов, лантаниды, актиниды, свинец, фтор и т. п.) у позвоночных тесно связан с кальциевым метаболизмом [5], объектом экстраполяции служат данные по скелетному метаболизму. В настоящей работе сделана попытка критического анализа существующих методов экстраполяции между видами позвоночных, включая человека, по скелетному метаболизму и предложены собственные подходы к проблеме.

Возможны два подхода к экстраполяции. Первый основан на подобии систем метаболизма, складывающегося из сово-

купности энергетического, белкового, водного и других видов обмена у животных разных видов. Экстраполируемый показатель ставился в соответствие с какой-либо количественной характеристикой того или иного вида обмена. Второй, альтернативный, подход базируется на количественных особенностях отдельных этапов накопления и выведения конкретного радиоизотопа в скелете (или организме).

I. Экстраполяция на основании метаболических подобий

Фактически все важные в практическом отношении заключения, сделанные с помощью экстраполяций, в том числе рекомендации Международной комиссии по радиологической защите (МКРЗ) по обмену плутония и других актинидов [18], основаны на методе метаболических подобий. Этой группе экстраполяционных методов посвящены коллективные монографии [7, 8], отдельные статьи и разделы обобщающих работ [6, 22].

С целью более подробной и точной оценки существующих методов экстраполяции на основании метаболических подобий нами построены (по образцу работы [6]) экстраполяционные графики полувыведения радионуклидов от мыши, крысы и собаки к человеку для радиостронция, плутония и америция по массе тела, теплопродукции, поглощению кислорода и средней видовой продолжительности жизни (рис. 1). Для экстраполяции использованы данные по периоду полувыведения второго члена двухэкспоненциальной модели выведения. Экстраполяционные значения периодов полувыведения радионуклидов из скелета человека демонстрируют широкий разброс результатов, полученных этим способом (табл. 1). Отметим, что выбор системы координат, в которой производится экстраполяция, существенно влияет на получаемые результаты. Так, экстраполяция по средневидовой продолжительности жизни наилучшие результаты дает в линейной системе координат (см. рис. 1А), в отличие от остальных экстраполяционных параметров, для которых наиболее адекватна полулогарифмическая система координат (см. рис. 1б—г).

Томас и Эберхард [21] модифицировали метод межвидовой экстраполяции по массе тела, приняв во внимание, что при переходе от одного вида к другому соотношение обменов различных радионуклидов, характерное для одного вида, остается аналогичным и для других видов. Их метод, апробированный для ряда радиоизотопов (^{7}Be, ^{54}Mn, ^{40}K, ^{131}I, ^{22}Na, ^{137}Cs и др.) хотя и обладает некоторыми преимуществами (возможность использовать для экстраполяции данных, полученных даже от одного вида), тем не менее не дает существенного улучшения точности или сокращения разброса результатов экстраполяции. Более того, проведенный нами расчет по данному методу для ^{90}Sr и ^{239}Pu показал, что экстраполяционные

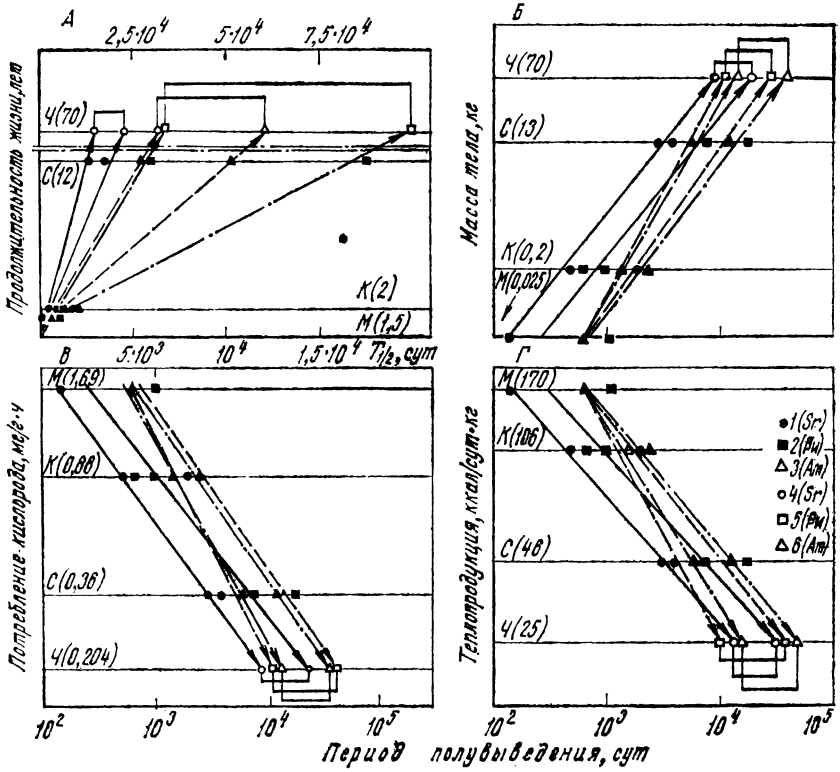


Рис. 1. Экстраполяция величины биологического периода полувыведения ($T_{1/2}$) радионуклидов от вида к виду:

А — по средней видовой продолжительности жизни, г; *Б* — по массе тела, кг; *В* — по потреблению кислорода, мг/г · ч; *Г* — по теплопродукции, ккал/сут · кг. Ч — человек, С — собака, К — крыса, М — мышь. В скобках даны численные значения экстраполяционных параметров; *1—3* — параметры из литературных источников; *4—6* — параметры, полученные с помощью графической экстраполяции.

значения периодов полувыведения для этих двух радиоизотопов более чем на порядок величин отличаются от референтных.

Анализ показывает, что для всей группы экстраполяций по методам метаболических подобий характерны несколько серьезных недостатков, некоторые из них принципиально не устранимы:

1. Экстраполяция дает разброс до порядка величин.

2. Опорные экспериментальные данные литературы сильно отличаются. Например, средняя продолжительность жизни крыс оценивается и в 2 и в 3 года, а максимальная в 6 лет, собак — 12—17 лет; водный обмен у некоторых видов выпадает из общей закономерности (осел, кенгуровая крыса и др.); существенно отличаются показатели энергетического обмена; пе-

Таблица 1

Интервальные оценки биологического периода полувыведения радионуклидов у человека, г

Экстраполяционный параметр	Период полувыведения		
	^{90}Sr	^{241}Am	^{239}Pu
Продолжительность жизни	40—60	90—165	90—270
Масса тела	25—60	40—110	30—80
Потребление кислорода	25—70	40—105	32—115
Теплопродукция	40—90	45—150	30—110
Рекомендации МКРЗ	45	100	100

риоды полувыведения радионуклидов по каждому виду у разных авторов различаются иногда в несколько раз.

3. Сомнительна возможность учета индивидуальной вариабельности, причем не только по продолжительности жизни, но и по интенсивности отдельных видов обмена.

4. Неизвестны удачные попытки в экстраполяции на растущий детский организм.

5. Исключается экстраполяционное прогнозирование в случае патологии. Например, при гиподинамии [10] снижение биоэнергетического обмена сочетается с тем, что период полувыведения остеотропных радионуклидов значительно меньше, чем в норме. Это прямо противоположно тому, что должно наблюдаться согласно общим закономерностям.

6. Совершенно не учитываются особенности обмена в главных органах и тканях депонирования (скелет, печень и др.).

7. Большинство методов в качестве параметра экстраполяции использует лишь период полувыведения, соответствующий показателю второй экспоненты в двухэкспоненциальной модели выведения и не принимают во внимание величину предэкспоненциалов, характеризующих относительное количество радиоактивного вещества, выводящегося по этому закону. Более корректным является прием [21], при котором интенсивность обмена конкретного радионуклида характеризуется показателем, соответствующим интегралу от всей кривой накопления — выведения. Однако, как показывают упомянутые выше результаты наших расчетов, учет одного только этого обстоятельства не дает существенного улучшения метода.

8. Известны и прямые примеры существенных отклонений от общих закономерностей [5]. Так, ряд видов по скорости выведения ^{226}Ra человек — мышь — собака несопоставим с рядом по интенсивности энергетики мышь — собака — человек; мелкие по сравнению с крысой хомячки ближе к крупным животным по отдельным показателям обмена некоторых актинидов (соотношение начального депонирования в скелете и печени у крысы — 2,9, у хомячка — 1,4, у человека — 1,0).

Для разработки оптимального метода экстраполяции необходим тщательный анализ связи обмена радионуклидов с системой метаболизма целостного организма.

II. Место обмена радионуклидов в метаболической системе скелета

Эволюция скелета и эволюция кальциевого обмена организма совершались в тесном сопряжении, что оказало решающее влияние на формирование метаболических особенностей твердых тканей позвоночных. Само появление кальцифицированной матрицы явилось результатом достижения определенного уровня кальциевого обмена. Последующее его развитие сопровождалось совершенствованием перестройки кости, ее все возрастающей взаимосвязанностью с кальциевым гомеостазом целостного организма.

В процессы перестройки кости, наряду с кальцием, вовлекались и другие химические элементы, депонированные в скелете. Вместе с тем в ходе эволюции кости сформировались трофические структуры (кальцифицированные поверхности, прилежащие к кровотоку, каналикулярно-лакунарная сеть), обеспечивающие единую систему транспорта веществ в скелете. Это и определяет тесную связь обмена остеотропных веществ и кальциевого метаболизма, причем морфофизиологические особенности костной ткани обеспечивают общие для всех радионуклидов и стабильных элементов механизмы обмена [5].

Изучение конкретных механизмов поведения радиоактивных и стабильных химических элементов в скелете показало, что каждый химический элемент от момента поступления его в кровь, фиксации в скелете и до возвращения в большой круг кровообращения проходит одни и те же этапы [3—5,9]. При этом термин «этап» в одних случаях обозначает пространственное перемещение, а в других — химическую реакцию. Различия же в обмене конкретных химических элементов в зависимости от их физико-химических свойств, вида и возраста животных, влияния внешней среды и т. п. обусловлены количественными отличиями параметров, характеризующих этапы траектории химических элементов в организме.

Качественная общность метаболических путей химических элементов в скелете позволяет применить системный подход к анализу огромного числа известных в настоящее время факторов: субстратов, механизмов процессов, влияний, морфологических структур, процессов, реакций, участвующих в накоплении и выведении радионуклидов в кости. Вслед за Воган [22] мы назвали эти структуры, физиологические процессы и реакции морфофизиологическими факторами обмена радионуклидов в скелете (МФФ). Системный анализ позволил на первом этапе отделить около сотни тканевых МФФ от факторов сре-

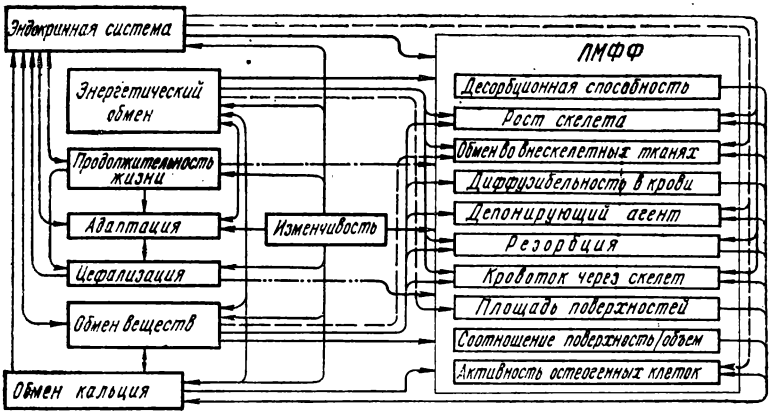


Рис. 2. Место метаболизма радионуклидов в скелете среди важнейших процессов жизнедеятельности (опосредование через систему морфофизиологических факторов).

ды, а на втором — выделить из числа тканевых МФФ систему, ведущих, базисных, лимитирующих факторов, необходимую и достаточную для полного описания и анализа судьбы химического элемента в целостном организме. В результате выделена система из 10 базисных тканевых МФФ.

Накопление определяют четыре фактора: кровоток через скелет F_1, диффузибельность в крови F_2, депонирующий агент F_3, интенсивность обмена во внескелетных тканях и органах F_8. Процесс выведения лимитируется шестью факторами: удельная десорбционная способность F_5, площадь поверхности F_4, резорбция F_6, рост F_7, обмен остеогенных клеток F_9, соотношение «поверхность — объем» скелета F_{10}.

Через систему базисных МФФ опосредуется влияние на обмен остеотропных продуктов других важнейших процессов жизнедеятельности и внешней среды (рис. 2).

III. Соотношение метаболизма остеотропных радионуклидов с обменом веществ и энергии в организме

Важнейшей стороной обмена радионуклидов в скелете является связь с интенсивностью энергетического, водного, белкового, углеводного, минерального и других видов обмена, а также с продолжительностью жизни. После работ Рубнера [19], Броди [14] и многих других авторов, можно считать твердо установленным, что уровень энергетического обмена организма определяется земным тяготением: основной обмен в полном логарифмическом масштабе линейно зависит от массы тела. У различных видов и даже у отдельных животных соотношение между видами обмена может существенно различаться, но инте-

гральная интенсивность энергетического обмена держится в жестких рамках, диктуемых физическими законами.

На рис. 2 показана структура связей обмена веществ и энергии, а также продолжительности жизни с метаболизмом радионуклидов в скелете. Процессы и связи, изображенные на схеме, имеются у всех позвоночных, но количественные характеристики этих процессов не одинаковы, и могут рассматриваться у различных видов животных как ограниченно подобные.

Некоторые авторы [8, 13] ведущее значение в метаболизме радионуклидов в скелете придают белковому обмену, поскольку в тканях происходит связывание радионуклидов плазменными и внутриклеточными белками, а также белками матрицы кости и зубов. При этом особое внимание уделяется корреляции обмена радионуклидов периодами полувыведения белков из крови и тканей, а также их периодами полураспада. Эти исследователи полагают, что важнейшим моментом обмена является распад белкового лиганда данного комплекса, который влечет за собою освобождение радионуклида.

Однако скорость синтеза и распада макромолекул, в том числе белков, является зависимой величиной и определяется биоэнергетикой. Кроме того, для судьбы радионуклида, связанного с белком, более важную роль играет не распад лиганда, а процесс обратимого обмена комплекса радионуклид — лиганд, как это следует из химии белковых комплексов и из прямых экспериментальных данных по их распаду [5].

Физико-химическое связывание нуклидов белками матрицы кальцифицированных тканей, несомненно, важная причина более или менее длительной их задержки. Но различия в связывании радионуклидов матрицей кости у разных видов животных определяются не столько константами устойчивости отдельных химических комплексов, сколько морфологическими структурами и процессами, определяющими скорость диффузии радионуклида (плотность кальцифицированной матрицы, параметры ее поверхностного слоя и каналикулярно-лакунарной сети, соотношение поверхность — объем и др.). С другой стороны, синтез и распад макромолекул матрицы кости идет главным образом в локусах ее морфологического обновления при росте и резорбции и, следовательно, корреляция между интенсивностью обменов в кости должна быть рассмотрена на физиологическом уровне. Физиология же костной ткани в целом не может быть расценена как раздел белкового метаболизма.

Значение углеводного обмена в судьбе радионуклидов в скелете подчеркивается авторами, которые считают основным химическим субстратом матрицы, связывающим поверхностнотропные вещества («surface-seekers»), мукополисахариды (гликозаминогликаны), сиаловые кислоты и их протеиновые комплексы [17, 22]. В наших работах также были получены результаты, которые свидетельствуют, что как объемо- («volume-see-

kers»), так и поверхностно-тропные остеотропы ($^{85,90}Sr$, ^{45}Ca, тетрациклин, ^{91}Y) на первых этапах депонирования, диффундируя через основное вещество кости, включаются в обратимую связь с гликозаминогликанами. Депонирующий агент в значительной мере представляет собою сумму метаболитов углеводного обмена [5]. Ферментативное фосфорилирование глюкозы приводит к включению радиофосфора в ее эфиры и повышает накопление его в зубах [11] и костях [5]. Известно об участии углевода в инициации кальцификации скелетных тканей [22]. На связь с липидным обменом указывают косвенные данные. Клеточный транспорт, в том числе накопление, миграция, выведение нуклидов, осуществляется с помощью мембранных механизмов; признано участие липидов в кальцификации матрицы твердых тканей, причем некоторые авторы считают даже, что липидам принадлежит инициальная или индуктивная роль [16]. Как свидетельство связи нуклеинового обмена радионуклидов можно расценивать активное накопление плутония в ядерном материале остеогенных клеток in vivo и in vitro [6,22]. Некобиогенные материалы — кальций, цинк — постоянно присутствуют в структуре нуклеиновых кислот, следовательно, сюда же поступают их радиоизотопы. Но наиболее значительное и всестороннее влияние нуклеиновый обмен оказывает на поведение остереотропных веществ опосредованно, через процессы белкового синтеза, роста, резорбции, формообразования. Сопряжение параметров метаболизма радионуклидов и воды [8] не удивительно: вода является универсальным растворителем, средой различных реакций, ее потоки в организме играют транспортную роль. Поведение нуклидов связано с обменом воды в межклеточной среде, клетках и тканях, но такой показатель, как период полувыведения воды из организма, не может быть признан достаточно репрезентативным. Так, некоторые животные пустынь вообще не пьют, используя метаболическую воду пищи.

В самом скелете участки, богатые водой, накапливают более высокие концентрации радионуклидов (например, кальция и фтора в кости кролика) [15]. Однако это соответствие вряд ли достигается непосредственно: богата водой молодая костная ткань, т. е. ткань в зонах роста, где закономерно повышено кровоснабжение и активированы все другие виды обмена. Кроме того, оба указанных нуклида объемотропны, а недообызвествленная костная ткань зоны роста диффузно кумулирует эти излучатели.

Зависимость интенсивности метаболизма остеотропных радионуклидов от продолжительности жизни млекопитающих хорошо обоснована [3, 5—8]. Но механизмы ее обсуждались мало. В работе Э. Р. Любчанского [7] найдены корреляции динамики включения радиокальция при росте животных, а также активности кислой фосфатазы в кости у крыс, кроликов и собак со скоростью резорбции скелета и средней видовой продолжитель-

ностью жизни. На присутствие таких связей указывает сама возможность экстраполяции периода полувыведения остеотропных радионуклидов по видовой продолжительности жизни. Есть в литературе и данные прямого определения активности резорбции у нескольких видов млекопитающих, далеко не так хорошо коррелирующие с выведением радионуклидов и с продолжительностью жизни. Выведение радионуклидов из скелета обусловлено не только резорбцией, но и совокупностью лимитирующих факторов обмена, действующих одновременно.

Видовая продолжительность жизни у млекопитающих зависит от уровня энергетического обмена, от степени цефализации (средняя продолжительность жизни животного такого же веса, как человек, но с меньшим головным мозгом оказывается также меньше) [20,21]. Это означает, что связь средней видовой продолжительности жизни с метаболизмом радионуклидов в скелете опосредована главным образом через энергетику и регуляторные системы (см. рис. 2.) Непосредственное влияние возрастных изменений затрагивает и параметры лимитирующих факторов.

Длительные и значительные воздействия среды требуют реакции регуляторных систем и более глубоких перестроек обмена веществ. Так, адаптация к холоду приводит не только к начальным реактивным изменениям энергетики, но и к повышению уровня основного обмена [12]; напротив, в тропиках у человека основной обмен понижен. На надорганизменном уровне они приводят к адаптивному изменению структуры популяций, включая генетические изменения.

Цефализация, сопровождающаяся увеличением продолжительности жизни, сыграла эту роль, возможно, путем повышения прецезионности регулирующих систем и расширения возможности адаптаций. Вероятно, признаком повышения прецезионности кальциевого обмена у человека по сравнению с крысой может служить более высокая чувствительность к паратиреоидному гормону и кальцитонину при практически одинаковом их уровне в крови у обоих видов. Для человека весом 70 кг высшая разовая доза паратиреоидина — 100 ед., а крыса весом 300 г без видимых осложнений переносит 600 ед.

Таким образом, все важнейшие процессы жизнедеятельности (см. рис. 2) влияют на обмен радионуклидов в скелете через лимитирующие факторы. Степень опосредования может быть сложна: непосредственные связи с одним или несколькими морфофизиологическими факторами не исключают влияния через регуляторные системы и другие виды обмена. Особое место по многообразию связей с лимитирующими факторами, с механизмами эндокринной регуляции и с биоэнергетикой организма занимает кальциевый обмен. Зависимость поведения радионуклидов в организме от минерального обмена общеизвестна. Все радиоизотопы как биогенных, так и абиогенных элемен-

тов на пути из крови в скелет проходят одни и те же этапы. В то же время понятия «минеральный обмен» и «обмен радионуклидов» не совпадают, поскольку механизмы, играющие ведущую роль в обмене радионуклидов (такие, как ионный или изотопный обмен), несущественны для обмена стабильных элементов.

Связь поведения в организме радиоизотопов щелочноземельных металлов с кальциевым обменом рассматривается как специфическая [1, 2]. Отражением такого взгляда стало и широкое применение понятия «стронциевые единицы» (^{90}Sr, мкКи/Ca^{2+}, мг).

Нами [5] была доказана зависимость судьбы всех радионуклидов, депонированных в скелете, от кальциевого обмена и вскрыт механизм этой зависимости, заключающийся в эндокринной регуляции резорбции кости, которая выводит в кровь все вещества, депонированные в матрице.

Кальций прямо влияет на несколько лимитирующих факторов обмена радионуклидов в скелете. Он играет важную роль в проницаемости клеточных мембран, во внутри- и внеклеточных процессах транспорта и, следовательно, оказывает влияние на внескелетные факторы, на проницаемость капилляров, на функциональное состояние остеогенных клеток, в том числе и на активность фагоцитоза. Десорбция радионуклидов зависит от разрыва физико-химических связей в матрице и диффузии через поверхностный слой в жидкую среду, а минеральная фаза играет большую или меньшую роль в связывании всех радионуклидов; препятствия для диффузии в матрице также в большой мере обусловлены различными формами кальциевых соединений (в рахитичной остеоидной кости и в деминерализованной кости диффузия существенно облегчается). Хотя десорбция вовлекает и минеральную, и органическую фазу матрицы, регулируется она сдвигами кальциевого обмена.

Важной особенностью связи кальциевого и энергетического обмена является ее нелинейность. На рис. 3 показано отношение количества потребляемого кальция к теплопродукции (Ca/E) в расчете на единицу массы тела человека во время роста и на протяжении жизни. Использованные здесь данные рассчитаны по потребному для обмена («тканевому») кальцию, т. е. за вычетом «кишечно-транзитного» кальция, который проходит по желудочно-кишечному тракту не всасываясь, и «пластического», участвующего в построении скелета. На рисунке видно, что при повышении интенсивности энергетического обмена потребность в кальции возрастает еще более интенсивно.

На рис. 4 сплошной линией изображен тот же показатель (Ca/E) в расчете на единицу массы тела у взрослых млекопитающих в зависимости от веса, т. е. от интенсивности общего энергообмена. Отмеченная на рис. 3 закономерность и в данном случае выражена отчетливо. Однако оценка процесса здесь

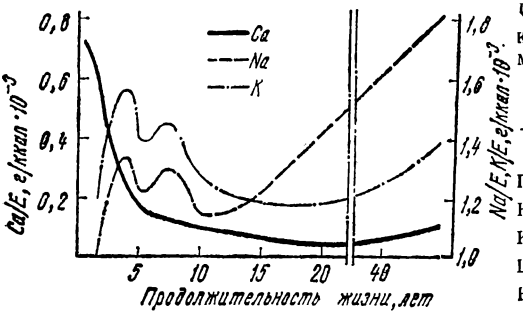


Рис. 3. Сравнительная динамика отношений интенсивности обмена Ca, Na, K к теплопродукции в онтогенезе человека.

представлена огрубленно, на основании одного только потребляемого кальция (рациона), а не тканево-транзитного, так как эти данные отсутствуют в доступной литературе.

Сведения о количестве тканево-транзитного кальция имеются лишь для крысы и человека, что использовано нами для корректировки зависимости величин Ca/*E* от массы тела (см. рис. 4), при этом для человека привлечена не одна точка, а целый набор данных ребенок — взрослый человек, полученных в онтогенезе, т. е. при возрастании массы тела от 3,5 до 70 кг.

Некоторые из макро- и микроэлементов и витаминов (калий и натрий, см. рис. 3) ведут себя в онтогенезе человека иначе; приблизительно соответствует уровню энергообмена потребность в аскорбиновой кислоте и тиамине; рост энергопотребления требует опережающего расхода витамина D и железа, динамика которого сложнее, чем у Ca.

Наконец, и отношение концентрации кальция к калорийности молока в зависимости от интенсивности роста детенышей (рис. 5) подчиняется отмеченной выше закономерности: чем быстрее рост, тем резче увеличивается потребность развивающегося организма в кальции. Для сравнения показано, что при этом нарастает также концентрация по отношению к другим минеральным веществам и белку молока.

Многообразие связей и зависимостей кальциевого метаболизма с биоэнергетикой организма и с системой лимитирующих факторов радионуклидного метаболизма придает показателям

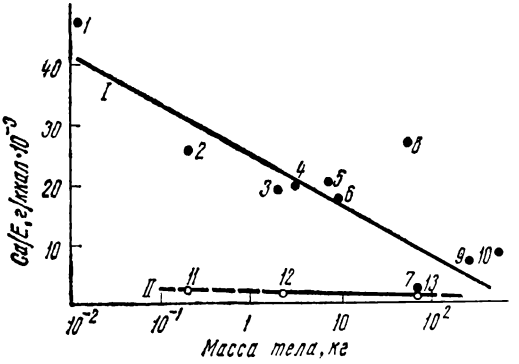
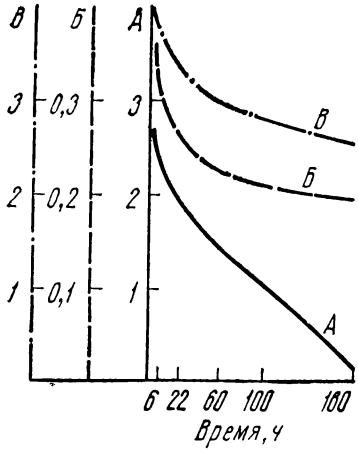


Рис. 4. Кальцийэнергетические отношения в ряду млекопитающих.

I — грубая оценка по потребляемому кальцию, II — тонкая оценка по «тканево-транзитному» кальцию. *1—13* — млекопитающие: *1* — мышь; *2* — крыса′; *3* — кошка; *4* — кролик; *5* — обезьяна; *6* — собака; *7* — человек (взрослый)′; *8* — овца; *9* — свинья; *10* — корова; *11* — крыса″; *12* — человек (ребенок); *13* — человек (взрослый)″.



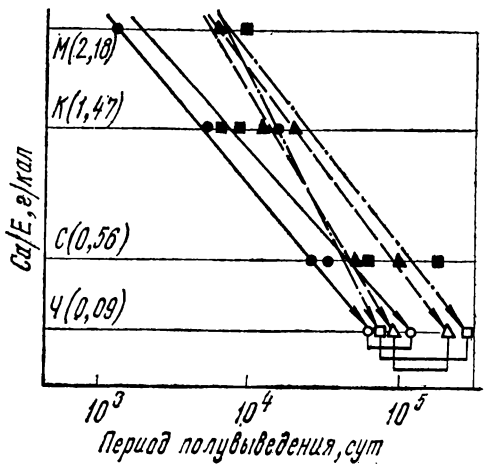


Рис. 5. Отношение концентрации кальция к калорийности молока в зависимости от интенсивности роста детенышей.

По оси абсцисс — время удвоения веса детенышей, по оси ординат — количество кальция по отношению к калорийности (*А*), к суммарному количеству минеральных веществ (*Б*) и к количеству белка (*В*).

Рис. 6. Экстраполяция величины биологического периода полувыведения радионуклидов по кальцийэнергетическому отношению (Ca/*E*).

Усл. обозначения те же, что и на рис. 1.

кальциевого обмена интегральный характер. Мы использовали кальцийэнергетические отношения Ca/*E* для экстраполяции периодов полувыведения радионуклидов от животных к человеку (рис. 6) и получили для ^{90}Sr — 17—33 лет, для ^{241}Am — 26—58 лет, для ^{239}Pu — 21—84 лет. Эти данные близки и по численным значениям, и по разбросу к результатам, полученным на основе принципа подобия систем обмена в организме млекопитающих по другим экстраполяционным параметрам (см. табл. 1), т. е. нет оснований считать этот метод более совершенным, несмотря на теоретически удовлетворительное обоснование преимуществ предложенного экстраполяционного параметра.

Из приведенного обзора следует, что все виды обмена веществ, энергии и среднюю видовую продолжительность жизни у млекопитающих можно рассматривать как систему с определенной структурой, примат в которой принадлежит энергетическому обмену. Внутри этой системы выделяется подсистема минерального обмена, также имеющая характерную структуру. Структуры системы обмена различных видов млекопитающих в значительной степени подобны друг другу.

Отклонения от типовой структуры системы обмена вызваны, очевидно, специфическими адаптациями к экологическим

нишам. Биоэнергетика может отклоняться от средней, обусловленной земной гравитацией, более чем наполовину в обе стороны [14]. Интенсивность каждого из других видов обмена может быть еще более вариабельной. Например, углеводный обмен у жвачных: в связи с высокой ферментацией моносахаридов в желудке углеводы усиленно синтезируются в организме животного.

Средняя видовая продолжительность жизни, в свою очередь, подвержена значительным отклонениям от той, которая должна соблюдаться согласно выявленным закономерностям, по-видимому, также в связи с видовыми адаптациями. Поэтому структуры систем обмена у различных видов не идентичны, что в сочетании с нарушениями подобия в системе лимитирующих факторов должно служить причиной значительных отклонений в обмене радионуклидов.

Следовательно, возможности любого метода экстраполяции, базирующегося на подобии в системе обмена в организме позвоночных, закономерно ограничены и улучшения результатов экстраполяции можно ожидать лишь приняв во внимание конкретные особенности и механизмы обмена остеотропных веществ в организме.

IV. Экстраполяция на основании механизмов обмена

Во многих работах [1, 2, 6—8, 11, 13, 18, 23] имеются ссылки на механизмы обмена остеотропных радионуклидов, например в связи с транспортом их белками плазмы крови или с транспортно-химическими реакциями ионных и связанных форм элементов и т. д. Но последовательно экстраполяционный подход, опирающийся на механизмы обмена изучаемого радионуклида, в известной литературе не описан. Причина вполне очевидна — отсутствие достаточно развитой теории.

Изложенная выше концепция системы морфофизиологических факторов, определяющих поведение остеотропных веществ в скелете позвоночных, служит основой для такой теории. Формализованная в виде математической модели [3], она излагается ниже.

После обоснованной редукции взаимосвязь факторов и их интегральный эффект могут быть представлены в виде 5-камерной модели (рис. 7), в которой значения ряда коммуникационных констант K_j определяются тканевыми факторами обмена F_i.

Система дифференциальных уравнений, описывающих модель, имеет вид:

$$\frac{dX_1}{dt} = -(K_2+K_{10})X_1+K_1X_2;$$

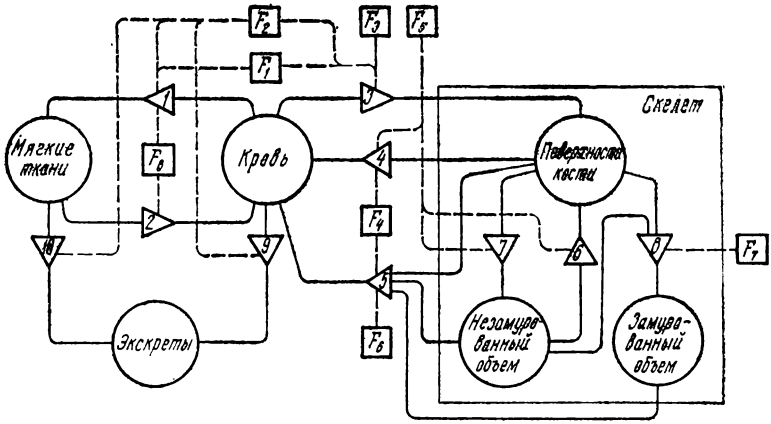


Рис. 7. Структурная схема модели влияния системы морфофизиологических факторов на обмен остеотропных веществ в организме.

Треугольниками показаны потоки вещества между камерами (обозначены окружностями). Влияние факторов (F_i) обозначено штриховыми линиями.

$$
\begin{aligned}
\frac{dX_2}{dt} &= K_2X_1-(K_1+K_3+K_9)X_2+K_4X_3+K_5(X_3+X_4+X_5);\\
\frac{dX_3}{dt} &= K_3X_2-(K_4+K_5+K_7+K_8)X_3+K_6X_4;\\
\frac{dX_4}{dt} &= K_7X_3-(K_5+K_6)X_4;\\
\frac{dX_5}{dt} &= K_8X_3-K_5X_5;\\
\frac{dX_6}{dt} &= K_{10}X_1+K_9X_2,
\end{aligned}
\qquad (1)
$$

где X_i — содержание радионуклида в камерах модели: X_1 — внескелетные ткани, X_2 — кровь, X_3, X_4, X_5 — поверхность, незамурованный и замурованный объем кости соответственно, X_6 — экскреты; K_j — коммуникационные константы, 1/ч, соответствуют потокам: K_1 и K_2 — накопления и отмывания между кровью и внескелетными тканями, K_3 — накопления из крови в скелет, K_4 — десорбции с поверхностей скелета, K_5 — резорбции, K_6 и K_7 — обмена радионуклидов, локализованных на поверхностях и в незамурованном объеме скелета, K_8 — радионуклида, замурованного в результате роста скелета, K_9 и K_{10} — экстреторным потокам.

Величина каждой из коммуникационных констант определяется лимитирующими факторами обмена (см. рис. 7). Для того, чтобы количественно охарактеризовать их, введены параметры a_i.

Накопление в скелете, точнее, на его поверхностях, зави-

сит от кровотока a_1, диффузибельности a_2 и влияния депонирующего агента a_3 на недиффузибельную долю $(1-a_2)$:

$$K_3=\alpha_3 a_1 [a_2+(1-a_2)a_3], \qquad (2)$$

α_i — здесь и далее коэффициент пропорциональности.

Процесс десорбции с поверхностей скелета прямо пропорционален площади поверхностей a_4, приходящейся на единицу веса крови a_9, и от десорбционной способности кости a_5:

$$K_4 = \alpha_4 \frac{a_4}{a_9} a_5, \qquad (3)$$

Резорбция одновременно затрагивает и поверхность, и объем кости, выводя постоянную долю кальция (и депонированных радионуклидов) — K_5. Эта доля зависит от соотношения площади поверхности a_4 и объема скелета a_{10} (отношение параметров a_4/a_{10} соответствует фактору F_9 — «поверхность/объем»), а также от интенсивности процесса резорбции a_6:

$$K_5 = \alpha_5 \frac{a_4}{a_{10}} a_6. \qquad (4)$$

Очевидно, что диффузия радионуклидов внутри кости определяется подвижностью его молекул. Мерой такой подвижности может служить десорбционная способность a_5, так как она определяется теми же механизмами, что и диффузия вглубь объема (молекулы диффундируют во всех направлениях). Отсюда

$$K_6=\alpha_6 a_5; \quad K_7=\alpha_7 a_5. \qquad (5)$$

Доля радионуклида, который замуровывается в объеме скелета в единицу времени, прямо пропорциональна доле поверхности, закрываемой новообразованной костью a_7:

$$K_8=\alpha_8 a_7. \qquad (6)$$

При поступлении в кровоток радионуклида накопление его во внескелетных тканях зависит от доли кровотока через мягкие ткани $(1-a_1)$ и величины диффузибельности a_2:

$$K_1=\alpha_1(1-a_1)a_2. \qquad (7)$$

Интенсивность обмена радионуклидов между мягкими тканями и кровью определяется собственными механизмами, которые в настоящей работе не рассматриваются. Поэтому интенсивность обмена в мягких тканях мы учитываем формально, с помощью параметра a_8, определяемого непосредственно из экспериментальных данных. Следовательно,

$$K_2=a_8 K_1. \qquad (8)$$

В процессе выведения из организма с экскретами радионуклид проходит ряд клеточных мембран, следовательно, выведе-

Таблица 2

Численные значения параметров лимитирующих МФФ a_i и коэффициентов пропорциональности α_i

a_i			i									
Изотоп	Вид	Возраст	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
^{239}Pu	Крыса	Взрослая	0,115	0,1	0,21	600	0,01 *	0,00163	0,00135	0,149	21	8,65
^{32}P	»	»	0,115	0,9	0,00	600	0,051	0,00163	0,00135	0,04	21	8,65
^{137}Cs	»	»	0,115	1	0,00	600	1,00 *	0,00163	0,00135	0,01 *	21	8,65
^{90}Sr	»	»	0,115	0,7	1,00	600	0,109	0,00163	0,00135	0,0905	21	8,65
»	»	Молодая	0,17 *	0,7	1,00	560 *	0,08 *	0,00163	0,00625 *	0,0005	10,5	6,2 *
»	»	Юная	0,23 *	0,7	1,00	290 *	0,05 *	0,00163	0,025 *	0,0905	3,75	2,1 *
»	Рыба	Взрослая	0,05	0,7	1,00	770	0,102	0	0,00625 *	0,0905	9	14
»	Собака	»	0,078	0,7	1,00	$21 \cdot 10^3$	0,05 *	0,0003	0,0009	0,0905	1400	910
»	Человек	»	0,03	0,7	1,00	$14 \cdot 10^4$	0,66	0,000003	0,0000075	0,0905	5000	3650
»	Человек, болезнь Педжета	»	0,15	0,7	1,00	$28 \cdot 10^4$	0,66	0,000057	0,00015	0,0905	5000	3650
Размерность a_i **			д	д	д	$см^2$	отн	д/ч	д/ч	отн	г	$см^3$
α_i			17,6	—	28,4	0,16	0,014	0,596	44,85	1	1,29	0,07

* Оценочные значения.
** д — доля, д/ч — долей единицы в час, отн — относительные единицы.

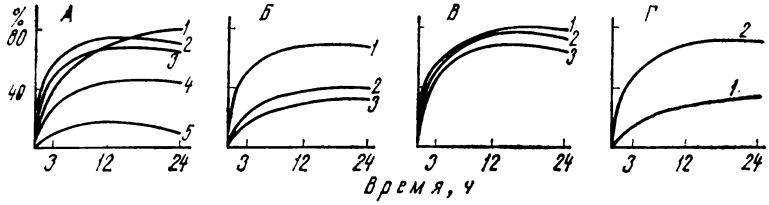


Рис. 8. Экстраполяционные графики динамики радионуклидов в скелете позвоночных (по оси ординат — накопление радионуклида во всем скелете, % от дозы).

А — влияние физико-химических свойств радионуклидов; *1* — ^{239}Pu, *2* — ^{45}Ca, *3* — ^{90}Sr, *4* — ^{32}P, *5* — ^{137}Cs; *Б* — динамика стронция-90 в зависимости от вида: *1* — крыса, *2* — рыба, *3* — человек; *В* — динамика стронция-90 у крысы в зависимости от возраста: *1* — юная, *2* — молодая, *3* — взрослая; *Г* — влияние физиологического состояния организма на динамику стронция-90 у человека: *1* — норма, *2* — болезнь Педжета.

ние можно считать прямо пропорциональным диффузибельности a_2:

$$K_9 = \alpha_9 a_2; \quad K_{10} = \alpha_{10} a_2. \qquad (9)$$

Количественные оценки параметров a_i и α_i приведены в табл. 2. Фактор F_{10} — «обмен остеогенных клеток» в данной модели отдельно не рассматривается из-за малого удельного вклада его в процессы накопления и выведения радионуклидов и отсутствия надежных количественных данных.

Уравнения (1—9) дают возможность, варьируя значения параметров в соответствии с различием физико-химических свойств радионуклидов, с видом, возрастом и патологией скелета, воспроизвести динамику накопления и выведения радионуклидов (рис. 8).

Задавая в модели параметры, соответствующие характеристикам различных радионуклидов (a_2, a_3, a_5, a_8) у одного и того же вида животного, получили сходные зависимости в модели и эксперименте. При переходе от плутония к стронцию и далее к фосфору происходит следующее: 1) снижается максимальный уровень радионуклида в скелете; 2) этот максимум наступает ранее; 3) элиминация из скелета происходит быстрее.

Изменяя параметры, a_1, a_4, a_5, a_6, a_7, a_8, a_9, a_{10} так, как это характерно для различных видов позвоночных, получаем: 1) уровень максимального накопления радиостронция у рыбы и человека приблизительно одинаков, у собаки и особенно крысы он заметно выше; 2) максимальный уровень накопления у крысы и собаки достигается быстрее, чем у рыбы (медленнее максимум наступает у человека); 3) скорость элиминации у человека и рыбы гораздо ниже, чем у крысы и собаки, причем у рыбы начальное выведение заметно выше, чем у человека, а на поздних сроках темп выведения ниже (плутоний из скелета человека в наблюдаемые сроки почти не выходит, в то время как у крысы и собаки за 10 суток обнаружено заметное снижение его содержания в организме).

Изменяя параметры a_1, a_4, a_6, a_7, a_{10} в соответствии с возрастными особенностями, на модели растущей крысы получили: 1) чем моложе животное, тем выше начальный уровень накопления; 2) у молодых животных более низкий уровень элиминации из скелета, чем в более старших возрастных группах.

Патология скелета имитирована изменениями параметров a_1, a_4, a_5, a_6, a_7, соответствующих литературным данным по болезни Педжета. Получены заметное ускорение и увеличение максимума накопления в скелете и более быстрая элиминация стронция из скелета человека.

Математическое моделирование позволило установить значимость и ожидаемую направленность сдвигов обмена радионуклидов в скелете позвоночных под влиянием изменений параметров лимитирующих факторов и, следовательно, подтвердить качественное соответствие основных положений предлагаемой концепции реальным ситуациям.

Рассматриваемая модель позволяет провести сопоставление с экспериментальными результатами на качественном уровне. Получение количественных заключений пока невозможно главным образом в связи с тем, что закономерности обмена в мягких тканях нами не исследованы и описаны весьма приблизительно и формально.

Сопоставление расчетных кривых (рис. 8) с экспериментальными данными показало достаточно удовлетворительное их соответствие, что подтверждает широкие возможности экстраполяций, базирующихся на учете конкретных механизмов обмена остеотропных веществ.

Выводы

1. Методы экстраполяции на основе подобий систем обмена у организмов, принадлежащих к разным видам, могут использоваться только как ориентировочные, поскольку широкий (до порядка величин) разброс получаемых с их помощью данных принципиально не устраним.

2. Перспективен и требует развития подход к экстраполяции, основанный на использовании механизмов обмена и представленный в данной работе концепций морфофизиологических факторов, определяющих динамику радионуклидов в скелете позвоночных.

ЛИТЕРАТУРА

1. Книжников В. А., Марей А. Н. К метаболизму стронция у человека.— В кн.: Метаболизм стронция. М., 1971, с. 59—74.

2. Лихтарев И. А., Краснощекова Г. П., Доброскок А. И., Синицкий Ю. Ф. Камерный анализ и изучение метаболизма ^{90}Sr при несовершенном остеогенезе.— Мед. радиология. 1972, № 1, с. 80—86.

3. Любашевский Н. М., Попов Б. В., Стариченко В. И. Математическая модель влияния морфофизиологических факторов обмена на метаболизм радионуклидов в скелете позвоночных.— В кн.: Математическое моделирование в медицине и биологии. Свердловск, 1981, с. 24—26.
4. Любашевский Н. М., Стариченко В. И. Авторадиографическая оценка сравнительной роли некоторых физико-химических факторов в накоплении остеотропных радиоизотопов скелетом.— В кн.: Комплексообразование и метаболизм радиоактивных изотопов. Свердловск, 1976, с. 18—27.
5. Любашевский Н. М. Метаболизм радиоизотопов в скелете позвоночных. М.: Наука, 1980. 255 с.
6. Москалев Ю. И. Проблемы радиобиологии америция-241. М.: Атомиздат, 1977. 168 с.
7. От радиобиологического эксперимента к человеку/Под ред. Ю. И. Москалева. М.: Атомиздат, 1970. 280 с.
8. Радиобиологический эксперимент и человек/Под ред. Ю. И. Москалева. М.: Атомиздат, 1970. 208 с.
9. Рогинский С. З., Шноль С. Э. Изотопы в биохимии. М.: Изд-во АН СССР, 1963. 379 с.
10. Федоров И. В. Обмен веществ при гиподинамии. М.: Наука, 1982. 254 с.
11. Федоров Ю. А., Манойлов С. Е. О механизме поражения твердых тканей зуба в результате воздействия проникающей радиации.— Радиобиология, 1966, вып. 3, с. 387—390.
12. Хаскин В. В. Энергетика теплообразования и адаптация к холоду. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1975. 200 с.
13. Швыдко Н. С., Рушоник С. И., Воронцов Л. Н., Попов Д. К. Роль минеральных и органических компонентов костной ткани в процессах обмена плутония-239.— Мед. радиология, 1977, № 9, с. 53—55.
14. Brody S. Bioenergetics and growth. N. Y., 1945. 1023 p.
15. Costeas A., Woodard H. G., Laughlin J. S. Comparative kinetics of and fluoride in rabbit bone. Radiat. Research, 1971, v. 46, N 2, p. 317—333.
16. Dirksen T. R., Calcified tissues.— In: Lipid Metabolism in Mammals. N. Y.; L., 1977, part 2, p. 237—292.
17. Herring G. M., Vaughan G., Williamson N. Preliminary report on the site of localization and possible binding agent for yttrium, americium and plutonium in cortical bone.— Health Physics, 1962, v. 8, N 6, p. 717—724.
18. ICRP, publication 19. Metabolism of compaund of plutonium and other actinides. New York — Toronto — Sidney — Braunschweig, 1972.
19. Rubner E. Uber den Einfluss Körpergrosse auf Stoff und Kraftwechsel.— Z. Biol., 1883, Bd 19, S. 535—562.
20. Sacher G. A., Staffeld E. F. Relation of gestation time to brain weight for placental mammals: implications for the theory of vertebrate growth.— Amer. Nature, 1974, v. 108, p. 593—615.
21. Thomas J. M., Eberhardt L. L. An extrapolation of radionuclide retention data from mouse to man.— Health Physics, 1981, v. 40, N 4, p. 485—492.
22. Vaughan J. The physiology of bone. Oxford, 1970. 293 p.

АКАДЕМИЯ НАУК СССР УРАЛЬСКИЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР

ПОГРАНИЧНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ЭКОЛОГИИ 1986

В. С. БЕЗЕЛЬ, О. Г. АРХИПОВА, Н. А. ПАВЛОВСКАЯ
Л. К. СЕМЕНОВА

ПОПУЛЯЦИОННЫЙ ПОДХОД К ОЦЕНКЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ АНТРОПОГЕННЫХ ЗАГРЯЗНИТЕЛЕЙ НА ЧЕЛОВЕКА

В современной экологической науке значительное место занимает изучение экологических последствий загрязнения биосферы. Поскольку экология понимается нами как «наука о закономерностях существования и развития надорганизменных биологических систем» [4], то определяющим в этом плане является не судьба отдельной особи, а обеспечение условий нормального функционирования популяций.

Загрязнение природной среды ставит вопрос об условиях существования человека как биологического вида. В. И. Вернадский отмечал, что «не требует особых разъяснений необходимость включения человечества, всех людей, как равного явления со всеми прочими проявлениями жизни, в круг изучаемого живого вещества» [2]. Это обстоятельство ни в коей мере не отрицает социальной уникальности человека и необходимости индивидуального подхода к судьбе каждой личности. Подобные принципы лежат в основе всех медико-биологических подходов к диагностике и лечению. Мы лишь подчеркиваем, что в современных условиях глобального антропогенного воздействия на биосферу биологическая суть человека делает оправданным и необходимым популяционный подход к оценке возможных последствий этих процессов. С другой стороны, в силу социальной природы человека, понятие «популяция» в широком биологическом смысле, вероятно, не может быть применено к человеку. Определяющий момент в рамках обсуждаемой проблемы — общность рассматриваемых нами группировок населения по уровню воздействия как конкретного загрязнителя, так и основных сопутствующих факторов, биологических и социальных, модифицирующих это воздействие. Требование единства выделяемых группировок по экономическим, этническим и иным признакам является оправданным лишь в меру возможного влияния перечисленных обстоятельств на поступление поллютанта в организм и его токсическое проявление.

Мы сочли возможным говорить о популяционном подходе к

человеку, подчеркивая тем самым экологическое единство и взаимосвязь выделяемых нами группировок с окружающей природной средой: часто трофические связи с природными экосистемами — основной путь поступления токсинов в организм.

Выделим два аспекта влияния антропогенных загрязнителей на популяцию человека. Во-первых, это воздействие на продуктивность, качество естественных экосистем и агроценозов. В условиях глобального загрязнения это ведет к резкому ограничению ресурсов биосферы. Во-вторых, поступление поллютантов в организм человека аэральным и пероральным путями, приводящее к интоксикации. Традиционно этот аспект входит в компетенцию гигиены. Однако в современных условиях подобная защита «последних рубежей» не может полностью обеспечить безопасность населения. Необходимо предвидеть и учитывать возможные изменения в структуре и функционировании трофических уровней экосистем, определяющих поступление токсического агента в организм — без этого невозможны эффективный контроль и регламентирование влияния антропогенных загрязнителей на человека.

Таким образом, проблема обеспечения благосостояния человека в условиях интенсивного глобального антропогенного воздействия по сути экологическая. Экологический подход оправдан и правомерен как при исследовании природных систем — среды обитания, так и при изучении собственно человека.

Своеобразие популяционного подхода заключается в следующем:

1. В процессе техногенеза создаются локальные сферы обитания человека, по ряду параметров существенно отличающиеся от природных. Все возрастающее количество людей живет в условиях, характеризующихся повышенными уровнями токсинов в окружающей среде.

2. Происходит качественное изменение трофических связей. Значительная часть современного рациона человека обеспечивается за счет агроценозов и животноводческих комплексов. Широкое применение неорганических удобрений, ядохимикатов сопровождается повышением в почвах и далее в растениях и животной продукции таких токсических элементов, как кадмий, свинец, ртуть, фтор и естественные радионуклиды (см., например, [19]). Благодаря широким транспортным связям продукты к современному человеку поступают из разных эколого-географических зон, отличающихся и по уровню антропогенного загрязнения.

3. Следует ожидать бо́льшую, чем в природных популяциях, разнородность реакции человека на загрязнение среды, что связано с очевидными различиями условий производства, быта, рациона, стрессовых нагрузок, гиподинамии, большей генотипической разнородностью.

4. Загрязнение обширных территорий приводит к тому, что значительные контингенты населения оказываются в условиях повышенного поступления токсинов в организм. Вместе с тем расширение наших знаний о токсичности загрязнителей приводит к установлению более низких допустимых уровней загрязнения, в принципе технически достижимых. Это обстоятельство в сочетании с постоянным воздействием на человека множества других факторов, связанных с последствиями социального развития общества (стрессовые нагрузки, курение, спиртные напитки и т. д.), приводит к тому, что не удается с достаточной достоверностью выделить те специфические показатели токсичности, которые обусловлены данным видом загрязнителя. Требуется анализ значительных выборок для установления корреляционной зависимости между содержанием токсических веществ во внутренних органах и биохимическими, физиологическими, функциональными или иными показателями интоксикации. Даже применяемые в медицинской практике индивидуальные диагностические тесты основаны на анализе данных, однородной выборки людей, т. е. на популяционном подходе.

5. Человек по своим экологическим связям относится к высшим трофическим уровням. В сочетании с повышенной чувствительностью высших организмов к любому токсическому агенту это приводит к тому, что любые антропогенные перестройки экологических систем (по С. С. Шварцу — «омоложение» ценозов) вызывают прежде всего неблагоприятные последствия для самого человека. Конечно, путем установления санитарно-гигиенических стандартов можно ограничить или полностью исключить потребление продукции отдельных биоценозов, если концентрация токсических веществ в них превышает установленную норму. Однако глобальный характер загрязнения природной среды распространяет закономерности накопления, биотрансформации и токсического действия поллютантов в отдельных экосистемах на целые регионы и биосферу в целом.

Отмеченные закономерности, связанные с биосоциальной природой человека, определяют сложность проблемы и необходимость комплексного изучения экосистем и человека. Неизбежный при этом популяционный подход к человеку должен рассматриваться как неотъемлемая часть общего экологического подхода к охране природы.

Любые качественные и тем более количественные оценки состояния популяции должны основываться на достаточно строго установленной зависимости «доза — эффект». С точки зрения токсического действия большинства антропогенных загрязнителей человек относится к наиболее изученным объектам. Общая и частная токсикология, промышленная и коммунальная гигиена и ряд других медико-биологических направлений подробно изучают последствия поступления к человеку повышенных количеств токсических веществ. Однако установление

количественных закономерностей в диапазоне низких доз воздействия, эквивалентных реальным нагрузкам на природные экосистемы, связано со значительными методическими трудностями. Для животных из природных популяций мы располагаем достаточно обширными токсикологическими данными, полученными на близких по систематике лабораторных животных. Необходимость популяционных оценок воздействия токсических элементов на человека требует больших выборок людей, чтобы с достоверностью установить наличие признаков интоксикации, вызванных действием конкретного загрязнителя. Исследование с этой целью широкого контингента лиц, живущих в условиях естественного или близкого к существующему уровню поллютантов в природной среде, не позволяет достоверно выделить подобные эффекты в силу их неспецифичности при низких уровнях воздействия. Получение необходимой информации на добровольцах также невозможно. Речь может идти об экстраполяции на человека закономерностей, полученных на экспериментальных животных. Подобная экстраполяция требует специального обоснования, выходящего за рамки настоящего сообщения. Мы остановимся на возможности использования данных, полученных на лицах, профессионально контактирующих с повышенными уровнями токсических элементов. Оценка состояния подобной выборки людей представляет самостоятельный интерес для промышленных гигиенистов. Очевидно, речь идет о достаточно специфической по условиям труда, состоянию здоровья, возрастному или половому составу выборка рабочих. Поэтому экстраполяция полученных закономерностей на низкие уровни воздействия и на все население требует конкретного рассмотрения.

Так, наш анализ концентрации свинца в биосубстратах (кровь, моча) у лиц, работающих в условиях повышенного содержания этого элемента в воздухе на нескольких предприятиях, показал отсутствие значимой зависимости этих показателей от стажа и возраста обследованных. Подобным же образом не зависит от стажа и возраста ряд специфических показателей свинцовой интоксикации: уровень копропорфирина (КП) и δ-аминолевулиновой кислоты (Д — АЛК) эритроцитов, а также изменение картины крови (базофильная зернистость эритроцитов). Вероятно, выделяемые нами выборки не адекватны в полной мере населению соответствующих поселков. Например, преобладание на производствах мужчин и отмеченные некоторыми авторами половые различия в накоплении свинца [3, 20, 22] при экстраполяции полученной дозовой зависимости на низкие уровни воздействия могут стать причиной неадекватности наших оценок. Однако отсутствие количественных данных о чувствительности различных групп населения, в том числе и по половому признаку (за исключением детей, чувствительность которых к свинцу и ртути повышена [9, 10,

13, 16]), а также наличие факторов, модифицирующих это явление, позволяют нам рассматривать выборку стажированных рабочих в качестве популяционной, по всем основным параметрам — кроме уровня воздействия — адекватной всему населению. В качестве иллюстрации рассмотрим зависимость «доза — эффект» для условий загрязнения свинцом среды обитания человека.

В фармакологии и токсикологии термином «доза» определяют количество вещества, поступающего в организм. Нас же интересует уровень или концентрация токсического агента, содержащегося в месте проявления токсического эффекта. Поскольку практическое определение этого показателя затруднено, то чаще всего ограничиваются оценкой содержания токсического элемента в объектах внешней среды. Однако наличие нескольких путей поступления поллютантов в организм (с воздухом, пищей, через кожу), различие физико-химического состава соединений, содержащих токсические элементы, и отмеченная выше неоднозначность производственных и бытовых условий — все это делает неопределенной оценку действующих доз. Более информативными будут показатели, связанные с содержанием токсических элементов в крови или моче.

Вызывает затруднение и оценка реакции организма на токсическое воздействие. Несмотря на то, что патогенез действия соединений свинца на человека в настоящее время исследован достаточно подробно, невозможно характеризовать те уровни элемента в крови или моче, которые однозначно соответствовали бы конкретному токсическому эффекту. Это связано с различием индивидуальной чувствительности организмов и влиянием сопутствующих факторов. Поэтому в любой достаточно представительной выборке всегда будет некоторое количество лиц, физиологические, биохимические или другие показатели которых выходят за рамки установленной нормы при отсутствии повышенных уровней токсического элемента в организме. Возможно и обратное. В подобной ситуации в качестве единого интегрального показателя эффекта поражения мы приняли долю лиц с четко диагностируемыми признаками токсического действия, определенными по совокупности информативных и наиболее характерных показателей данного вида интоксикации.

В настоящей работе приведены результаты обследования трех предприятий, характеризующихся различными уровнями воздействия свинца. В первую группу вошли рабочие, имеющие контакт со свинцом в воздухе на уровне ПДК (низкий уровень). Вторую группу составили лица, работающие при уровне, несколько превышающем ПДК (средний уровень). Условия работы третьей группы характеризуются более высокими уровнями Pb в воздухе (высокий уровень). Всего обследовано 219 человек. Результаты клинического обследования всего контингента опубликованы [5]. Содержание свинца и компонентов

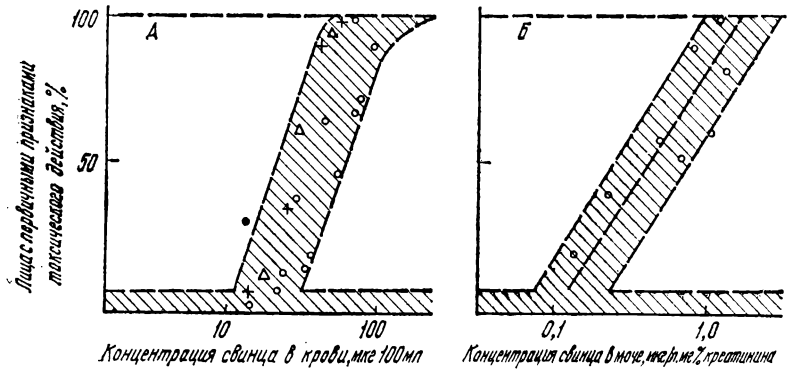


Рис. 1. Зависимость частоты обнаруживаемых признаков токсического действия свинца от его уровня в крови (*А*) и в моче (*Б*).

○ — изменения крови и порфиринового обмена [5]; ● — уровень свободных порфиринов эритроцитов у мужчин [3, 22]; + — то же у женщин; △ — ингибирование активности АЛК-Д [3, 22]. Заштрихованные участки соответствуют 95 % вероятности прогноза.

порфиринового обмена в биосубстратах работающих лиц и у контрольной группы представлены в табл. 1. Основные показатели порфиринового обмена — уровень δ-аминолевулиновой кислоты (АЛК) и копропорфирина (КП) в моче, активность АЛК эритроцитов (АЛК — Д), а также изменение картины крови (базофильная зернистость эритроцитов) — были использованы для диагностики ранних признаков поражения свинцом. По результатам клинических и биохимических анализов обследованные были отнесены к двум группам: 1) лица с наличием специфических признаков токсического действия; 2) лица практически здоровые, основные показатели которых не выходят за границы нормы.

Все обследованные, независимо от уровня воздействия, были разделены также на группы в соответствии с уровнем свинца у них в крови или моче. В каждой группе определяли процент лиц с наличием признаков поражения. Результаты анализа приведены на рис. 1*А* и *Б*, а также в табл. 1, где частота случаев проявления признаков токсического действия представлена как функция концентрации элемента в крови или моче обследованных.

Обсуждаемая зависимость «частота проявления признаков токсического действия — содержание элемента в крови или моче» основана, с одной стороны, на стохастическом характере распределения концентраций токсического элемента у обследованных лиц, с другой — на принципе пороговости его токсического действия. Отметим, что под критическим уровнем элемента мы понимаем такую его концентрацию в крови или моче, при которой возможная частота случаев подобной интоксикации у лиц,

Таблица 1

Частота проявления первичных признаков токсического действия в зависимости от уровней свинца в крови (мкг/100 мл) и моче (мкг/л·мг % креатинина), %

Уровень свинца	Лица		Доля случаев интоксикации при данном уровне свинца
	с признаками токсического действия n=105 (n=120)	практически здоровые n=47 (n=66)	
7—18 (0,04—0,23)	5,7 (10,0)	12,7 (34,8)	0,31 (0,22)
18—29 (0,23—0,42)	3,8 (21,7)	23,4 (31,8)	0,14 (0,41)
29—40 (0,42—0,61)	11,4 (20,8)	19,1 (15,1)	0,37 (0,58)
40—51 (0,61—0,80)	23,8 (10,0)	12,7 (9,1)	0,65 (0,52)
51—62 (0,80—0,99)	16,2 (13,3)	19,1 (1,5)	0,46 (0,90)
62—73 (0,99—1,18)	17,1 (8,1)	8,6 (6,0)	0,67 (0,60)
73—84 (1,18—1,37)	10,5 (8,3)	4,3 (—)	0,71 (1,00)
84—95 (1,37—1,56)	11,4 (6,7)	— (1,5)	1,00 (0,82)

Примечание. В скобках — данные по моче.

подвергающихся воздействию, не превышает таковую у контрольной группы.

Были предприняты попытки прямого определения пороговых концентраций свинца в биосредах человека для различных показателей свинцовой интоксикации. Наиболее тесно с уровнем металла в крови коррелирует ингибирование активности эритроцитарной АЛК — Д. Так, Тола [20] при анализе данных обследования 1370 рабочих определил, что средний порог токсического действия по этому эффекту близок к 10—20 мкг/100 мл. Несколько меньшее пороговое значение (8,3 мкг/100 мл) получили Нордман и Хернберг [15] при анализе населения Финляндии. Согласно Цилуису [22], при содержании Pb в крови 10—50 мкг/100 мл не более чем у 5 % обследованных лиц могут быть обнаружены такие же специфические для свинцовой интоксикации биохимические сдвиги (ингибирование АЛК — Д, содержание свободных порфиринов эритроцитов и т. д.). Попытки установить пороговый уровень свинца по другим показателям дают более высокие значения. Это относится к такому специфическому показателю, как анемия. По данным Сакураи и соавторов [18], а также Тола с соавторами [21], до уровня в 50 мкг/100 мл не удается обнаружить признаков анемии. Для детей этот эффект наблюдается при более низких значениях. Бетт и соавторы [9] наблюдали признаки анемии у 14 % детей, имеющих уровень свинца в крови, не превышающий 37 мкг/100 мл. Близкие значения приводят другие авторы при диагностике у детей дисфункции центральной нервной системы, вызываемой присутствием свинца [3]. Признаки извращения аппетита и изменение поведенческих реакций у детей имели место при уровнях от 39 до 80 мкг/100 мл [10]. Близкие значения по данному признаку

приводят другие авторы [12, 13]. У рабочих свинцовой промышленности отрицательная корреляция между скоростью проводимости нервного возбуждения и содержанием свинца в крови обнаружена при концентрациях от 2 до 73 мкг/100 мл [8]. Другие показатели интоксикации, такие, например, как изменение функции почек [11], содержания основных компонентов крови (кальций, фосфор, глюкоза, холестерин, сывороточный альбумин и др.), а также возрастание частоты заболеваемости и смертности рабочих наблюдали при уровнях свинца в крови, превышающих 50—70 мкг/100 мл [3].

Таким образом, широкий спектр токсических проявлений действия свинца не дает однозначного ответа о возможной величине критического уровня этого элемента в крови, ответственного за проявление указанных признаков. В нашем случае речь идет об оценках токсического действия свинца на значительные контингенты, профессионально не связанные с повышенными уровнями этого элемента и включающие такие разнородные по чувствительности группы населения, как женщины и дети. Экстраполяция полученной зависимости (см. рис. 1*А*) на низкие уровни воздействия позволяет оценить критический уровень свинца в крови 20 мкг/100 мл, это хорошо согласуется с приводимыми данными. Соответствующий критический уровень Pb в моче, по нашим данным, может быть принят равным 0,176 мкг/л/мг% креатинина.

Отметим, что, согласно современным санитарно-гигиеническим подходам, допустимый уровень воздействия для условий промышленного производства не адекватен таковому для всего населения. Ввиду кратковременности токсического воздействия (только в течение рабочего дня и в течение трудового стажа), естественной ограниченности контингента лиц, связанных с производством, и наличия постоянного медицинского контроля за состоянием здоровья этих групп, допустимое воздействие для промышленных условий может быть более высоким. Учитывая это, было бы, очевидно, неверно рассматривать субпопуляцию лиц, работающих в условиях производства, в качестве модельного объекта для обоснования выбора критического уровня токсического агента в организме. Вместе с тем использование указанной модели представляется нам возможным, если в качестве эффекта действия поллютанта учитывать начальные, в первую очередь биохимические, сдвиги определенных показателей или даже их комплекса, которые не дают еще основания для диагностики заболевания (интоксикации), но уже свидетельствуют о наличии некоторой степени неблагоприятного влияния на организм. При этом делаются допущения, что в плане популяционных последствий это неблагоприятное действие нежелательно.

Выше было отмечено, что определение частоты появления признаков токсического действия у человека (степень риска)

при различных уровнях и продолжительности воздействия токсического элемента возможно лишь на основе популяционных оценок, подразумевающих определение поллютанта в крови или моче в виде случайно распределенных величин, описываемых одним из законов статистического распределения. Доля вариантов в распределении, превышающих критический уровень свинца в крови или моче, будет отражать ожидаемую частоту проявления признаков токсического действия.

Математически задача может быть сформулирована следующим образом. Уровень свинца в крови $q_к$ или моче $q_м$ работающих представляет собой непрерывную случайную величину с плотностью распределения $f_к(q_к)$ или $f_м(q_м)$. Приведенный нами анализ клинического материала по содержанию свинца в моче и крови лиц, профессионально контактирующих с этим металлом, показал, что функции $f_к(q_к)$ и $f_м(q_м)$ хорошо аппроксимируются логнормальным законом распределения. Предполагаемое однозначное соответствие между уровнем токсического элемента в биосредах организма и частотой наблюдаемых признаков интоксикации F можно представить функциональной зависимостью $F = G(q)$. Если предполагать, что функция $G(q)$ непрерывна и дифференцируема на всем интервале, то математическое ожидание случайной величины и ее дисперсия могут быть определены так:

$$M(F) = \int_{-\infty}^{\infty+} G(q) f(q)\, dq;$$

$$D(F) = \int_{-\infty}^{+\infty} [G(q) - M(F)]^2 f(q)\, dq.$$

Таким образом, задача оценки состояния популяции человека сводится к определению плотности вероятности распределения $f(q)$ и к нахождению функциональной зависимости $G(q)$.

Закон распределения $f(q)$ может быть определен непосредственно в результате экспериментальных или клинических исследований. Однако трудоемкость этих работ (в ряде случаев даже невозможность их проведения) вынуждает нас закон распределения определять косвенным образом, основываясь на законах распределения других случайных величин.

С этой целью мы воспользовались математической моделью обмена свинца в организме человека [1]. Стандартные отклонения коммуникационных констант модели $K_{ij} \pm S_{ij}$ имитируют индивидуальную изменчивость обменных свойств организмов анализируемой выборки.

Статистическое распределение концентраций токсических элементов в организме определяется суперпозицией случайной величины P, имитирующей стохастический характер поступления токсина в организм, и совокупностью случайных параметров K_{ij}. По оценкам американских авторов, индивидуальные уровни поступления свинца в организм работающих хорошо

Таблица 2

Основные показатели порфиринового обмена в биосубстратах работающих и у лиц контрольной группы [5]

Уровень воздействия	АЛК мочи, мкмоль/г креатинина	КП мочи, нмоль/г креатинина	Д-АЛК эритроцитов крови, мкмоль/с·л
Низкий	14,9±0,38	56,0±9,3	0,27±0,04
P	<0,05	<0,05	<0,001
Средний	52,3±5,3	93,9±20,3	0,09±0,007
P	<0,001	<0,05	<0,001
Высокий	107,6±12,1	576,1±130,4	0,05±0,02
P	<0,001	<0,001	<0,05
Контрольная группа	12,9±1,0	55,0±5,6	0,52±0,03

аппроксимируются логнормальным законом распределения со стандартным отклонением, равным 100 %.

Реализуя на ЭВМ циклы последовательных решений математической модели при коммуникационных константах K_{ij} и P, выбираемых случайным образом, согласно логнормальному закону распределения и их дисперсии, получаем расчетным путем искомую функцию распределения $f(q)$.

Исходя из принципа пороговости токсического действия, функциональная зависимость $G(q)$ может быть определена в виде критического уровня поллютанта $C_{кр}$ в биосредах организма, превышение этого уровня однозначно диагностируется как 100 %-ная вероятность проявления признаков токсического действия.

Однако приводимые выше данные (см. табл. 1 и 2 рис. 1*А* и 1*Б*) показывают, что при уровнях свинца в крови или моче, превышающих соответствующие $C_{кр}$, частота токсических проявлений возрастает постепенно, достигая полного поражения лишь при некоторых значениях $C'_{кр} > C_{кр}$. Поэтому в наших оценках функция $G(q)$ для крови изменяется следующим образом:

$$G(q_к) = \begin{cases} 0{,}683 \ln(q_к) - \\ \\ \end{cases} \begin{matrix} 0{,}05 \text{ при } q_к \leqslant 20 \text{ мкг/100 мл}, \\ 1{,}99 \text{ при } 20 \text{ мкг/100 мл} < q_к \leqslant \\ \leqslant 80 \text{ мкг/100 мл}, \\ 1{,}0 \text{ при } q_к > 80 \text{ мкг/100 мл}. \end{matrix}$$

Если в качестве аргумента в дозовой зависимости рассматривать уровень свинца в моче, то

$$G(q_м) = \begin{cases} 0{,}326 \ln(q_м) + \\ \\ \end{cases} \begin{matrix} 1{,}0 \text{ при } q_м > 2{,}0 \text{ мкг/л/мг \% креатинина}. \\ 0{,}72 \text{ при } 0{,}176 < q_м \leqslant 2{,}0 \text{ мкг/л/мг·\% } \\ \text{креатинина}, \\ 0{,}05 \text{ при } q_м \leqslant 0{,}176 \text{ мкг/л/мг \%} \\ \text{креатинина}, \end{matrix}$$

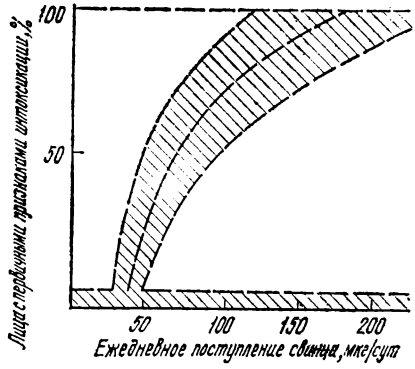


Рис. 2. Зависимость частоты обнаруживаемых признаков токсического действия свинца от его суточного поступления в кровь.

Заштрихованный участок соответствует 95 % вероятности прогноза.

При имитации на модели различных уровней воздействия мы предполагали, что при концентрациях свинца в крови, меньших 20 мкг/100 мл, и в моче 0,176 мкг/л/мг% креатинина ожидаемая частота признаков интоксикации не превышает таковую в контрольной группе, т. е. 0,05.

Естественно, что такой альтернативный подход остается справедливым лишь в случае больших контингентов, подвергающихся токсическому воздействию, т. е. носит популяционный характер. Вместе с тем рассматриваемая функция $G(q)$ должна отражать вероятностную оценку пороговости действия с учетом индивидуальной резистентности к токсину лиц, составляющих популяцию. Получаемый прогноз популяции человека имеет поэтому вероятностную оценку.

Для практической реализации предлагаемой дозовой зависимости удобнее использовать в качестве аргумента суточное поступление токсического элемента в кровь, включая поступление с воздухом и пищей (рис. 2).

Для оценки поступления свинца через легкие можно воспользоваться моделью легочно-дыхательного тракта, предложенной МКРЗ [6, 7]. Согласно данным американских авторов, масс-медианный диаметр аэрозольных частиц, содержащих свинец в условиях городской атмосферы, может быть в пределах 0,25—0,70 мкм [14, 17]. Наши оценки аэрального поступления свинца, выполненные по модели МКРЗ, показывают, что примерно 16—20 % общего количества аэрозолей свинца, вентилируемого через легкие, поступает в кровь. Тогда аэральное поступление свинца равно

$$P = VC_{воз}f_л,$$

где V — суточный объем легочной вентиляции, м^3/сут; $C_{воз}$ — концентрация свинца в воздухе, мкг/м^3; $f_л$ — коэффициент легочной абсорбции.

Концентрация свинца в воздухе крупнейших городов Европы, США и Японии варьирует от 1 до 4 мкг/м^3 [3]. Это соответствует поступлению в кровь горожан от 4 до 30 мкг/сут свинца только за счет загрязнения воздуха. Поступление ток-

сического элемента также широко варьирует в зависимости от рациона. По некоторым данным, оно составляет около 100 мкг/сут, по другим — достигает 500 мкг/сут [3]. Если учесть коэффициент желудочно-кишечной абсорбции $f_{жкт}$, равный 5—10 %, то в кровь ежедневно поступает от 5 до 50 мкг/сут свинца.

Естественно, что воздействие подобных экстремальных для бытовых условий уровней свинца, соответствующих максимальному содержанию элемента в воздухе и рационе, маловероятно. Конкретные бытовые условия (время пребывания на центральных магистралях города, в рабочих и жилых помещениях, изменяющийся по дням и сезонам рацион питания и т. д.) в значительной мере модифицирует реальные уровни воздействия. Поэтому примем, что среднее поступление в организм человека, обитающего в условиях города и не контактирующего профессионально со свинцом, близко к $40 \pm 2{,}0$ мкг/сут. Согласно приводимой зависимости (рис. 2), в подобной выборке людей следует ожидать $10 \pm 6{,}5$ % случаев проявления признаков токсического действия свинца, что близко к фоновой частоте выделяемых признаков [3].

Рассмотрим вариант профессионального воздействия свинца на работающих. Пусть концентрация элемента в воздухе производственных помещений достаточно высока (600 мкг/м^3). Применение респираторов в этом случае снижает действующую концентрацию примерно в 10 раз. Средневзвешенная концентрация свинца в воздухе с учетом продолжательности рабочего дня может быть рассчитана (14,8 мкг/м^3). В этих условиях в кровь работающих ежедневно поступает 90 мкг/сут. Согласно дозовой зависимости, наличие признаков токсического действия можно ожидать в $65 \pm 16{,}5$ % случаев.

Отметим, что речь идет о наличии некоторых первичных признаков токсического действия, связанных с изменениями крови и некоторыми биохимическими показателями. Окончательный диагноз сатурнизма обусловлен также наличием других показателей, в значительной мере определяется выраженностью получаемых сдвигов и должен носить индивидуальный характер.

Приводимые нами оценки носят популяционный характер, при котором достаточно широкий контингент лиц, находящихся в условиях равного токсического воздействия, рассматривается в качестве единого биологического объекта, состояние которого может быть охарактеризовано возможной частотой проявления признаков токсического действия. В своих оценках мы исходили из стохастического характера процессов обмена токсических элементов в организме, возможности имитации этого явления на математической модели и принципа пороговости токсического действия рассматриваемого поллютанта.

ЛИТЕРАТУРА

1. Безель В. С., Архипова О. Г., Павловская Н. А. Моделирование обмена свинца в организме человека.— Гигиена и санитария. 1984, № 4, с. 46—48.

2. Вернадский В. И. Живое вещество. М.: Наука. 1978. 358 с.

3. Гигиенические критерии состояния окружающей среды. 3. Свинец. Женева, ВОЗ. 1980. 193 с.

4. Информационные материалы Научного Совета по проблеме «Биологические основы освоения, реконструкции и охраны животного мира [проблемная записка]. М.: ИЭМЭЖ АН СССР, 1980. 20 с.

5. Монаенкова А. М., Архипова О. Г., Зорина Н. С. и др. О влиянии различных уровней свинца на организм работающих.— Гигиена труда и профзаболеваний, 1982, вып. 6, с. 11—15.

6. Радиационная защита. Рекомендации Международной комиссии по радиологической защите (МКРЗ). М.: Госатомиздат, 1961. 26 с.

7. Радиационная защита. Публикация Международной комиссии по радиологической защите. М.: Атомиздат, 1978. 36 с.

8. Araki S., Honma T. Relationships between lead absorption and peripheral nerye conduction velocities in lead workers.— Scand. Work. Environ. Health., 1976, v. 4, p. 225—293.

9. Betts P. R., Astley R., Raine D. N. Lead intoxication in children in Birmingham.— Brit. med. J., 1973, v. 1, p. 402—406.

10. Bicknell J., Clayton B. E., Delves H. T. Lead in mentall retarded children.— Mental. Def. Res., 1968, v. 12, p. 282—293.

11. Cramer K., Goyer R. A., Jagenburg R., Wilson M. H. Renal ultrastructure renal function and parameters of lead toxiciti in worker with different period of lead exposure.—Brit. J. ind. Med., 1974, v. 31.

12. Cartside P. S., Buncher C. R., Lerner S. Relationship of lead and biood lead for workers at an automobile battery factory.— Arch. Occup. Envir. Health., 1982, v. 50, p. 1—10.

13. Landrigan P. J., Balch R. W., Barrhel W. F., Whitworth R. H., Staehling N. W., Rosenblym B. F. Neurophysiological dysfunction in children with chronic lowlevel lead absorption.— Lancet., 1975, v. 1, p. 708—712.

14. Lee R. E., Goranson S. S., Enrione R. E., Morgan G. B. The NASH cascade impactor network. 11. Sise distribution of rtace-metal components.— Env. Sci. Technol., 1972, v. 6, p. 1025—1030.

15. Nordman C. H., Hernberg S. Blood lead levels and erythrocits δ-aminolevulinic acid dehydratase activity of selected population groups in Helsinki.— Scand. J. Work. Envir. Health., 1975, N 1, p. 219—232.

16. Pueschel S. M., Kopito L., Schwachman H. A screening and follow up stady of children with an increased lead burden.— J. Amer. Med. Assoc., 1972, v. 333, p. 462—466.

17. Robinson E., Ludwig F. L. Particle size distribution of urban lead aerosols.— J. Air. Pollut. Control. Assoc., 1967, v. 17, p. 664—669.

18. Sakurai H., Sugita M., Tsuchiva K. Biological respouse and subjective symptoms in low level lead exposure.— Arch. Envir. Health., 1974, v. 29, p. 157—163.

19. Schoeder H. A., Balassa J. J. Cadmium: Uptake by vegetables from superphosphase in soil.— Science, 1963, v. 140, p. 819—820.

20. Tola S. Effect of Blood lead concentration, age, sex and exposuve time on the erythrocyte δ-aminolevulinic acid dehydratase activity.— Work. Envir. Health., 1973, v. 10, p. 26—35.

21. Tola S., Harnburg S., Asp S., Nikkanen J. Parameters indicative of absorption and biological effect in new lead exposure: A prospective stady.— Brit. J. ind. Med., 1973, v. 30, p. 134—141.

22. Zielhuis R. L. Dose respouse relationshiph for inorganic lead. Biochemical and haematological respouses. 11. Subjective and functional respouses. Chronic seguelue. No-respouse levels.— Int. Arch. Occup. Health., 1975, v. 35, p. 1—18, 19—35.

АКАДЕМИЯ НАУК СССР УРАЛЬСКИЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР

ПОГРАНИЧНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ЭКОЛОГИИ 1986

Т. В. ЧЕРНЕНЬКОВА

МЕТОДИКА КОМПЛЕКСНОЙ ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЯ ЛЕСНЫХ БИОГЕОЦЕНОЗОВ В ЗОНЕ ВЛИЯНИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

Лесные биогеоценозы испытывают все возрастающие антропогенные нагрузки. Проблема объективной регистрации многофакторных, прямых и опосредованных реакций природных систем на эти воздействия является весьма актуальной.

В задачу наших исследований входили разработка методики, позволяющей осуществить комплексное изучение всех сред, горизонтов и ярусов лесного биогеоценоза с целью выявления трехмерной картины распространения и распределения токсикантов, и установление степени нарушенности природной системы как целого. Объектом исследования были выбраны лесные массивы вокруг Карабашского металлургического комбината (Челябинская область). Регион Южного Урала давно освоен хозяйственной деятельностью, поэтому первичных лесов здесь почти не сохранилось. Господствующий тип биогеоценоза в окрестностях комбината — березняк разнотравный на серых лесных оподзоленных почвах. Березняки вторичные, в возрасте 50—70 лет.

Пробные площади располагали крестообразно — вдоль и поперек господствующего направления ветров. Плотность расположения возрастала в направлении к эпицентру выбросов. Длина лучей креста определялась выходом на местный фоновый уровень.

Воды. Из всех пресных континентальных вод суши нами для выявления картины пространственного распределения токсикантов в исследуемом районе выбраны стоячие воды малых водоемов (лужи). Действительно, закономерности поступления микроэлементов из атмосферы могут характеризовать только воды малых стоячих водоемов, поскольку воды рек характеризуют микроэлементный состав всего бассейна, мелкие ручьи — микроэлементный состав подземных грунтовых и пластовых вод, а озера, как правило, более крупные по площади, являются в разной степени проточными. В лужах и микропрудиках, по некоторым данным, содержится около 80 % пресной континенталь-

ной воды, что, по-видимому, дало основание В. И. Вернадскому в свое время выделить «лужесферу», как одну из составляющих наземной биосферы.

Критерия размерной оценки для луж нами пока не выработано. Условно лужей мы считаем малый водоем от 10 до 100—200 м^2 с исключительно атмосферным питанием, развитой водной растительностью и развитыми трофическими уровнями беспозвоночных. Естественно, что колебания уровня в зависимости от количества осадков в таком водоеме весьма значительны и им сопутствуют колебания концентрации микроэлементов.

Микроэлементный состав дождевых вод может колебаться. Кроме того, известно, что в первые минуты дождевые воды эффективно вымывают из атмосферы аэрозоли и сильнее обогащены микроэлементами.

Воду из луж брали в полиэтиленовую посуду в объеме 3 л. Для сбора дождевых вод применяли полиэтиленовый тент площадью 1 м^2, в котором собиралась и перемешивалась вода всего дождя и происходило усреднение ее микроэлементного состава. Из этого объема отливали 3 л в спецпосуду из полиэтилена. Принимались все необходимые меры против загрязнения как посуды, так и тента при хранении.

Интенсивно идущие процессы сорбции микроэлементов на стенки бутылей, с одной стороны, и десорбции микроэлементов из стенок, с другой — не позволяли хранить воду в бутылях более суток. Тут же, на месте, в полевых условиях, отобранные воды подвергали обработке и консервации на фильтрах. Сначала на вату отфильтровывали крупные взвеси: веточки, детрит листьев, комочки водорослей, грунта и прочее, что не входит в состав воды, вату выбрасывали. Затем воду фильтровали под давлением на лавсановые фильтры с диаметром пор 0,4 мк для отделения взвеси. Параллельно измеряли главные характеристики исследуемых вод: pH, eH, pO, t°C. Походная лаборатория для фильтрации вод под давлением, а также прибор для определения указанных характеристик вод в полевых условиях были изготовлены по нашему заказу целиком из пластмассовых деталей, без металлических частей.

Взвесь высушивали и хранили между стеклами или запаивали в полиэтиленовую пленку. Следующий этап — обработка воды тиоксинатом натрия с целью образования комплексов с ионами переходных и тяжелых металлов по методике, разработанной в Институте неорганической химии АН Латвийской ССР [1].

Последующая фильтрация на такие же фильтры изымала из исследуемых вод 96—97 % ионов 24 переходных и тяжелых металлов. Для каждой пробы процедуру повторяли трижды, и получали 6 фильтров (3 — идентичные взвеси и 3 — идентичные растворы) каждый из 1 л воды. Первая пара фильтров «взвесь —

раствор» помещается между стеклянными пластинками, заклеивается, маркируется и хранится для колориметрического анализа.

Вторая пара прокладывается фильтровальной бумагой, маркируется и запаивается в полиэтилен для длительного хранения в банке образцов. Третья пара предназначается в первую очередь для химического анализа, консервируется и хранится так же, как вторая.

Почва. В каждом из пунктов исследований делали полный почвенный разрез, составляли его описание и отбирали пробы почв всех горизонтов в матерчатые (шламовые) мешочки. Разрез фотографировали на диапозитивную цветную пленку. В пределах каждой пробной площади размечали 10—20 площадок размером 0,0625 м^2, где отбирали подстилку и верхние горизонты почвы на глубину $\sim$10 см. Точки отбора почвенных проб входили в свою очередь в площадки несколько большего размера, растительность нижнего яруса которых подробно описывали и брали укосы травяно-кустарничкового покрова. Отобранные пробы почв сушили на воздухе в полевых условиях а затем досушивали в лаборатории на стационаре и в таком виде хранили.

Впоследствии составляли смешанные образцы почв по горизонтам, особенно полно по подстилке и верхним горизонтам почв, где аккумулируется подавляющая часть токсикантов, поступающих из атмосферы. Далее пробы почв исследовали на содержание тяжелых металлов, а также на отражательную способность почв, степень гумусированности, pH и т. д.

Растения. Для сопоставления данных о степени поврежденности растительности разной удаленности от эпицентра выбросов важно проводить исследования в идентичных эколого-фитоценотических условиях, т. е. сравнивать необходимо местообитания, занимающие одинаковое положение в макро- и мезорельефе, одной экспозиции, сходных гидрологических условий и т. д. Выбранный тип биогеоценоза должен отвечать определенным требованиям: иметь одинаковые эдификаторы, сходный растительный комплекс, близкий возраст и, желательно, происхождение. Так, вокруг г. Карабаша наиболее приемлемым явился сосняк разнотравный с примесью березы, а также березняк разнотравный. В каждом из выбранных пунктов производили полное геоботаническое описание, давали характеристику местообитания по его расположению в макрорельефе, с выявлением особенностей гидрологического режима и расположения по отношению к комбинату.

А. Характеристика древесного яруса.

На фиксированной площади однородного лесного фитоценоза размером не менее 625 м^2 производили полный учет видов древесного яруса с измерением высот и диаметров стволов на высоте 1,5 м и затем оценку запасов фитомассы данного яру-

са. Для установления реакции растений на условия внешней среды важно оценить их жизненное состояние. Составлена шкала для определения степени поврежденности древостоя по 5-балльной системе. Учитывали также состав, количество и качество подлеска и подроста с измерением их основных биометрических показателей: высоты, диаметра, проективного покрытия.

Б. Характеристика травяно-кустарничкового и мохово-лишайникового покрова.

В пределах пробной площади закладывали 10—20 площадок размером 0,25 или 1,0 м², расположение которых для объективного распределения исследуемых параметров было крестообразным или Z-образным. На этих площадках проводили точный учет всех видов растений с подсчетом экземпляров каждого вида, определяли общее проективное покрытие и отдельно для каждого вида отмечали среднюю высоту видов и их фенофазу. Фитомассу каждого вида определяли по методу укосов.

Обработка мохово-лишайникового покрова требует особого подхода в силу невозможности оперативного учета количества экземпляров. Поэтому измеряли такие параметры: проективное покрытие, мощность и фитомассу. Дальнейшая работа с полученными данными заключалась в вычислении на их основе различных биологических показателей: показатель разнообразия, вычисляемый по формуле $d_1 = (S - 1)/\lg N$, где S — число видов, N — число особей [3, 5]; показатель видового богатства $d = S/\lg A$ или $d = S/\lg N$, где S — количество видов в описании на площадке стандартного размера, A — размер учетной площадки (м²), N — общее число особей в описании [2]; показатель доминирования $C = \Sigma (n_i/N)^2$, где n_i — оценка значимости каждого вида, N — общая оценка значимости [7]; выровненность видов $e = \bar{H}/\lg S$, где H — показатель Шеннона, S — число видов [6]; шенноновский показатель общего разнообразия $\bar{H} = -\Sigma (n_i/N) \lg (n_i/N)$, где n_i — оценка значимости каждого вида, N — общая оценка значимости, n_i/N — вероятность значимости для каждого вида; показатели сходства и т. д. [4].

В. Отбор образцов растительного материала на химический анализ.

В качестве критериев выбора видов для химического анализа во внимание принимали следующие: 1) хорошую способность накапливать загрязнения; 2) широкое распространение вида, что обеспечивает сопоставление его по биологическим и химическим показателям на точках, разноудаленных от источника выбросов; 3) представительство от основных жизненных форм (деревья, травы, кустарники и т. д.); отражающее вертикальное распределение загрязнений по ярусам; 4) достаточную фитомассу для взятия представительных навесок.

В процессе сбора образцов необходимо тщательно отмечать фенофазу растения и сроки взятия проб, дифференцировать органы, выделяя генеративную и вегетативную фракции. При взятии проб с кроны дерева необходимо отбирать хвою и листву с разных высотных уровней. Растительный образец с исследуемой площади в целом должен представлять собой смешанную пробу от разных особей вида из нескольких однородных местообитаний. Сбор индивидуальных проб, в отличие от смешанных, характеризует мозаичность распределения токсичных металлов в пределах пробной площади. При камеральной обработке, после высушивания и взвешивания укосов по видам, возможно составление общего смешанного образца по травяно-кустарничковому и мохово-лишайниковому покрову в целом для данной точки.

Г. Учет морфологических и анатомических параметров.

Визуально выявляли с дальнейшей фиксацией в спирте особей или их органов, имеющих патологические отклонения. Для количественного определения различий в анатомической структуре хвои из загрязненных и чистых районов отбор проб и последующий анализ проводили в соответствии с методикой, составленной по рекомендации О. Н. Чистяковой (кафедра высших растений МГУ). Сбор проб хвои и листьев древесных пород для получения смешанного образца осуществляли в среднем с пяти деревьев на каждой пробной площади, принадлежащих к одному классу возраста, бонитета и жизненного состояния.

Размеры пробы с одного дерева — в среднем 15—20 хвоинок или листовых пластин. При отборе проб желательно производить дифференцировку растительного материала по высоте расположения в кроне и с учетом ориентировки кроны по отношению к источнику эмиссий. Образцы фиксировали в спирте с учетом возраста хвои и ярусного расположения в кроне дерева. В дальнейшем осуществляли массовые поперечные срезы с выявлением особенностей хвои и листьев в условиях сильного загрязнения и проводили фотофиксацию анатомического материала для обработки на ЭВМ.

Д. Фотоработы.

На черно-белой фотопленке фиксировали площадки размером $0{,}5 \times 0{,}5$ м^2 для дальнейшего планиметрирования и определения проектного покрытия — общего и по видам. На цветную диапозитивную фотопленку снимали общий вид пробной площади, почвенный разрез, фитопатологические отклонения.

Ж. Анализ.

Фильтры поверхностных и дождевых вод исследовали на содержание тяжелых металлов (по методике Е. М. Гельман, п/о Севзапгеология, г. Ленинград). Вначале фильтры в тиглях из стеклоуглерода озоляли в муфельной печи до полного выгорания лавсана. В охлажденный тигель добавляли 2 мл H_2SO_4

(1 : 1) и 3—5 мл HF. Содержимое слабо нагревали до удаления паров O_3, по охлаждении обмывали стенки тигля водой и вновь нагревали до получения влажных солей. По охлаждении в тигли добавляли по 10 мл HCl (1 : 9), накрывали стеклами и 3—5 мин осторожно нагревали до растворения солей. Полученный раствор использовали для распыления в пламени атомно-абсорбционного спектрофотометра.

Элементарный анализ образцов почв и растений выполнен методом энергодисперсионного рентгено-флюоресцентного анализа с радиоизотопным возбуждением образцов типовыми источниками на основе ^{109}Cd общей активностью 10—15 мКюри (по методике С. П. Голенецкого, ИЭМ, г. Обнинск). Вторичное излучение анализируемых препаратов регистрировалось с помощью типового блока детектирования БДРК-1-25 с энергетическим разрешением 270 эВ на линии 5,9 кэВ и анализировали 1024-канальным амплитудным анализатором АИ-1024 с выводом данных на блок цифропечати БЗ-15М-1 и двухкоординатный планшетный регистратор ПДС-021. В качестве основного спектроскопического усилителя и источника питания ППД использовали прибор СЭС-2-03. Интенсивность характеристического излучения изучаемых элементов определяли по высотам фотопиков на аппаратурных спектрах вторичного излучения образцов после их визуального сглаживания. Метрологическое обеспечение достигалось использованием отечественных стандартов почв (СП-1, -2, -3) и растений (СБМ1-01, СБМК-01, СБМП-01), а также искусственных эталонных смесей и препаратов. Пределы обнаружения определяемых элементов при выбранных условиях измерений и экспозиций указаны в соответствующих таблицах.

Препараты для анализа растений приготовляли в виде таблеток с поверхностной плотностью 0,1 г/см^2 путем прессования соответствующей навески сухого растительного материала под давлением 200 атм в течение 5—10 мин. Сухая растертая почва для измерений засыпалась в кювету с тонким дном (майларовая пленка толщиной 1 мкм) слоем 0,4 г/см^2, с уплотнением под давлением 5—10 атм. Во всех случаях информативное «пятно» облучаемого препарата имело размеры порядка 0,5 см^2. Ввиду использования однотипных стандартов поправки на «пересветку» в образцах не вводились. Вносимая при этом дополнительная систематическая ошибка не превышает ± 5 % (относит.).

Результаты исследования

Исследования лесных экосистем по данной методике позволили проиллюстрировать ухудшение качества среды и жизнедеятельности сообщества в условиях сильного загрязнения. Вы-

Таблица 1

Изменение основных характеристик растительности в березняках разнотравных в зависимости от удаления от металлургического комбината (1983—1984 гг.)

Параметр	Контроль, 30 км на запад	Направление, км										
		юго-восточное				северо-западное				северо-восточное		
		3	5	8	12	2	5	8	12	3	5	10
Жизненное состояние березы, баллы	1,5	3,5	3,5	2,5	2,0	3,5	3,0	2,5	1,5	4,0	3,0	2,0
Количество видов, шт	70	6	22	34	58	9	27	36	33	5	22	29
Фитомасса травяного яруса, г сух. веса на 10 м^2	190,0	12,0	27,0	84,5	165,0	1,3	64,5	130,0	227,0	30,0	80,0	179,0
Общее проективное покрытие травяного яруса, %	120	2,5	18,0	32,5	75,0	2,6	41,0	62,5	56,5	3,4	30,6	60,0
Коэффициент сходства с контролем, %	100	10,5	19,6	26,9	37,5	10,1	35,0	34,0	31,0	0,1	23,9	32,3
Мощность подстилки, см	2,0	3,4	2,0	1,5	3,2	4,0	1,9	1,7	2,5	1,8	2,8	1,9

Таблица 2

Микроэлементный состав поверхностных вод, взятых на разном расстоянии от металлургического комбината в 1981 г. ($\times 10^{-9}$ г/г)

Элемент	Предел обнаружения	Направление, км											
		южное		северное		центр	восточное			западное			
		15	30	10	20		5	10	20	5 (а)	5 (б)	30 (а)	30 (б)
Cu взвесь	1,3	—	—	—	3,00	113,00	31,68	19,00	6,79	—	2,5	—	—
раствор	—	—	—	3,32	—	76,80	4,98	4,20	1,50	11,45	9,0	—	1,40
Ni взвесь	1,4	—	—	—	—	11,00	29,43	19,60	9,62	—	—	—	—
раствор	—	—	—	—	—	60,00	45,60	—	—	2,4,	3,00	—	—

Примечание. (—) — ниже предела обнаружения.

Таблица 3

Микроэлементный состав почв (слой A_1), взятых на разном расстоянии от металлургического комбината в 1981 г. ($\times 10^{-5}$ г/г)

Элемент	Предел обнаружения	Направление, км									
		центр	южное	северное	восточное			западное			
			30	10	5	10	20	5	30 (а)	30 (б)	30 (в)
Ti	0,038	0,69	0,32	0,68	0,80	0,21	0,55	0,42	0,75	0,88	0,98
Fe	0,053	6,40	2,80	4,70	7,00	2,50	4,50	2,90	4,00	4,00	7,40
Cr	1,40	82,00	—	65,00	91,00	20,00	49,00	—	58,00	76,00	—
Cu	1,7	250,0	17,00	5,50	36,00	74,00	2,20	11,00	—	5,0	5,7
Zn	1,20	100,0	35,00	12,00	41,00	28,00	7 90	18,00	6,70	11,0	10,00
As	0,44	14,0	6,0	3,80	10,00	9,20	0,87	6,70	0,93	0,12	0,59
Se	0,32	0,42	0,41	—	0,44	0,52	0,51	0,46	0,49	0,42	—
Pb	0,69	17,0	12,00	2,80	3,80	18,00	2,20	4,00	2,20	1,80	2,10
Sr	0,24	17,0	27,00	27,00	20,00	16,00	50,00	54,00	11,00	19,00	36,00
Y	0,26	2,4	1,80	2,90	1,80	3,10	4,20	1,19	3,70	4,40	3,10
Zr	0,17	14,0	14,00	17,0	15,00	13,00	16,00	18,00	30,00	18,00	19,00
Nb	0,10	0,38	2,80	0,29	0,29	—	0,84	0,81	1,10	1,20	0,81
Mo	0,065	0,22	0,25	0,58	—	—	0,11	0,24	0,28	0,50	0,38

Примечание: (—) — не определялось.

Таблица 4

Микроэлементы в листьях вейника ($\times 10^{-6}$ г/г)

Элемент	ПО	Площадка									
		З.2 (фон)	З.1	С.2	С.1	Ю.2	Ю.1	В.1	В.2	В.3	В.4
Cr	2,9	4,0	5,8	—	—	4,0	—	—	—	—	—
Mn	2,0	27	91	42	51	41	28	16	76	10	22
Fe	1,5	11	16	16	13	11	11	20	18	15	18
Ni	0,65	0,95	0,9	0,88	1,1	0,7	—	0,7	1,4	1,5	1,2
Cu	0,6	0,72	4,5	—	—	0,96	2,9	3,4	1,0	0,74	1,1
Zn	0,34	5,6	8,0	3,3	4,2	4,9	3,4	6,6	5,5	4,1	12
As	0,12	0,13	0,32	—	—	—	0,14	—	0,23	—	—
Se	0,09	0,19	—	—	—	0,13	—	0,12	—	—	0,1
Pb	0,29	1,4	1,9	0,94	0,48	0,82	1,2	1,2	0,5	0,54	0,43
Sr	0,14	2,9	2,4	4,6	1,7	4,4	1,0	7,3	1,4	4,2	3,0
Y	0,11	—	0,36	—	—	—	0,19	—	0,3	—	—
Zr	0,09	—	0,2	0,13	0,13	—	0,11	—	0,18	—	0,1
Nb	0,08	0,1	0,92	0,12	0,18	—	—	—	0,21	—	0,08
Mo	0,06	0,091	0,15	—	0,071	—	—	—	0,11	0,31	0,066

Таблица 5

Микроэлементы в листьях березы ($\times 10^{-6}$ г/г)

Элемент	ПО	Площадка									
		З.2 (фон)	З.1	С.2	С.1	Ю.2	Ю.1	В.1	В.2	В.3	В.4
Cr	2,8	—	4,8	6,6	5,4	3,7	—	—	2,9	9,5	3,0
Mn	2,0	22,0	76	100	85	53	123	82	84	33	45
Fe	1,5	8,9	25	15	30	2,5	27	14	39	43	30
Ni	0,65	1,0	1,3	1,3	1,9	—	1,7	2,1	1,0	3,1	1,2
Cu	0,6	1,0	2,5	1,5	1,8	1,4	4,0	2,0	2,3	2,1	—
Zn	0,34	23,0	36	22	18	28	45	46	21	11	12
As	0,12	0,29	0,4	0,41	0,5	—	0,54	0,13	0,38	0,31	—
Se	0,09	—	0,18	0,14	0,11	—	—	—	0,093	0,12	0,61
Pb	0,29	0,69	1,4	0,68	0,47	1,1	1,7	1,3	1,6	0,39	0,62
Sr	0,14	13,0	6,8	8,9	3,4	7,0	3,3	2,1	3,7	13,0	5,7
Y	0,11	—	—	—	—	0,15	—	0,16	0,21	—	0,21
Zr	0,09	—	—	0,26	—	—	—	—	0,2	0,09	—
Nb	0,09	—	—	0,096	0,09	0,14	0,097	—	—	0,14	—
Mo	0,06	—	0,24	—	—	—	0,082	—	—	0,077	0,11

Примечание. ПО — предел обнаружения, (—) — ниже предела обнаружения.

Таблица 6

Микроэлементы в хвое сосны ($\times 10^{-6}$ г/г)

Элемент	ПО	Площадка									
		З.2 (фон)	З.1	С.2	С.2	Ю.2	Ю.1	В.1	В.2	В.3	В.4
Cr	2,8	—	—	3,5	3,2	—	—	—	6,8	—	—
Mn	2,0	57	33	42	50	19	50	12	65	10	15
Fe	1,5	19	32	36	33	38	46	14	35	15	45
Ni	0,65	1,7	1,7	1,4	—	—	0,92	—	1,0	0,83	0,66
Cu	0,6	—	2,7	1,4	2,3	—	3,4	3,9	1,6	—	4,8
Zn	0,34	4,6	12	6,3	8,4	6,5	7,3	14	6,8	3,4	6,7
As	0,12	—	0,42	—	0,2	—	—	1,2	0,23	—	0,33
Se	0,09	0,15	—	—	0,13	0,4	—	0,21	—	0,11	0,18
Pb	0,29	0,38	2,4	0,98	1,4	1,2	2,5	3,2	1,9	0,36	0,68
Sn	0,14	1,8	1,8	1,9	1,2	2,0	0,65	0,9	0,87	0,63	1,4
Y	0,11	—	0,2	0,12	0,19	—	—	0,33	0,28	—	0,12
Zr	0,09	—	—	—	—	0,12	—	—	—	0,12	0,14
Nb	0,08	0,13	—	0,11	0,13	0,093	—	—	—	—	0,091
Mo	0,06	—	0,16	0,082	0,1	0,77	0,44	—	0,073	—	0,068

Примечание. ПО — предел обнаружения, (—) — ниже предела обнаружения.

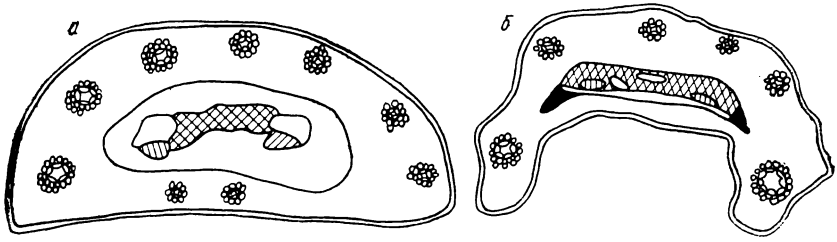


Рис. 1. Различия в анатомическом строении хвои сосны из фонового (*а*) и сильно загрязненного (*б*) районов.

явлены общие закономерности деградации лесных биогеоценозов под воздействием промышленных токсикантов:

1) уменьшение видового разнообразия по направлению к эпицентру зоны, особенно видов травяно-кустарничкового яруса, до полного исчезновения растительного покрова в центре, сопровождающегося интенсивными эрозионными процессами (табл. 1);

2) резкое снижение фитомассы травяно-кустарничкового яруса;

3) замедление темпов разложения подстилки из-за ингибирования деятельности сапрофитов, выражающееся в аномальном накоплении подстилки в районах, прилегающих к центру (см. табл. 1);

4) ухудшение состояния древесного яруса по направлению к источнику эмиссий в соответствии с оценками по 5-балльной шкале жизненного состояния;

5) изменение анатомических структур хвои сосны: при анализе поперечных срезов видна неправильная форма хвои, недоразвитие многих структур (уменьшение числа проводящих пучков, смоляных ходов, редукция флоэмы), по конусам стелл видны сильно развитые некрозы (рис. 1).

Исследовано распределение тяжелых металлов: Zn, Cu, Pb, Cd, Fe, Co, Ni, Mn, Mo, Nb, Sr, Zr, Cr, As, Se и др. в поверхностных и дождевых водах, различных горизонтах почв, в подстилке, в растениях основных жизненных форм и ярусов.

Результаты химического анализа отражены в таблицах 2—6.

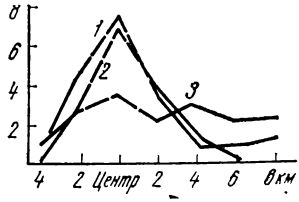
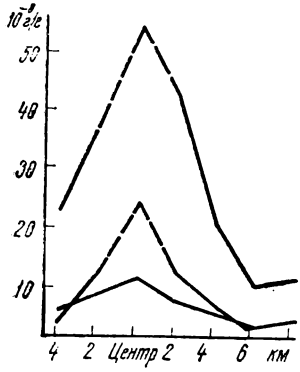


Рис. 2. Содержание меди в растениях ($\times 10^{-6}$ г/г).

1 — в вейнике (листья), *2* — в сосне (хвоя), *3* — в березе (листья).



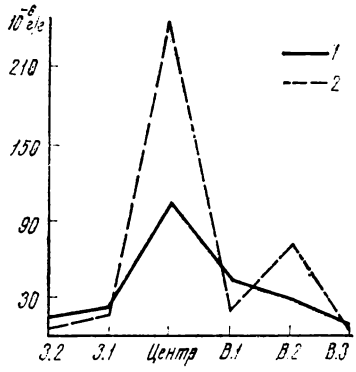


Рис. 3. Содержание цинка в растениях ($\times 10^{-6}$ г/г).
Обозначения те же, что на рис. 2.

Рис. 4. Содержание цинка (1) и меди (2) в верхнем горизонте почвы ($\times 10^{-6}$ г/г).

Распределение токсикантов отражает общую закономерность увеличения их концентраций во всех исследованных объектах по направлению от периферии к центру с локальными нарушениями этой закономерности, обусловленными влиянием соседних промцентров (рис. 2—5).

Полученные результаты позволяют провести предварительное зонирование исследуемой территории с точки зрения ее хозяйственного использования: 1—3 км — импактная зона, проживание и всякая хозяйственная деятельность нежелательны; 3—15 км — буферная зона, ограниченное сельскохозяйственное использование; 15 км и далее — постепенный выход на местный региональный фон, достаточно загрязненный.

Проведенные исследования позволяют наметить методические подходы к оценке степени деградации лесных биогеоценозов под влиянием промышленных загрязнений. Помимо описанных выше объектов, в будущем нами будут охвачены снега, атмосферный воздух, животные разных систематических групп и трофических уровней, в том числе беспозвоночные малых и временных пресноводных водоемов. В итоге может быть получена достаточно полная картина распределения промышленных токсикантов в окружающей среде.

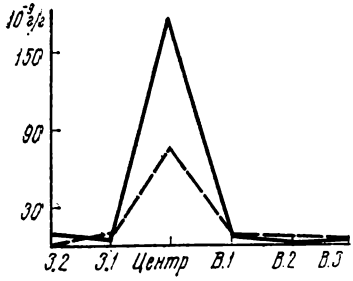


Рис. 5. Содержание микроэлементов в поверхностных водах ($\times 10^{-9}$ г/г).
Обозначения те же, что на рис. 4.

ЛИТЕРАТУРА

1. Веверис О. Э., Вирцавс М. В., Калниня З. Б. Нейтронно-активационный анализ морской воды с использованием предварительного концентрирования тяжелых металлов соосаждением С8, 8′-дихинолилдисульфидом.— Изв. АН Латв. ССР, 1974, № 4, с. 426—431.

2. Уиттекер Р. Сообщества и экосистемы/Пер. с англ. М.: Прогресс, 1980, с. 80.

3. Margalef R. Information theoru in ecology.— Gen. Syst, 1958, N 3, p. 36—51.

4. Margalef R. Perspectives in Ecological theory.— University of Chicago Press. Chicago, 1968. 112 p.

5. Odum H. T., Cantlon J. E., Kornicker L. S. An organizational hierarchy postulate for the interpretation of species-individuals distribution species entropy and ecosystem evolution and the meaning of a species-variety index.— Ecology, 1960, v. 41, p. 395—399.

6. Pielou E. C. The measurement of diversity in different types of biological collections.— J. Theoret. Biol., 1966, v. 13, p. 131—144.

7. Simpson E. H. Measurement of diversity.— Nature, 1949, N 163, p. 688.

АКАДЕМИЯ НАУК СССР УРАЛЬСКИЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР

ПОГРАНИЧНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ЭКОЛОГИИ · 1986

Т. Н. ВЕРЕЩАГИНА, Р. Г. КУПЕРМАН, А. М. СТЕПАНОВ

ПОЧВЕННЫЕ ЖЕСТКОКРЫЛЫЕ (МЕЗОФАУНА) КАК ВОЗМОЖНЫЕ ИНДИКАТОРЫ ПРОМЫШЛЕННОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Регулярных комплексных исследований фонового загрязнения биогеоценозов промышленными токсикантами, включающих изучение всех компонентов (вод, почв, растений, животных и т. д.), охватывающих всю территорию СССР на основе единой методики, не проводилось до сих пор. В настоящей статье предпринимается попытка разработать методику изучения влияния загрязнения окружающей среды на материале беспозвоночных животных на ограниченном числе строго определенных групп, которая является составной частью комплексной методики изучения фонового загрязнения биосферы.

Для ряда видов беспозвоночных, живущих в почве, доказана положительная связь между содержанием в теле микроэлементов и концентраций металлов в окружающей среде [13, 31, 33]. У жуков из семейства Carabidae, Scarabaeidae, Buprestidae, Cerambycidae выявлена прямая зависимость между содержанием в теле свинца с уровнем загрязненности среды этим элементом в придорожных экосистемах [9, 40]. Показана способность дождевых червей аккумулировать в своем теле ряд микроэлементов, в том числе и кадмий [38]. Таким образом, почвенные беспозвоночные (мезофауна) вполне могут быть использованы при комплексных исследованиях по загрязнению биосферы тяжелыми металлами на фоновом уровне [6].

В связи с особенностями методов сбора материала и методик определения содержания тяжелых металлов в теле беспозвоночных выбор объекта при таких исследованиях не может быть произвольным, и объект-индикатор (вид или группа видов) должен удовлетворять следующим критериям:

1. Достаточная для проведения анализа масса пробы.

Для определения относительно небольшого числа микроэлементов (Pb, Mn, Zn, Cd, Fe, Co, Ni, Cu) необходимо 0,5 г золы. Содержание воды в теле различных групп почвенных беспозвоночных колеблется от 40 до 90 % [34]. Таким образом, сырой вес навески (одной пробы) должен составлять 1—5 г.

Для повышения достоверности результатов необходима серия проб, что еще увеличит исходный сырой вес (до 15—20 г). Это ограничивает выбор индикаторов теми видами, численность и биомасса которых в пределах всего района исследований достаточно высока.

2. Широкий ареал.

Для получения сравнимых результатов из разных географических точек необходимо, чтобы объект был представлен на всей территории исследований и входил в состав почвенных комплексов в различных биотопах. При сборе материала в импактных зонах промышленных предприятий желательным является проведение работ в биоценозах, находящихся на одной и той же стадии сукцессии. В противном случае трактовка результатов будет затруднена.

3. Видовые особенности накопления микроэлементов.

3.1. Межвидовые различия в накоплении микроэлементов изучены крайне недостаточно. Данные по нескольким видам почвенных жуков и некоторых других беспозвоночных свидетельствуют о специфичности видов как концентраторов химических элементов [13, 29]. Изучение трех близких видов мертвоедов (Coleoptera, Silphidae) рода *Silpha* показало, что в большинстве случаев межвидовой размах отличий по содержанию микроэлементов значительно меньше диапазона географической изменчивости уровня микроэлементов в теле жуков этих видов [13]. Однако большая часть видов почвенных беспозвоночных остается неизученной в этом отношении, и полностью пренебречь межвидовыми различиями в накоплении микроэлементов нельзя. Критерий ограничивает выбор объекта либо одним видом, либо группой с равным качественным и количественным соотношением видов.

3.2. Различия в накоплении химических элементов на разных стадиях жизненного цикла. При сравнении содержания микроэлементов у взрослых особей и у личинок насекомых были обнаружены различия как в качественном, так и в количественном их соотношении. Так, имаго щелкуна *Agriotes medvedevi* Dolin имели более ограниченный набор микроэлементов, чем личинки; для божьей коровки *Coccinella septempunctata* L. установлены различия в содержании микроэлементов у личинок, куколок и имаго [28]. Эти различия, связанные с разными биохимическими потребностями животных на разных стадиях жизненного цикла, могут существенно влиять на суммарную оценку содержания загрязнения без учета этого критерия.

3.3. Различия в накопительной способности химических элементов особями разных полов одного вида. Для водных жуков показаны существенные половые различия в накоплении тяжелых металлов [10]. Вероятно, что эта закономерность будет обнаружена и у других видов, поэтому ее также надо учиты-

вать при анализе: желательно выбирать особей одного пола или в равных пропорциях самцов и самок.

3.4. Различия в скорости развития разных популяций одного вида в разных частях ареала. Многие виды насекомых в разных частях ареала имеют разные сроки развития и число поколений (от одного на севере до двух-трех на юге). Различия в сроках развития могут достигать нескольких лет (например, личинки майского хруща, личинки щелкунов). Соответственно период накопления тяжелых металлов у особей из разных популяций будет различным. Возможно, это окажет влияние на результат при анализе.

4. Трофический уровень.

Изучение биогенной миграции элементов в трофических цепях показало, что их накопление на разных уровнях идет поразному. Так, наибольшее количество радиоактивных элементов накапливается в конечных звеньях, на завершающем трофическом уровне хищников [19]. Аналогично идет накопление и тяжелых металлов. Так, хищные жужелицы накапливают свинца больше, чем растительноядные виды златок, усачей и пластинчатоусых [9]. Наиболее перспективными для анализа являются хищники-полифаги. Материал по таким видам почвенных беспозвоночных может быть полезен при сравнении аналогичных данных по млекопитающим и птицам — конечным звеньям цепи.

5. Отсутствие у объекта сильных колебаний численности, что позволяет проводить исследования в разные годы и корректно сопоставлять (или суммировать) данные за ряд лет.

6. Оседлость.

Требование выполняется достаточно легко. Почвенные беспозвоночные, как правило, обитают на одном и том же участке и не способны к интенсивной миграции ни в одной из фаз жизненного цикла.

7. Принадлежность к естественным сообществам, не связанным с человеком.

8. Простота и доступность методов исследований.

Анализ критериев показывает, что основная трудность — сбор массового материала одного вида с достаточной биомассой.

Обзор мезофауны подстилки и почвы лесной зоны СССР

К мезофауне относят довольно крупных почвообитающих беспозвоночных, хорошо заметных невооруженным глазом и учитываемых методом ручной разборки почвенных проб [3]. Наиболее обычными и массовыми группами являются малощетинковые черви семейства Lumbricidae, двупарноногие и губоногие многоножки и насекомые (в основном жуки и личинки других отрядов).

Район комплексных исследований промышленного загрязнения охватывает всю лесную зону европейской части СССР и включает большое разнообразие биотопов от северной тайги (Мурманская область) до широколиственных лесов на юге. Климатические условия, особенности почвы и растительности определяют значительные различия в видовом составе и численности почвенной мезофауны в различных точках лесной зоны. Наиболее бедной в видовом отношении и численности является зона тайги на севере, где животные встречаются в самом верхнем слое подстилки, не глубже 10 см, а их общая биомасса достигает лишь 10—20 г/м^2 [18]. К югу, с увеличением мощности гумусового слоя, возрастает численность и видовое разнообразие животных. В широколиственных лесах на серых лесных почвах и лесных буроземах численности и биомасса мезофауны максимальны (биомасса только дождевых червей достигает 200 г/м^2) [27].

Многоножки (класс Myriapoda). Постоянные компоненты мезофауны как подстилки, так и верхних горизонтов почвы на всей территории лесной зоны СССР. Наиболее обычны представители двух классов: Diplopoda — двупарноногие и Chilopoda — губоногие. Численность двупарноногих многоножек в лесах ниже, чем губоногих. Diplopoda питаются опадом, их пищевая активность способствует быстрой минерализации растительных остатков в почве, Chilopoda хищничают. Обе группы относятся к кальцефилам (накапливают Са в покровах, причем более половины веса их тела приходится на долю извести).

Двупарноногие (подкласс Diplopoda). В СССР известно 52 вида диплопод [25]. Фауна диплопод европейской части, начиная от тайги и включая широколиственные леса, однородна и представлена комплексом широко распространенных лесных видов. С севера на юг количество видов и численность увеличиваются [25]. Диплоподы относятся к тупиковому звену трофической цепи [20]. В лесной зоне наиболее обычны три вида: *Polyzonium germanicum* — широко распространенный влаголюбивый вид, однако на севере отмечен лишь до 63° с. ш. Численность его довольно низка: так, в средней тайге Коми АССР он очень редок [21], в Ильменском заповеднике его численность составляет 1,3 экз/м^2 [17]. *Sch. sabilosum* и *S. kessleri* — эвритропные виды европейской фауны, однако на севере встречаются единично.

Таким образом, диплоподы не удовлетворяют 1, 2 и 4-му критериям и вряд ли могут быть использованы для анализа.

Губоногие (подкласс Chilopoda). Среди хилопод в лесной зоне преобладают виды большого отряда костянок (Lithobiomorpha). Они типичные хищники, днем ведут скрытый образ жизни, появляются на поверхности в ночное время. Распространены во всех зонах, за исключением пустынь [14]. Числен-

ность их различна: так, в Брянском лесном массиве численность костянок составляет 19,1 экз/м² [23]; по данным В. Я. Шиперовича [37], численность костянок в Ветлужском районе составляет 20 экз/м², биомасса 1,10 г/м². В Среднем Поволжье численность литобиид составляет 33—60 экз/м² [1], в сосновых лесах Белоруссии наибольшая их численность составила 15,5 экз/м² [35]. Однако из многих видов костянок, отмеченных в лесной зоне СССР, только *Monotarsobius curtipes* C. Koch. идет далеко на север. Это самый распространенный и многочисленный вид в стране, особенно в европейской части. На востоке его ареал идет до Алтая, а на севере он встречается и за Полярным кругом. Численность этого вида в Ильменском заповеднике составляет 1,0—4,2 экз/м² [17]; по данным Кандалакшского заповедника, на острове Ряжкове (Мурманская область) она достигает 32 экз/м². Процент сухого вещества в живой массе у костянок составляет 29,7 % [22]. *Monotarsobius curtipes* удовлетворяет почти всем критериям для выбора индикатора. Наибольшее затруднение могут вызвать критерий 1 и, возможно, в более южных областях — необходимость отличать *M. curtipes* от других видов (например, рода *Lithobius*). В целом этот вид вполне пригоден для анализа.

Насекомые (класс Insecta). Как взрослые, так и личинки — постоянный компонент мезофауны подстилки и верхних горизонтов почвы. Представители большинства отрядов (98 % видов) связаны с почвой и подстилкой либо облигатно, либо проводят в них часть жизненного цикла.

Из рассматриваемых нами групп приходится исключать представителей первичнобескрылых насекомых — коллембол, играющих активную роль в разложении растительных остатков в почве и представляющих одну из наиболее многочисленных и широко распространенных групп почвенного населения. Во-первых, это связано с недостаточной продолжительностью их жизни. В лабораторных условиях было показано, что у представителей Hypogastrura она около двух месяцев, а у зимующих особей примерно год. Во-вторых, показатели биомассы коллембол невелики. В-третьих, учет микроартропод требует специальных методов и оборудования, усложняющего насыщенную комплексную программу.

Из всего многообразия видов наиболее многочисленны две группы: жуки (отряд Coleoptera) и двукрылые (отряд Diptera).

Отряд Coleoptera. Из связанных с почвой жуков наиболее обычны и встречаются практически во всех типах почв представители трех семейств: Carabidae, Staphylinidae и Elateridae, менее обычны Curculionidae и Scarabaeida; особую группу некрофагов представляет семейство Silphidae.

Семейство Carabidae. Многочисленное семейство (250 тысяч видов в мировой фауне) в основном хищных жуков. Жу-

желицы — обычные обитатели лесной подстилки, верхних слоев почвы. Большинство видов — многоядные хищники; легко учитываются методом ручной разборки проб и сбором в банки-ловушки. В пределах лесной зоны европейской части СССР встречаются представители многих крупных родов, таких как *Carabus, Pterostichus, Amara, Calathus*. Однако в ряде случаев разделение видов затруднено, численность отдельных видов и даже всего семейства в целом невысока (так, в березняках Белоруссии она составляет 22 экз/м^2 [35]). В то же время видовой состав лесных ассоциаций в пределах района исследований весьма различен. В пределах всей лесной зоны (от Мурманской области до Забайкалья) в различных лесных ассоциациях, на предклимаксных стадиях и в климаксе отмечен лишь *Calatus micropterus* Duft. Численность этого вида даже в Мурманской области составляет 6—10 экз/м^2. *C. micropterus* удовлетворяет всем критериям для выбора индикатора (наибольшие затруднения может вызвать сбор массового материала). Живой вес одного жука примерно 15 мг, следовательно, для получения 1 г золы (при 40 % сухого веса) потребуется около 150 экземпляров жуков.

Наиболее удобными (удовлетворяющими критерию 1) для анализа являются крупные виды рода *Carabus*, которые концентрируют тяжелые металлы в значительных количествах [9]. Благодаря их крупным размерам (вес до 1 г) для анализа достаточно всего нескольких экземпляров. На севере лесной зоны встречается лишь один крупный вид — *Carabus glabratus*, численность которого весьма низка (в Мурманской области — 0,5 экз/м^2).

В отношении жужелиц, по-видимому, можно не учитывать межвидовые различия и использовать суммарные данные по лесным видам рода *Pterostichus (Pt. oblongupunctatus* F., *Pt. melanarius* Jll., *Pt. diligens* Sturm., *Pt. strenuus* Pz.). Однако в целом это может дать результаты, несравнимые для севера и более южных районов, где видовое разнообразие значительно больше.

Жужелицы — важная группа почвенных беспозвоночных для оценки накопления тяжелых металлов, поскольку многие из них являются макроконцентраторами цинка (114—145 мг/кг сухого веса), меди (7—62), кобальта (2—3), молибдена (1—2). По отношению к свинцу они являются микроконцентраторами (1—3) [12]. Приведенные А. В. Жулидовым данные подтверждают в отношении жужелиц наше предположение о том, что при оценке аккумуляции тяжелых металлов в организмах животных выбранных нами групп можно пренебречь видовыми особенностями. Так, концентрация в 1977—1980 гг. для трех из пяти исследованных видов *(Carabus cancellatus, C. globratus, Pterostichus nigrata)* оказались одинаковой (1,8 мг/кг сухого веса).

Семейство Staphilinidae. Многочисленное семейство жуков, представители которого обитают в самых разнообразных биотопах. Большая часть видов стафилинов, как и жужелицы, живут в подстилке и верхних слоях почвы. Большинство — хищники, ряд видов — сапро- или мицетофаги. Многие виды служат индикаторами определенных растительных ассоциаций — стадий экзогенетической сукцессии, имеют широкий, охватывающий всю лесную зону ареал (например, виды родов *Philonthus, Stenus, Oxypoda, Atheta*). Большинство почвенных стафилинид имет мелкие размеры, сложны для определения (особенно виды подсемейства Aleocharinae). Поэтому использование отдельных видов для анализа практически невозможно.

Семейство Elateridae. Щелкуны — крупное семейство жуков, их личинки — проволочники — обитают в почве, подстилке, гниющей древесине. Большинство личинок — сапрофаги, отмечена тенденция к хищничеству и некрофагии; многие виды — фитофаги. Жизненный цикл длится обычно 3—5 лет, у более мелких видов — один год. Ряд видов обладает широким ареалом и встречается по всей лесной зоне европейской части СССР. Численность проволочников довольно высока: так, в сосновых лесах Белоруссии, где отмечено 14 видов, численность их составляет 62,7 экз/м^2, биомасса достигает 733,6 мг/м^2 [35]. Среди эвритопных и обладающих значительной численностью видов с широким ареалом следует отметить следующие: *Selatosomus seneus* L. — личинка сапрофаг, нередко хищничает, предпочитает легкие песчаные почвы; *Dolopius marginatus* L.— личинки всеядны, встречаются по всей лесной и лесостепной зоне [7]; *Athous subfuscus* Mill — личинки связаны с гниющей древесиной (трухлявыми пнями, остатками стволов) и также встречаются по всей лесной зоне; *Prosternon tessalatum* L.— для личинок характерна некросапрофагия, ареал охватывает всю лесную и лесостепную зоны; *Athous haemorrhoidalis* F.— личинки хищники и некрофаги, встречаются на территории европейской части и на юге Западной Сибири; *Sericus brunneus* L.— личинки обитают в лесной подстилке, подо мхом, облигатные фитофаги, ареал охватывает лесотундру и всю лесную зону Евразии [7].

Проволочники широко распространены на территории СССР. Они имеют циклы развития продолжительностью 4—5 лет. Достаточно высокая численность личинок щелкунов позволяет набирать материал в количествах, необходимых для химического анализа, но разделение личинок по видам затруднено, кроме того, выбор одного вида для анализа может вызвать большие затруднения со сбором необходимой биомассы.

Семейство Silphidae. Мертвоеды — довольно крупные (7—39 мм) жуки, относящиеся к группе некрофагов. Развитие связано с трупами позвоночных животных, которые взрослые жуки, после откладки на них яиц, закапывают в почву. Личин-

ки питаются разлагающимися тканями. В европейской части известно более 30 видов. Три вида рода *Silpha* были изучены с точки зрения накопления тяжелых металлов [13].

Виды родов *Silpha* и *Necrophorus* отличаются крупными размерами (от 11 до 24 мм), часто слетаются на трупы млекопитающих (вполне удовлетворяет критерию 1). Такие виды, как *Silpha carinata* Herbst. и *Necrophorus vespillo,* распространены по всей лесной зоне. Разделение видов не составляет труда. Таким образом, эти два вида вполне могут быть использованы для анализа.

Отряд Diptera. Личинки многих видов мух из семейств Bibionidae, Tipolidae, Asilidae, Rhagilinidae обитают в почве и подстилке, где играют важную роль в размельчении органических веществ почвы и стимуляции ее дальнейшего распада. Ограничивающими факторами распространения личинок являются влажность и пища. Лишь немногие виды (например, из семейства Stratiomydae) способны переносить засуху. Численность личинок мух местами в лесной почве составляет до 82 экз/м^2 [39]. Но слишком рассеянное распределение затрудняет их использование для анализа.

Отряд Hymenoptera. В отряде перепончатокрылых к группе поверхностных подстилочно-напочвенных обитателей относятся муравьи (семейство Formicidae). Муравьи в настоящее время еще в недостаточной степени являются объектами почвенно-зоологических исследований. В ряде случаев участие этой группы насекомых в почвообразовании вообще игнорируется. Вместе с тем их роль в почвообразовании и в биоценозе в целом, как правило, настолько значительна, что исключение их из учетов не может не сказываться на общих оценках.

Значительность роли муравьев в биоценозах обусловлена высокой численностью и биомассой данных насекомых. В развитых комплексах рыжих лесных муравьев *Formica rufa* L. плотность населения может достигать величин порядка 1,5—2,0·10^7 особей или свыше 100 кг свежей биомассы на 1 га [15]. Они всеядны; благодаря высокой численности и активной жизнедеятельности оказывают значительное влияние на водопроницаемость почвы, температурный режим, переработку органики и структуру биоценоза в целом. Один из видов — *Formica rufa* L.— рыжий лесной муравей удовлетворяет всем критериям вида, предлагаемого для анализа: высокая численность дает возможность без труда набрать необходимую биомассу даже на севере, а его ареал охватывает всю лесную зону европейской части СССР.

Пауки (класс Arachnida, отряд Araneae). Постоянные обитатели подстилки и почвы. Большинство видов — хищники, питающиеся в основном (на 90 %) насекомыми: двукрылыми, тлями. Численность в лесах довольно высокая (50—150 экз/м^2 в сосняках Белоруссии) [35], но подстилочные и почвенные виды представлены мелкими формами, сырой вес которых составляет

доли миллиграмма. Разделение видов затруднено в связи с неразработанностью систематики. Таким образом, эта группа не удовлетворяет основным критериям для выбора вида-индикатора.

Брюхоногие моллюски (класс Gastropoda). Большинство видов наземных моллюсков — стенотопные, экологически специализированные формы. Многие виды растительноядны или мицетофаги. Почвообитающие и подстилочные виды имеют мелкие размеры. В лесной зоне встречается 105 видов из 18 семейств [24]. Некоторые имеют широкий ареал. Численность низкая: так, в сосняках на севере Белоруссии суммарная численность составляет 5,7 экз/м^2. Малая встречаемость, локальное распределение, связь с известковыми почвами и трудность определения видов делают эту группу малопригодной для анализа.

Методика сбора и фиксации почвенной мезофауны

Для изучения почвенной фауны используются метод разборки почвенных проб и различные варианты почвенных ловушек.

1. Методика отбора и анализа почвенных проб для учета крупных беспозвоночных и мелких членистоногих разработана и принята уже давно [3], а в настоящее время достаточно унифицирована. Наиболее универсален метод послойной выкопки и разборки проб почвы. Во влажное время года и во влажных районах оптимальным размером пробы следует признать 0,25 м^2 (50 см×50 см). В аридных районах в сухие периоды года размеры отдельной пробы приходится увеличивать до 1 м^2 (100 см×100 см), а иногда и до 2 м^2 (100 см×200 см), поскольку в таких условиях беспозвоночные уходят на значительную глубину, а вырыть яму с отвесными стенками при малой площади пробы невозможно [5]. В отдельных случаях можно ограничиться площадью 0,06 м^2 (25 см×25 см), но тогда необходимо увеличить число повторов до 20—30 проб с одной точки исследования.

Для учета всех групп крупных почвенных беспозвоночных (дождевые черви, многоножки, насекомые на разных стадиях развития и т. д.) ручная разборка проб на месте в полевых условиях — метод, дающий наиболее объективные данные о порядке численности и соотношении встречаемости отдельных таксонов и экологических групп. Именно данные, полученные при ручной разборке проб почвы, оказываются наиболее сопоставимыми при сравнительных зональных и региональных исследованиях. Подробное описание методики дано М. С. Гиляровым [5].

2. Для относительного метода учета напочвенных беспозвоночных применяются ловчие банки (0,5 л) с фиксирующей жидкостью (ловушки Барбера) [41]. Метод позволяет учитывать не реальную плотность популяции каждого вида на площади, а лишь динамическую ее плотность, т. е. число особей, пересекаю-

щих в единицу времени линию определенной длины (поперечник банки, длина ловчей канавки). Динамическая плотность, естественно, выше у более подвижных форм, т. е. пропорциональна произведению численности на двигательную активность [32].

В качестве фиксатора используется 2—4-процентный раствор формалина. Ловушки врываются в землю на расстоянии 10 м одна от другой в одну или две линии. На одной пробной площади достаточно врыть 10 ловушек.

3. Подстилочные формы (черви, проволочники) собираются с помощью прикопок и дополнительной разборки подстилки неограниченной площади до тех пор, пока не наберется достаточная масса по каждой из перечисленных групп.

Активные, подвижные формы (жужелицы, муравьи, мертвоеды) собираются с помощью дополнительной линии ловушек. Для увеличения уловистости роют крестообразные канавки длиной 1 м с банкой в месте пересечения. В часть ловушек помещается приманка (гниющее мясо), однако размещать ловушки с приманкой ближе 20 м одна от другой нецелесообразно, поэтому лучше чередовать ловушки пустые и с приманкой. Поскольку при сборе материала для химического анализа не стоит применять фиксирующие жидкости, выборку ловушек нужно производить один раз в 2—3 дня. Подробное описание учета почвенных беспозвоночных ловушками и канавками дано А. Л. Тихомировой [32].

4. Очень важной частью работы по определению химического состава биологических материалов является подготовка пробы к анализу. Собранный для химических анализов материал необходимо тщательно очистить от примесей. Кишечники беспозвоночных должны быть освобождены от содержимого. Это достигается или выдерживанием животных без пищи во влажной ткани в течение 1—2 сут или, по методу Буше, проталкиванием капроновой лески с оплавленным концом через пищевод (дождевые черви, проволочники). Высушивание проводится в бумажных пакетах в сушильном шкафу при температуре $\leqslant 105\,^{\circ}C$ до постоянного веса. Насекомых и кивсяков перед этим замаривают эфиром, а дождевых червей, слизней подсушивают в бюксах с сухой фильтровальной бумагой, а затем переносят в почвенные стаканчики. Пробы можно сушить и при температуре $50\,^{\circ}C$, но это удлиняет время сушки. При $105\,^{\circ}C$ постоянный вес пробы величиной 200 мг живого веса достигается примерно через 6 ч [29].

Заключение

Обзор основных групп почвенной мезофауны показывает, что выбор объекта для анализа содержания тяжелых металлов крайне затруднен. К объектам, которые удовлетворяют почти всем необходимым критериям, можно отнести следующие семь

видов: *Dendrobaena octaedra, Monotarsobius curtipes, Calathus micropterus, Carabus glabratus, Silpha carinata Necrophorus vespillo, Formica rufa.* Однако набрать необходимую биомассу по всем этим видам практически трудно.

Существует два пути для разрешения возникших препятствий:

1. Изменение условий работы; а) увеличение ее сроков до тех пор, пока не будет собран необходимый для анализа материал; б) интенсификация исследований за счет увеличения числа специалистов; в) ограничение точек работы и проведение сбора материала с учетом всех критериев (например, только в двух местах).

2. Нарушение критерия 3 — использование для анализа крупных групп (например, в объеме семейства).

При достаточном материально-техническом обеспечении предпочтительнее путь 1 (а, б), связанный с возрастанием объема работ, но сохранением полноты информации. Выбор путей 1 (в) и 2 обеспечивает ускорение темпов работы за счет потери части или возможного искажения информации. Выбор того или иного пути должен определяться конкретными задачами и возможностями их выполнения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Алейникова М. М. Почвообитающие беспозвоночные различных типов леса в Среднем Поволжье.— В кн.: Материалы по фауне и экологии почвообразовательных беспозвоночных. Казань, 1968, с. 3—97.

2. Аподиакос Н. Ф., Голубев С. Н., Нгуен Дык Кхъем, Пономаренко А. В. О содержании микроэлементов в организме насекомых.— В кн.: Проблемы почвенной зоологии. М., 1966, с. 15—16.

3. Гиляров М. С. Методы количественного учета почвенной фауны.— Почвоведение, 1941, № 4, с. 48—77.

4. Гиляров М. С. Зоологический метод диагностики почв. М.: Наука, 1965. 275 с.

5. Гиляров М. С. Учет крупных почвенных беспозвоночных (мезофауны).— В кн.: Методы почвенно-зоологических исследований. М., 1975, с. 12—30.

6. Гиляров М. С. Почвенные беспозвоночные как индикаторы почвенного режима и его изменений под влиянием антропогенных факторов.— В кн.: Биоиндикация состояния окружающей среды Москвы и Подмосковья. М., 1982, с. 8—12.

7. Долин В. Г. Определитель личинок жуков-щелкунов фауны СССР. Киев: Урожай, 1978. 126 с.

8. Жулидов А. В. Содержание некоторых микроэлементов в теле жуков.— Экология, 1980, № 3, с. 91—93.

9. Жулидов А. В., Емец В. М. Накопление свинца в теле жуков в условиях загрязнения среды их обитания выхлопными газами автомобилей.— Докл. АН СССР, 1979, т. 244, № 6, с. 1515—1518.

10. Жулидов А. В., Емец В. М. О половых различиях в накоплении тяжелых металлов у водных жуков.— Журн. общ. биологии, 1981, т. 42, № 4, с. 583—585.

11. Жулидов А. В., Емец В. М., Шевцов А. С. Биомониторинг загрязнения рек тяжелыми металлами в заповедниках на основе накопления

металлов в теле водных беспозвоночных.— Докл. АН СССР, 1980, т. 252, № 4, с. 1018—1020.

12. Жулидов А. В. Экологические особенности накопления тяжелых металлов животными в Европейской лесостепи: Автореф. канд. биол. наук. М.: ИЭМЭЖ, 1982.

13. Емец В. М., Жулидов А. В. Географическая изменчивость содержания некоторых химических элементов в теле жуков-мертвоедов (Coleoptera, Silphidae) рода *Silpha* L.— Экология, 1982, № 1, с. 51—57.

14. Залесская Н. Т. Определитель многоножек-костянок СССР. М.: Наука, 1978, с. 1—211.

15. Захаров А. А. Учет муравейников и термитников.— В кн.: Методы почвенно-зоологических исследований. М., 1975, с. 86—100.

16. Золотарева Б. Н., Скрипниченко И. И. Геохимические аспекты мониторинга тяжелых металлов в почвах.—В кн.: Региональный экологический мониторинг. М., 1983, с. 93—114.

17. Коробейников Ю. И. Структура населения почвообитающих беспозвоночных в сосново-березовых лесах Ильменского заповедника: Автореф. ... канд. биол. наук. Свердловск, 1977.

18. Криволуцкий Д. А. Животный мир почвы. М.: Знание, 1969. 47 с.

19. Криволуцкий Д. А., Тихомиров Ф. А. Действие радиоактивного загрязнения среды на насекомых и других членистоногих.— В кн.: Доклады на 26 ежегодном чтении памяти Н. А. Холодковского. Л., 1974, с. 49—68.

20. Криволуцкий Д. А., Покаржевский А. Д., Михальцова З. А. Роль наземных и почвенных беспозвоночных в биогенной миграции зольных элементов и ее особенности в Подмосковье.— В кн.: Биоиндикация состояния окружающей среды Москвы и Подмосковья. М., 1982, с. 82—91.

21. Крылова Л. П. Почвенная мезофауна разных типов леса средней тайги Коми АССР: Автореф. ... канд. биол. наук. М., 1974.

22. Кудряшова И. В. Численность и биомасса (весовая и энергетическая оценка) почвообитающих беспозвоночных в широколиственном лесу.— Журн. общ. биол., 1973, т. 34, № 3, с. 417—424.

23. Лавров М. Т. Фауна лесных почв и пути ее формирования. М.: Лесн. пром-сть, 1968. 119 с.

24. Лихарев И. М. Наземные моллюски (лесной зоны).— В кн.: Животный мир СССР. М., 1953, т. 4, с. 566—576.

25. Локшина И. Е. Характер распределения многоножек в пределах русской равнины.— В кн.: Проблемы почвенной зоологии. М., 1966, с. 82—83.

26. Перель Т. С. Различия организации разных представителей дождевых червей в связи с особенностями их экологии.— В кн.: Адаптация почвенных животных к условиям среды. М., 1977, с. 129—144.

27. Перель Т. С. Распространение и закономерности распределения дождевых червей фауны СССР. М.: Наука, 1979. 265 с.

28. Пономаренко А. В., Труфанов Г. В., Голубев С. Н. Микроэлементы в организме наземных беспозвоночных.— Экология, 1974, № 3, с. 94—96.

29. Покаржевский А. Д. Методы исследования зольного состава почвенных животных.— В кн.: Методы почвенно-зоологических исследований. М., 1975, с. 248—260.

30. Покаржевский А. Д. Участие почвенных животных в биологической миграции зольных элементов в лесостепи: Автореф... канд. биол. наук. М.: ИЭМЭЖ, 1978.

31. Покаржевский А. Д., Жулидов А. В. Химический состав почвенных позвоночных из разных частей ареала.— В кн.: Материалы III Всесоюзного совещания «Вид и его продуктивность в ареале». Вильнюс, 1980, с. 33—35.

32. Тихомирова А. Л. Учет напочвенных безспозвоночных.— В кн.: Методы почвенно-зоологических исследований. М., 1975, с. 73—85.

33. Томшин А. Т. Содержание микроэлементов у насекомых отряда

чешуекрылых, обитающих в различных экологических условиях: Автореф... канд. биол. наук. Красноярск, 1974.

34. Чернов Ю. И. Основные синэкологические характеристики почвенных беспозвоночных и методы их анализа.— В кн.: Методы почвенно-зоологических исследований. М., 1975, с. 160—216.

35. Хотько Э. И., Ветрова С. Н., Матвеенко А. А., Чумаков Л. С. Почвенные беспозвоночные и промышленные загрязнения. Минск: Наука и техника, 1982. 264 с.

36. Шилова Е. И., Журик Л. В. К характеристике методов учета численности и массы почвенной фауны.— Почвоведение, 1949, № 10, с. 603—610.

37. Шиперович В. Я. Почвенная фауна в различных типах леса.— Зоол. ж., 1937, т. 16, вып. 2, с. 301—309.

38. Anderson K. Lead and Cadmium content in earthworms from sevage slude emended arable soil.— In: Soil Zool. Collog. Syracuse. N. Y.: Progr. a. Abstr., 1979, p. 2.

39. Arnoldi K. V., Ghilarov M. S. Die wirpellosen im Boden und in der Besonderheiten der Boden und Pflanzendecke der Waldsteppenzone.— Pedobiologia, 1963, Bd 2, N 3, S. 183—222.

40. Maurer R. Die vielfalt der kàfer — und Spinnen fauna des Wiesenbtoden im Einflu bereich von Verkehrsimmissionen.— Oecologia, 1974, N 14, S. 327—351.

41. Barber H. Traps for cave-inhabiting insects.— J. Elisha Mitchell Sci. Soc., 1931, v. 46, p. 259—266.

АКАДЕМИЯ НАУК СССР УРАЛЬСКИЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР

ПОГРАНИЧНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ЭКОЛОГИИ 1986

Н. К. МАЗИНА

МЕЖДИСЦИПЛИНАРНОЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ЭКОЛОГИИ И БИОХИМИИ В РАМКАХ ПРОБЛЕМЫ АДАПТАЦИИ

Развитие современной экологии характеризуется возрастанием роли междисциплинарных исследований. Активное проникновение в экологию математики, физиологии, радиобиологии, цитогенетики на протяжении последних десятилетий вызвало существенные изменения в структуре экологических знаний и способствовало созданию новых экологических концепций. Острейшая необходимость междисциплинарного взаимодействия экологии, биохимии и физиологии наглядно проявилась в рамках одной из центральных задач экологии — при изучении путей и механизмов адаптации животных к различным факторам окружающей среды.

Известно, что способность организмов и надоорганизменных систем поддерживать постоянное внутреннее упорядоченное состояние обеспечивается слаженной работой специфических регуляторных и метаболических процессов, объединяемых понятием адаптации. С позиций абстрактного общебиологического подхода к феномену адаптации ее можно определить как приспособление жизни к условиям существования на всех уровнях ее организации. Адаптация — это специфическая функция, появившаяся вместе с жизнью и эволюционировавшая в направлении уменьшения напряженности гомеостатических механизмов и возрастания их эффективности при изменении внешней среды [21].

Любая живая система (биоценоз, популяция, особь) являет собой функциональное единство с окружающей средой и поддерживает гомеостазис за счет способности перестраиваться (адаптироваться) в соответствии с ее изменениями. Указанное выше единство поддерживается посредством круговорота веществ на основе иерархической системы трансформации энергии [5]. При этом физико-химическая и биологическая специфика среды обитания обусловливает формирование соответствующих морфологических, физиологических и биохимических особенностей организмов и возникновение генерализованных жизненных форм [12], географических типов метаболизма у животных [17] и человека [16].

Некоторые конституциональные особенности животных связаны с общим уровнем обмена веществ, который определяется внутренними факторами организма и влиянием окружающей среды. Именно это обстоятельство лежит в основе метода морфофизиологических индикаторов, дающего возможность оценивать экологическое своеобразие видов и популяций животных в преломлении их физиологического состояния, обусловленного экологической (климатической, географической, ландшафтной и др.) спецификой среды обитания [24].

Совершенство любой приспособительной реакции определяется ее функциональной эффективностью и энергетической стоимостью, а именно: эффективно то приспособление, которое при прочих равных условиях требует минимальных дополнительных затрат энергии [18]. Направленные изменения внешней среды изменяют и условия поддержания энергетического баланса в организме, что составляет основу процесса адаптации [8]. Обширные эколого-морфологические и эколого-физиологические исследования показали, что совершенствование морфофизиологических приспособлений неизбежно затрагивает и тканевый уровень организации, а основным фактором, определяющим стратегию адаптации, выступает борьба за экономичность работы организма, за минимальные расходы его энергетических ресурсов. В частности, тот факт, что многие специализированные формы животных обладают комплексом приспособлений, не улавливаемых обычными методами морфофизиологических исследований, явился отражением принципиальных различий путей адаптации видов и внутривидовых групп, что было показано многими авторами [19, 23].

Адаптация неразрывно связана с энергетическими возможностями живых систем на всех уровнях их структурно-функциональной организации [5, 18]. Следовательно, вопрос о критериях и видовых особенностях тканевой адаптации подразумевает раскрытие глубоких основ жизнедеятельности организмов и оценку морфофизиологических усовершенствований через «призму» тканевого и молекулярного уровней интеграции. Таким образом, с одной стороны, всякий функциональный акт живой материи, в том числе и адаптация, оплачивается энергетическими эквивалентами, т. е. имеет определенную энергетическую стоимость, с другой — энергетический и окислительный метаболизм выступает фундаментальной и наиболее общей формой обмена веществ, лежащей в основе любых проявлений жизнедеятельности. Поэтому в силу энергетической сущности процесса адаптации при оценке энергетической емкости ее механизмов на тканевом уровне наиболее целесообразно применять критерии и методы современной клеточной биоэнергетики.

Источник метаболической энергии в организме — реакции окислительного форсфорилирования, локализованные в мито-

хондриях клеток животных. Митохондрии — ключевое звено формирования адаптационного синдрома во всем диапазоне внешних воздействий на целостный организм — от очень слабых до экстремальных [10, 26]. Они оперативно реагируют на внешние воздействия, направленные на целостный организм, фазными изменениями структуры и метаболических реакций, что позволяет их использовать в качестве объективного интегрального диагностического критерия состояния энергетического обмена в тканях и в целом в организме животных.

Функциональное состояние энергетического аппарата тканей животных, развивавшихся в различных экологических условиях или оказавшихся в разных экологических ситуациях, отражает не только уровень адаптированности, но может определять общую стратегию адаптации к специфике среды обитания [7, 13, 20].

Современная биохимия с ее мощными методами исследования позволила выявить тонкие различия в структуре и функциях органелл, генерирующих энергетические эквиваленты у разных систематических групп животных. Оказалось, что организация процессов клеточной биоэнергетики высших организмов (число и последовательность переносчиков в дыхательной цепи, количество точек сопряжения и т. д.) характеризуется поразительным консерватизмом и принципиально не различается у низших и высших эукариот. Однако отдельные этапы биоэнергетических превращений в процессе эволюции постоянно модифицировались [11]. Сравнительно недавно стало известно, что качественный состав ДНК и белков в митохондриях высших организмов является видоспецифичным [34, 37]. Это дало возможность провести оценки, интересные с точки зрения эволюционной теории. На основании сродства цитохрома *C* к цитохромоксидазе от различных организмов, а также различий в последовательности аминокислот были построены филогенетические древа, хорошо совпадающие с эволюционными отношениями, установленными на основании палеонтологических и других данных. В частности, данные о видовых различиях ДНК у 20 различных пар организмов с известной степенью эволюционного расхождения показали, что замены в последовательностях нуклеотидов митохондриальной ДНК происходят в 10 раз быстрее, чем в уникальных последовательностях ядерной ДНК [27].

Согласно данным сравнительного анализа энергетических процессов у представителей крупных таксонов, в филогенезе увеличивалась зависимость аэробных форм от кислорода, возрастала их чувствительность к его недостатку [5]. Одновременно с этим достигли высокой степени совершенства механизмы, ответственные за поддержание кислородного гомеостазиса. У высших позвоночных сформировалась сложная система компенсаторных реакций, поддерживающих стационарный уровень

кислорода в капиллярах для эффективного снабжения тканей и клеток.

У теплокровных резко увеличились скорости обмена веществ и процессов теплообразования, усовершенствовались теплоизоляционные и теплоотводящие механизмы; кроме того, на первый план вышла связь и регуляция функций на межклеточном и межорганном уровне, осуществляемая посредством нейрогуморальных механизмов [25]. На тканевом уровне повысилась активность окислительных ферментов, их субстратная специфичность, а также эффективность систем окислительного фосфорилирования. В клетках тканей сформировались ауторегулируемые ферментативные циклические системы, способные оперативно адаптироваться к новым энергетическим потребностям организма, компенсировать изменения физиологического состояния в ответ на внешние воздействия. Эти механизмы развились у гомойотермных форм на основе мощного высокодифференцированного источника энергии — окислительного фосфорилирования [5, 22].

Качественные и количественные различия общего и тканевого окислительного метаболизма, наблюдаемые у разных животных, зависят от их видовой принадлежности [36] и в значительной степени могут определяться их экологическими особенностями [13, 20]. Например, мышевидные грызуны — коренные обитатели Субарктики — обладают низкой интенсивностью химической терморегуляции и энергетической стоимостью поддержания постоянства температуры тела по сравнению с обитателями более южных районов. Этому способствуют высокие изолирующие свойства меха, наличие сложного компенсаторного взаимодействия между разными формами мышечного термогенеза, снижающего дополнительные затраты энергии на терморегуляцию в условиях холода [2]. Высокий индекс и окислительная активность бурого жира и висцеральных термогенных тканей у субарктических полевок [30] сочетаются с повышенным уровнем и эффективностью энергетической регуляции глубинных процессов трансформации энергии — окислительного форфорилирования в печени, миокарде [28], а также с повышенной способностью к депонированию питательных веществ (гликогена, липидов) в мышцах и печени [15, 31]. В арсенал тканевых приспособительных реакций специализированных субарктических видов мышевидных грызунов входит не только способность депонировать энергетические ресурсы, но и высокая лабильность реакций их мобилизации из депо организма. Так, при кратковременном и глубоком охлаждении этих животных развивается гликемическая реакция в результате срочной мобилизации энергетических ресурсов для поддержания температурного гомеостазиса организма. Ее величина тесно связана с экологической специализацией животных: у копытного лемминга — эндемика Субарктики — она выраже-

на в наибольшей степени, тогда как у широко распространенных видов — красной полевки и полевки-экономки — почти отсутствует [32].

В целом механизмы адаптации к экологической специфике Субарктики, свойственные эндемичным полярным формам животных, как бы пронизывают все уровни их организации, подчиняясь при этом правилу минимизации функций и энергозатрат [21].

Сдвиги, формирующиеся на тканевом уровне и позволяющие при минимальной напряженности энергетического баланса эффективно использовать ресурсы окружающей среды, выступают одним из ведущих факторов адаптации также и у специализированных горных видов животных [3, 21]. У эндемичных горных видов млекопитающих обитание в специфических условиях высокогорий не связано с увеличением морфофизиологических показателей, уровня обмена веществ, а обусловлено совершенством физической терморегуляции, особенностями поведения, размножения и т. д. [3]. К специфическим приспособлениям на тканевом уровне, характерным для горных млекопитающих, относятся: высокое содержание миоглобина в мышечной ткани [35], а в тканях жизненно важных органов — каротиноидов, способных депонировать кислород в 30 раз более эффективно, чем миоглобин [9], пониженное сродство дыхательной цепи к кислороду, уменьшенная окислительная активность дыхательных ферментов и высокий уровень митохондриальных белков в тканях [13, 20, 29].

В общем, можно отметить, что схема адаптации млекопитающих к природным факторам характеризуется большой видоспецифичностью, поскольку у животных с разной степенью экологической специализации отдельные звенья адаптивной реакции несут разную функциональную нагрузку [6]. Если у специализированных видов ведущим фактором адаптации являются сдвиги, формирующиеся преимущественно на тканевом уровне и затрагивающие молекулярные механизмы трансформации энергии, то широко распространенные виды при попадании в горы или условия Субарктики адаптируются путем максимизации функций дыхательно-циркуляторной системы и активизации морфофизиологических реакций. «Наложение» экологической классификации типов и этапов приспособления к экстремальным факторам среды обитания [3, 23] на физиологическую [21, 29] показывает, что магистральная линия адаптации специализированных узкоареальных видов животных направлена на минимизацию энергетических затрат и реализуется на молекулярном и тканевом уровнях организации. Приспособительные реакции широко распространенных видов сопровождаются максимизацией функций, происходящей на фоне выраженной напряженности энергетического баланса с привлечением тканевых и морфофизиологических механизмов.

Энергетический метаболизм в ткани печени двух экологически контрастных видов полевок

Показатель	Обыкновенная слепушонка ($n = 21$)	Плоскочерепная полевка ($n = 18$)	P
Вес тела, г	43,2±4,1	41,0±5,6	—
$V_э$	19,0±2,1	24,2±2,9	< 0,050
$V_{як}$	36,3±3,3	53,7±8,4	< 0,001
$V_{з\,як}$	155,0±16,0	184,0±19,0	< 0,050
$V_{ф\,як}$	171,0±16,0	223,±20,0	< 0,010
АДФ: $О_{як}$	1,4±0,1	1,4±0,1	—
$ДК_{як}$	2,6±0,3	2,3±0,2	< 0,050
Белок митохондрий, ‰	17,8±1,3	26,0±1,1	< 0,001

Примечание. $V_э$, $V_{як}$, $V_{з\,як}$ — в натом 0 мин$^{-1}$ мг$^{-1}$ белка митохондрий печени; $V_э$ — скорость окисления эндогенных энергетических ресурсов митохондрий; $V_{як}$ — скорость свободного окисления янтарной кислоты; $V_{з\,як}$ — скорость фосфорилирующего, сопряженного с синтезом АТФ, окисления янтарной кислоты; $V_{ф\,як}$ — скорость синтеза АТФ при окислении янтарной кислоты; P — уровень достоверности различий; в скобках — количество исследованных животных; $V_{ф\,як}$ — в мкмоль АДФ·мин$^{-1}$ мг$^{-1}$.

Выводы, полученные на основании систематического изучения морфофизиологических особенностей животных, можно наглядно проиллюстрировать результатами эколого-биохимических исследований двух далеких в экологическом и систематическом отношении видов — обыкновенной слепушонки и плоскочерепной полевки.

Как известно, широко распространенный вид обыкновенная слепушонка обитает в степных и полупустынных зонах и по интразональным биотопам способен подниматься высоко в горы [3]. Подземный образ жизни слепушонки не только способствует смягчению воздействий погодно-климатических факторов на ее организм, но также предполагает наличие физиологических и биохимических механизмов адаптации к гипоксической и физиологической гипоксии. Плоскочерепная полевка — типичный представитель горных азиатских полевок. Особи этого вида обитают на ограниченной территории и, как правило, заселяют каменистые биотопы на значительных высотах [3]. Комплекс весьма совершенных экологических, морфологических, физиологических и биохимических адаптаций позволяет им обитать в условиях высокогорья, избегая напряженности энергетического баланса [3, 13].

Детальный анализ молекулярно-клеточных механизмов трансформации энергии показал, что изученные экологически контрастные виды полевок существенно различаются по исходному уровню окислительного и энергетического метаболизма в

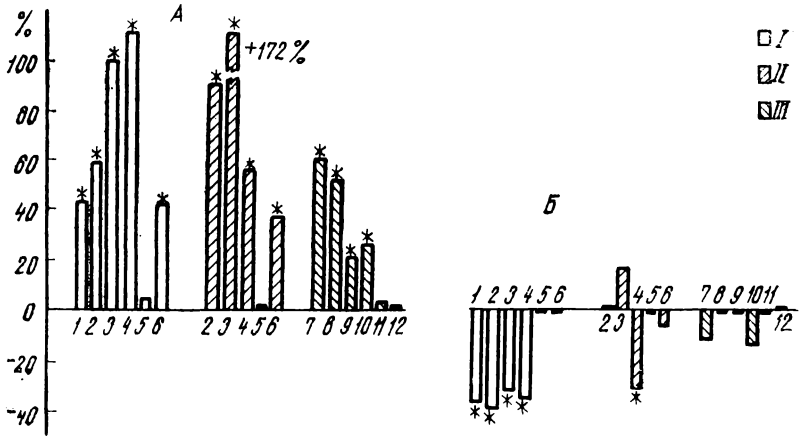


Рис. 1. Диапазон и направленность изменений параметров энергетики печени и некоторых интерьерных показателей полевок при действии градиента экологических факторов на протяжении 4—5 широтных градусов в северном направлении (уровень метаболизма и интерьерные показатели северных животных в % к уровню южных). Звездочкой отмечены достоверные сдвиги ($P \leqslant 0{,}05$).

А — обыкновенная слепушонка, *Б* — плоскочерепная полевка.
I — окисление янтарной кислоты; II — окисление глутаминовой кислоты; III — интерьерные признаки. *1* — $V_э$; *2* — $V_{субс}$; *3* — $V_з$; *4* — $V_ф$; *5* — АДФ : 0; *6* — ДК; *7* — митохондриальный белок в печени; *8* — индекс печени; *9* — индекс сердца; *10* — индекс почки; *11* — индекс надпочечника; *12* — вес тела.

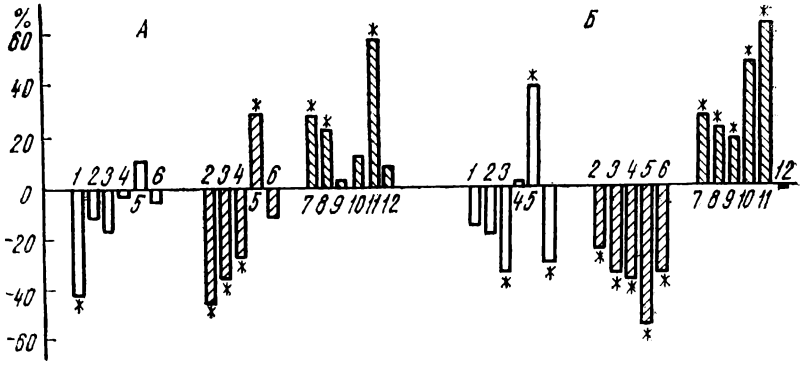


Рис. 2. Структура ответной реакции лесных полевок на тестирующее воздействие холодом.

Звездочкой отмечены достоверные сдвиги ($P \leqslant 0{,}05$). Нулевому уровню на диаграммах соответствуют значения показателей животных, содержавшихся в условиях температурного оптимума (20±2 °С).
А — красная полевка, *Б* — красно-серая полевка.
Остальные обозначения те же, что на рис. 1.

печени. Как следует из таблицы, митохондрии печени обыкновенной слепушонки окисляли энергетические субстраты ($V_{як}$, $V_э$, $V_3^{як}$) и фосфорилировали АДФ ($V_ф$) с меньшей скоростью, чем митохондрии печени плоскочерепной полевки. При этом эффективность (АДФ : О) и уровень энергетической регуляции (ДК) окислительного фосфорилирования у обоих видов были одинаковы. Содержание митохондриального белка, косвенно отражающее энергетическую оснащенность ткани, в печени горного вида было на 46 % выше, чем у слепушонки. Следовательно, несмотря на активный роющий образ жизни, сопряженный со значительными физическими нагрузками, потребности слепушонок в метаболической энергии (АТФ) сравнительно невелики, что хорошо согласуется с экологическими особенностями этого вида.

Наряду с существенными отличиями в исходном уровне энергетического метаболизма печени исследованные виды полевок характеризовались принципиальными различиями в структуре метаболической реакции энергетического аппарата печени на действие градиента экологических факторов, направленного к северной периферии ареала.

В северных широтах (район, откуда доставляли животных, охватывает почти 5 широтных градусов и включает зоны, существенно различающиеся по своим погодно-климатическим характеристикам) обыкновенная слепушонка характеризуется повышением исходной мощности энергетического аппарата печени — окислительной и фосфорилирующей активности митохондрий, усилением биосинтетических реакций для дополнительного биогенеза митохондрий (рис. 1). Плоскочерепная полевка отличалась уменьшением интенсивности тканевого окислительного метаболизма и мощности работы дыхательной цепи, но при этом ни эффективность окислительных процессов, ни уровень энергетической оснащенности ткани печени (содержание митохондриального белка) не менялись. При освоении северной периферии ареала активация молекулярно-клеточных механизмов биоэнергетики у слепушонок происходит на фоне выраженной морфофизиологической реакции — возрастания относительного веса внутренних органов (печени, сердца, почек и надпочечников), тогда как у плоскочерепных полевок снижение скоростей окислительных процессов сопровождается лишь незначительными морфофизиологическими сдвигами, имеющими обратную направленность.

Исходя из того, что процесс адаптации многокомпонентен, в качестве подхода к комплексной оценке энергетической стоимости морфофизиологической и тканевой адаптации можно использовать сравнительный анализ основных закономерностей соотношения системно-функциональных и метаболических перестроек в организме животных при тестирующих воздействиях. Адаптация имеет временную организацию и собственную

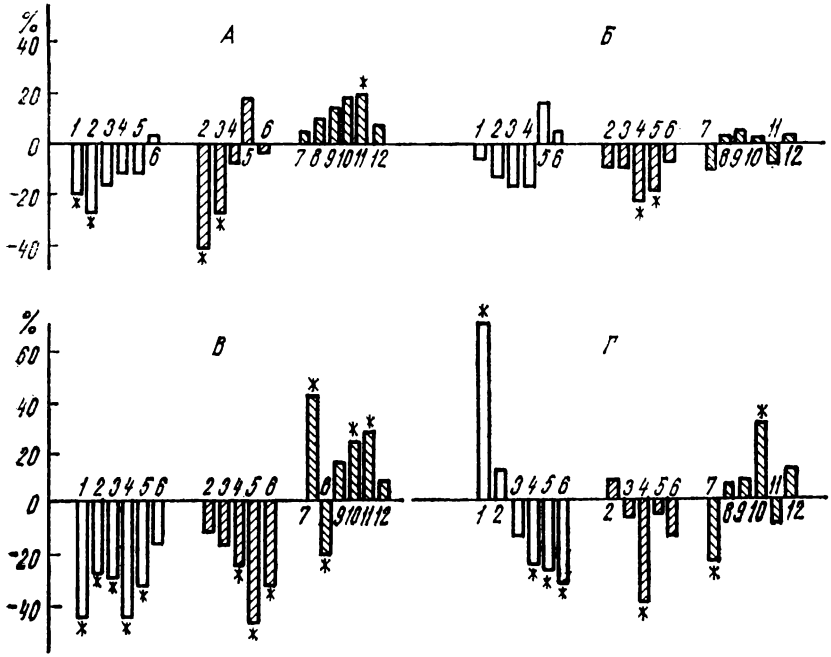


Рис. 3. Структура ответной реакции горных и полупустынных видов полевок на тестирующее воздействие холодом.

А — серебристая полевка, *Б* — плоскочерепная полевка, *В* — слепушонка, *Г* — желтая пеструшка. Остальные обозначения те же, что на рис. 1.

структуру, зависимую от силы и продолжительности воздействия фактора, а также от половых, возрастных, видовых и, по-видимому, популяционных характеристик животных [6, 7]. В зависимости от силы и продолжительности действия внешних факторов возникающие приспособления достигают разных уровней биологической интеграции организма. При изменении внешних условий основные параметры гомеостазиса сохраняются путем взаимодействия органов и функциональных систем, поддерживающих постоянство функций с органами и системами, которые подчиняются требованиям окружающей среды [21]. Такое взаимодействие отдельных систем и органов осуществляется на основе общебиологического принципа замещения функций [1], реализующегося на всех уровнях физиологической интеграции от молекулярно-клеточного до организменного [6, 26]. Неспособность одного или нескольких механизмов к нормальному функционированию в изменившихся условиях приводит к различным метаболическим отклонениям, нарушению гомеостазиса, «срыву адаптации», нарушению жизненных функций и гибели. Наряду с этим известно, что наиболее экономичную и эффективную реакцию на воздействие внешних

факторов обеспечивают механизмы клеточной энергетики [10, 14].

При понижении температуры окружающей среды наблюдается стимуляция потребления кислорода in vivo в результате включения механизмов химической терморегуляции. Избыточное количество кислорода потребляется прежде всего органами и тканями, ответственными за термогенез и его метаболическое обеспечение — скелетной мускулатурой, бурой жировой тканью, печенью [33]. Дополнительное теплообразование в термогенных тканях обеспечивается разобщением окисления и фосфорилирования [22], изменением магистральных путей метаболизма белков, жиров и углеводов [7], увеличением содержания окислительных ферментов и переносчиков электронов в клетках, дополнительным биогенезом митохондрий и, наконец, увеличением массы метаболически значимых органов [7, 14, 33]. Вследствие этого сопоставление степени вовлечения молекулярно-клеточных и морфофизиологических механизмов в общую ответную реакцию на охлаждение у представителей разных видов грызунов может способствовать выделению более или менее совершенных типов энергетического метаболизма в зависимости от степени экологической специализации исследуемых форм. Структурно-функциональная организация ответной реакции на охлаждение (6—7 дней при —5 —0 °С) у полевок с разной степенью специализации существенно различается. Перестройки окислительного метаболизма в энергетическом аппарате печени лесных полевок (красной и красно-серой) и обыкновенной слепушонки осуществляются на фоне усиленного дополнительного биогенеза митохондрий и выраженной морфофизиологической реакции в виде гипертрофии внутренних органов (рис. 2 и 3). В противоположность этому у горных полевок (плоскочерепной и серебристой) и желтой пеструшки — специализированных форм — после охлаждения наблюдается качественно и количественно иная картина изменений метаболической структуры энергетики печени и некоторых конституциональных особенностей организма (рис. 3).

Хотя тестирующее воздействие и вызывает заметные сдвиги дыхательной и фосфорилирующей активности митохондрий печени серебристой полевки, адаптивные метаболические перестройки в системе клеточной биоэнергетики осуществляются без привлечения биосинтетических процессов (содержание митохондриального белка не отличается от уровня контрольных животных) на фоне слабо выраженной морфофизиологической реакции. Метаболический и морфофункциональный «отклик» плоскочерепной полевки также характеризуется незначительными, по сравнению с другими видами полевок, сдвигами исследуемых параметров. У желтой пеструшки ответная реакция на воздействие холодом протекает в целом по типу специализированных горных форм, со слабым привлечением системно-

органного уровня, но с выраженными метаболическими перестройками в системе трансформации энергии на молекулярном уровне.

Приведенные данные свидетельствуют о том, что у представителей трех широко распространенных видов полевок, несмотря на существенные различия в морфологии, физиологии и экологии, формирование ответной реакции организма на дозированное тестирующее воздействие холодом протекает с участием сходных механизмов:

— метаболических перестроек в молекулярных системах трансформации энергии (в дыхательной цепи митохондрий печени);

— увеличения массы структур, ответственных за трансформацию энергии,— дополнительного биогенеза митоходрий в печени, что позволяет либо увеличивать выход энергетических эквивалентов в ткани, либо поддерживать его на постоянном уровне;

— холодовой гипертрофии внутренних органов (печени, сердца, почек, надпочечников), выраженной, однако, в зависимости от видовой принадлежности животных, по-разному.

В отличие от триады широко распространенных видов представители специализированных узкоареальных форм полевок при формировании ответной реакции на холод используют главным образом механизмы молекулярных перестроек в системе тканевой биоэнергетики (на примере митохондрий печени это выявляется достаточно отчетливо), тогда как более «дорогостоящие» реакции (биогенез митохондрий, гипертрофия внутренних органов) либо отсутствуют вовсе, либо выражены крайне незначительно.

Тот факт, что в общую ответную реакцию на холодовое воздействие у широко распространенных видов полевок вовлекается как молекулярно-клеточный, так и системно-органный уровень организации, косвенно свидетельствует о недостаточной мощности систем тканевого энергообеспечения или о неспособности ферментативных систем тканей реализовать все имеющиеся у них возможности. Это ведет к повышению платы за адаптацию в виде усиления биосинтетических реакций для «наработки» дополнительной биомассы внутриклеточных органелл и компенсаторной гипертрофии метаболически значимых органов.

В целом ответная тканевая и морфофизиологическая реакция полевок на охлаждение видоспецифична и отражает принципиальные различия путей адаптации у животных с разной экологической специализацией — настройку на максимизацию функций и энергозатрат у широко распространенных форм и минимизацию энергозатрат — у специализированных.

Эта же закономерность проявляется и на популяционном уровне при сопоставлении структурно-функциональной органи-

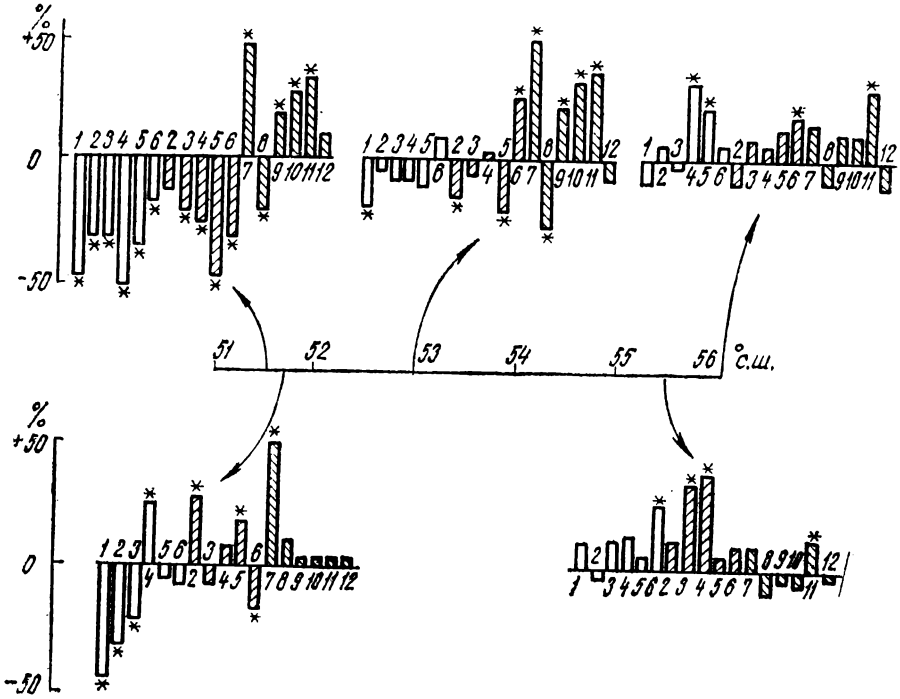


Рис. 4. Популяционные особенности метаболической и морфофизиологической структуры ответной реакции обыкновенной слепушонки на тестирующее воздействие холодом.

Обозначения те же, что на рис. 1.

зации ответной реакции на тестирующее воздействие холодом у представителей разных популяций обыкновенной слепушонки и плоскочерепной полевки.

Слепушонки, обитающие в южных районах уральской части ареала, характеризуются более выраженной ответной реакцией на охлаждение, чем обитатели северной периферии (рис. 4). Отметим, что у этого вида известны различные цветовые морфы, которые образуют плавную цветовую гамму с постепенным потемнением тонов, вплоть до черного, при продвижении вида к северо-востоку на Урале.

Адаптивная ценность термоокрашенных шкурок, а следовательно, и признаков, сцепленных с этой мутацией, повышается: темная морфа начинает доминировать в периферийных популяциях [4]. Согласно нашим данным, меланисты реагируют на сходное холодовое воздействие, используя лишь незначительные молекулярные перестройки окислительного фосфорилирования, не вовлекая в адаптивную реакцию биосинтез митохондриальных белков и гипертрофию внутренних органов [4].

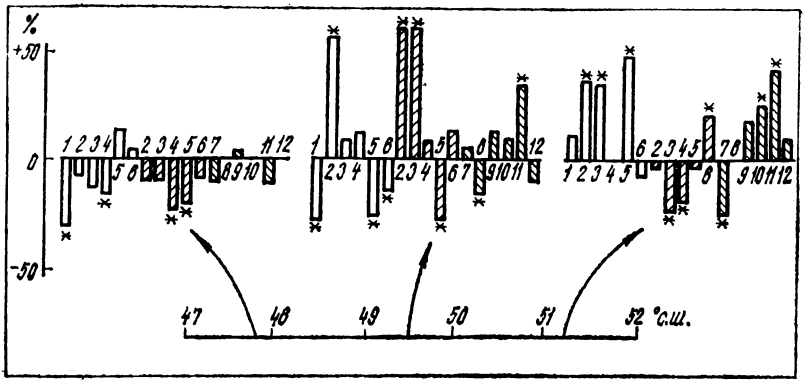


Рис. 5. Популяционные особенности метаболической и морфофизиологической структуры ответной реакции плоскочерепной полевки на тестирующее воздействие холодом.

Обозначения те же, что на рис. 1.

Вместе с тем адаптивная реакция у представителей южных популяций (бурая морфа) формируется на фоне отчетливо выраженных молекулярных перестроек функциональной активности митохондрий печени с привлечением биогенеза митохондриального белка и компенсаторного увеличения относительного веса внутренних органов.

Таким образом, освоение слепушонкой северных районов сопровождается, с одной стороны, повышением исходного уровня тканевого энергетического метаболизма, увеличением мощности энергетического аппарата печени, с другой — понижением доли «дорогостоящих» морфофизиологических сдвигов при формировании ответной реакции на экспериментальное воздействие холодом.

Существенные популяционные различия в структурно-функциональной организации ответной реакции на охлаждение присущи и плоскочерепным полевкам. Поддержание энергетического баланса на тканевом уровне одинаково эффективно регулируется как при изменении действия целого комплекса природных факторов (см. рис. 1), так и при экспериментальном воздействии холодом (рис. 5). Исходно высокий уровень митохондриального белка, который сравнительно слабо варьирует у представителей разных популяций плоскочерепной полевки, видимо, обеспечивает мощный резервный потенциал энергетической системы печени и делает возможными адаптивные метаболические перестройки с минимальным привлечением в адаптивную реакцию морфофизиологических механизмов. У представителей южной популяции плоскочерепных полевок, обладающих более высоким уровнем окислительного тканевого метаболизма, после холодового воздействия не удается обнаружить значимых перестроек в энергетике печени. Иная карти-

на наблюдается при экспериментальном охлаждении у особей из периферийных популяций. Скорость окислительного и энергетического метаболизма в печени увеличивается, развивается холодовая гипертрофия внутренних органов. В целом перестройки тканевой биоэнергетики плоскочерепной полевки нацелены на увеличение скорости окисления энергетических субстратов до уровня, характерного для представителей южной популяции, а направленность и размах биоэнергетических показателей отражают специфические биохимические особенности каждой популяции.

Продвижение плоскочерепных полевок к северной периферии ареала сопровождается снижением окислительной и фосфорилирующей активности митохондриальных ферментов, что свидетельствует о минимизации энерготрат на поддержание энергетического баланса при освоении окружающей среды. Наряду с достоинствами такой реакции в эксперименте выявляются и ее недостатки. Снижение общего уровня окислительного метаболизма в ткани печени влечет за собой необходимость включения не только молекулярных, но и морфофизиологических механизмов адаптации к неадекватным внешним воздействиям, моделируемым в эксперименте. Возможно, это обстоятельство является причиной низкой экологической пластичности плоскочерепной полевки: энергетический аппарат ткани не в силах полностью оплатить выход из зоны экологического оптимума и переход в условия экологического пессимума (северная периферия ареала) даже применяя стратегию минимизации энерготрат.

Таким образом, метаболическая и системно-органная структура ответной реакции энергетического аппарата печени и ряда интерьерных показателей на воздействие холодом существенно различаются у представителей разных популяций в пределах одного вида.

При подъеме в северные широты обыкновенная слепушонка увеличивает исходную мощность энергетического аппарата печени, благодаря чему повышается ее устойчивость к неадекватным внешним воздействиям, моделируемым в эксперименте. В первую очередь, у плоскочерепной полевки уменьшается активность окислительных и фосфорилирующих ферментов в печени, но повышается способность митохондрий откликаться на неадекватные внешние воздействия in vivo путем увеличения скорости окисления отдельных энергетических субстратов и массы метаболически значимых внутренних органов.

Итак, исследованные виды полевок (широко распространенный и узкоареальный) при освоении окружающей среды используют принципиально различные пути тканевой адаптации. При межпопуляционном сравнении параметров тканевой биоэнергетики выявляются различия не только в исходном уровне окислительного фосфорилирования, но и в лабильности ответ-

ных реакций энергетического аппарата печени на внешнее воздействие холодом. Полученные данные показывают, что энергетический аппарат печеночной ткани полевок чутко реагирует на климато-географическую специфику условий обитания и может использоваться как чувствительная диагностическая тест-система для базисного мониторинга окружающей среды.

При междисциплинарном взаимодействии экологии и биохимии возникают некоторые методологические трудности, связанные со спецификой объектов исследования этих наук.

Объекты исследования экологии — популяция, биоценоз в их взаимодействии с окружающей средой, тогда как биохимия изучает молекулярные процессы функционирования клеток и тканей в организме. Биохимические методы в силу существующего уровня технологии эксперимента в большинстве случаев сопряжены с необратимыми воздействиями на объект исслевания, что ограничивает их применение для изучения надорганизменных систем. Однако, исходя из принципа эквивалентности метаболической регуляции физиологических функций на разных уровнях интеграции организма [26], по ответным реакциям субклеточных органелл, выделенных из тканей щадящими методами, можно судить о физиологическом состоянии метаболических систем целостного организма в ответ на различные внешние воздействия.

Наряду с этим популяция как экологическая система в ходе своего развития адаптируется к колебаниям природных факторов через интегрированный результат изменения метаболизма, физиологии и поведения отдельных особей, входящих в состав популяции на правах структурно-функциональных подсистем. Лишь отдельный индивидуум представляет собой конкретную единицу обмена веществ в популяции и является элементарным носителем конкретных приспособительных реакций. С одной стороны, он — самостоятельная биологическая система со сложной иерархией регуляции обмена веществ, с другой — экологическая система, поскольку осуществление обмена веществ немыслимо без устойчивых взаимосвязей с внешними условиями. Таким образом, интегрированный результат поведения и физиолого-биохимических реакций особей на действие экологических факторов выступает как проявление адаптивных механизмов на популяционном уровне.

Знание популяционной структуры и функциональной значимости физиологических и биохимических особенностей демографических и пространственных групп, входящих в состав популяции, способствуют комплексной оценке адаптивного потенциала популяции в целом, имеющей большое прогностическое значение и перспективы в управлении популяционной динамикой животных.

Краткий анализ экспериментальных и литературных данных показывает, что изучение экологических закономерностей адап-

тации на тканевом уровне с помощью методов клеточной биоэнергетики позволяет выявить видовые и популяционные особенности животных и свидетельствует о перспективности применения современных биоэнергетических критериев в экологических исследованиях.

ЛИТЕРАТУРА

1. Аршавский И. А. Принцип смены функций в онтогенезе млекопитающих.— Журн. общ. биологии, 1968, т. 29, № 1, с. 78—87.

2. Баженов Ю. И. Термогенез и мышечная деятельность при адаптации к холоду. М.: Наука, 1981. 104 с.

3. Большаков В. Н. Пути приспособления мелких млекопитающих к горным условиям. М.: Наука, 1972. 199 с.

4. Большаков В. Н., Мазина Н. К., Евдокимов Н. Г. Особенности интерьерных признаков и энергетики тканевого окислительного метаболизма бурой и черной морф слепушонки обыкновенной.— Докл. АН СССР, 1982, т. 263, № 1, с. 244—247.

5. Брода Э. Эволюция биоэнергетических процессов. М.: Мир, 1978. 303 с.

6. Гаркави П. Х. Квакина Е. Б., Уколова М. А. Адаптационные реакции и резистентность организма. Ростов-на-Дону, 1977. 120 с.

7. Исаакян Л. А. Метаболическая структура температурных адаптаций. Л.: Наука, 1972. 135 с.

8. Калабухов Н. И. Сохранение энергетического баланса организма как основа процесса адаптации.— Журн. общ. биологии, 1946, т. 7, с. 417—433.

9. Карнаухов В. Н., Федоров Г. Г. Каротиноиды в адаптации клеток животных к высокогорной гипоксии. Пущино, 1982. 43 с.

10. Кондрашова М. Н. Участие митохондрий в развитии адаптационного синдрома. Пущино, 1974. 20 с.

11. Котельникова А. В. Системы превращения энергии при дыхании на разных этапах эволюционного развития.— В кн.: Митохондрии. Регуляция процессов окисления и сопряжения. М., 1974, с. 9—20.

12. Криволуцкий Д. А. Современные представления о жизненных формах животных.— Экология, 1971, № 3, с. 19—25.

13. Мазина Н. К. О мощности внутриклеточных систем энергообеспечения у полевок с разной экологической специализацией.— В кн.: Териология на Урале. Свердловск, 1981, с. 51—55.

14. Меерсон Ф. З. Общий механизм адаптации и профилактики. М.: Медицина, 1973. 203 с.

15. Мосин А. Ф., Петрова К. М. Некоторые биохимические и гематологические показатели у полевок и леммингов в норме и при голодании.— В кн.: Экология млекопитающих северо-восточной Сибири. М., 1981, с. 90—97.

16. Панин Л. Е. Полярный метаболический тип.— В кн.: Адаптация человека в различных климато-географических и производственных условиях, т. 1. Новосибирск, 1981, с. 42—44.

17. Пантелеев П. А. Биоэнергетика мелких млекопитающих. М.: Наука, 1983. 269 с.

18. Печуркин Н. С. Энергетические аспекты развития надорганизменных систем. Новосибирск: Наука, Сиб. отд-ние, 1982. 113 с.

19. Покровский А. В., Большаков В. Н. Экспериментальная экология полевок. М.: Наука, 1979. 146 с.

20. Сегаль Н. К., Ковальчук Л. А., Ястребов А. П. Сравнительный анализ энергетических процессов у представителей равнинных и горных форм мышевидных грызунов.—В кн.: Специальная и клиническая физиология гипоксических состояний. Киев, 1979, т. 1, с. 288—301.

21. Слоним А. Д. Минимизация и максимизация функций и природные физиологические адаптации организма.— Экология, 1979, № 4, с. 5—15.
22. Хаскин В. В. Энергетика теплообразования и адаптация к холоду. Новосибирск: Наука, Сиб. отд-ние, 1975. 199 с.
23. Шварц С. С. Экологические закономерности эволюции. М.: Наука, 1980. 278 с.
24. Шварц С. С., Смирнов В. С., Добринский Л. Н. Метод морфофизиологических индикаторов.— Тр. ИЭРиЖ УФАН СССР, 1968, вып. 58. 387 с.
25. Шилов И. А. Возможные экологические пути происхождения гомойотермии.— В кн.: Общие вопросы физиологии адаптации. Новосибирск, 1967, с. 83—88.
26. Шишло М. А. Низкоэнергетический сдвиг как механизм усиления энергетических реакций гомеостазирующих систем целостного организма. Значение специфических регуляторов биоэнергетики.— В кн.: Регуляция энергетического обмена и устойчивость организма. Пущино, 1975, с. 229—237.
27. Шугалий А. В. Организация митохондриального генома.— В кн.: Итоги науки и техники. М.: ВИНИТИ. Сер. молекуляр. биол. 1981, № 19, с. 235—294.
28. Ястребов А. П., Сегаль Н. К., Ковальчук Л. А. Энергетические процессы кроветворной ткани субарктических и высокогорных животных в условиях экстремального охлаждения.— В кн.: Научно-технический прогресс и приполярная медицина, т. 2. Новосибирск, 1978, с. 131—132.
29. Barbashova Z. I. Studies on the mechanisms of resistence to hypoxia. A reviev.— Int. J. Biometeor., 1967, v. 11, N 3, p. 243—254.
30. Christiansen E. N. Respiratory properties of brown adipose tissue mitochondria from the Norwegian Lemming.— Comp. Biochem. Physiol., 1977, v. 56B, p. 19—24.
31. Galster W., Morrison P. Carbohidrate reserves of wild rodents from different aititudes.— Comp. Biochem. Phisiol., 1975, v. 50A, p. 153—157.
32. Galster W., Morrison P. Contrasting pattern of energy substrates in tundra and meadow voles.— Physiol. Zool., 1976, v. 49, p. 445—451.
33. Jansky L. Body organ cytochrome oxydase activity in cold and warm acclimated rats.— Canad. J. Physiol., 1966, v. 41, p. 1847—1854.
34. Potter S. S., Newbold J. E., Hutchinson C. A., Edgel M. H. Specific cieavage analysis of mammalian mitochondrial DNA.— Proc. Nat. Acad. Sci., 1975, v. 72, p. 4496—4500.
35. Reynafarje B., Morrison P. Myoglobin levels in some tissues from wild Peruvian rodents native to high altitude.— J. Biol. Chem., 1962, v. 237, N 9, p. 2861—2864.
36. Wahbe V. G., Balfur W. M., Samson F. R. A comparative study on vertebrate brain mitochondria.— Compar. Biochem. Physiol., 1961, v. 3, N 3, p. 199—205.
37. Yatscoff R. M., Aujume L., Greeman K. M., Goldstein S. Interspesific variations in proteins, synthesized by mammalian mitochondria.— Canad. J. Biochem., 1978, v. 56, N 10, p. 939—942.

СОДЕРЖАНИЕ

В. Н. Большаков, О. Ф. Садыков, Н. М. Любашевский. Экология и социальные проблемы современности 3
Д. А. Криволуцкий. Экология человека и вопросы управления биосферой 15
Ф. Б. Садыков. Экологический подход к потребностям человека 24
Ю. И. Новоженов. Социобиология и филетическая эволюция человека 38
В. В. Плотников. Эволюционно-фитоценологические предпосылки для конструирования биоценозов 50
А. М. Степанов. Биосферные аспекты пирамидальных городов 60
Л. Б. Ильина. Эколого-генетические аспекты повышения продуктивности сельскохозяйственных растений и охрана окружающей среды 68
Б. Ф. Садыков. Эколого-социальные аспекты использования биологического азота в агроценозах 76
Н. М. Любашевский, Б. В. Попов, А. А. Мокроносов, З. А. Любашевская, В. И. Стариченко. Биологические основы межвидовых экстраполяций параметров скелетного метаболизма 84
В. С. Безель, О. Г. Архипова, Н. А. Павловская, Л. К. Семенова. Популяционный подход к оценке воздействия антропогенных загрязнителей на человека 103
Т. В. Черненькова. Методика комплексной оценки состояния лесных биогеоценозов в зоне влияния промышленных предприятий 116
Т. Н. Верещагина, Р. Г. Куперман, А. М. Степанов. Почвенные жесткокрылые (мезофауна) как возможные индикаторы промышленного загрязнения окружающей среды 128
Н. К. Мазина. Междисциплинарное взаимодействие экологии и биохимии в рамках проблемы адаптации . . 141

УДК 574 : 1М9

Экология и социальные проблемы современности. Большаков В. Н., Садыков О. Ф., Любашевский Н. М.— В кн.: Пограничные проблемы экологии. Свердловск: УНЦ АН СССР, 1986.

Обсуждается вклад экологии как биологической дисциплины, изучающей закономерности существования и развития надорганизменных биологических систем, в решение глобального комплекса проблем, связанных с обострением в эпоху НТР противоречий между обществом и природой. В качестве общей теоретической платформы междисциплинарного взаимодействия по разрешению экологических проблем рассматривается концепция «ноосферы», выдвинутая В. И. Вернадским. Для практической реализации этой концепции, как радикального способа разрешения всего комплекса глобальных экологических проблем, предлагается рассмотреть возможности создания модельных нооценозов — функциональных ячеек будущей ноосферы — на основе достижений современной экологии и ряда других дисциплин.

Библ. 14 назв.

УДК 574 : 502.5

Экология человека и вопросы управления биосферой. Криволуцкий Д. А.— В кн.: Пограничные проблемы экологии. Свердловск: УНЦ АН СССР, 1986.

Рассматривается современная экологическая ситуация и обусловленная ею общая направленность экологических исследований, стратегия научного поиска в экологии в связи со становлением экологии человека как особого раздела экологии. Подчеркивается положение о том, что охрана природы в современных условиях — не консервация еще ненарушенных человеком уголков дикой природы, а система повсеместных мероприятий, нередко дорогостоящих и трудоемких, вплоть до активного управления биосферными процессами.

Библ. 19 назв.

УДК 574.2 : 1М9

Экологический подход к потребностям человека. Садыков Ф. Б.— В кн.: Пограничные проблемы экологии. Свердловск: УНЦ АН СССР, 1986.

Анализируется структура материальных и духовных потребностей человека и перспективы их качественного совершенствования с учетом экологических ограничений. Делается вывод о том, что разумными и научно обоснованными являются только такие потребности человека, которые необходимы для органического сочетания общественного и личного, реальных нужд современного общества и будущих поколений, учитывают возможности природы и направлены на стабилизацию и улучшение жизненных условий.

Библ. 14 назв.

УДК 572.1 : 1М9

Социобиология и филетическая эволюция человека. Новоженов Ю. И.— В кн.: Пограничные проблемы экологии. Свердловск: УНЦ АН СССР, 1986.

Дан критический обзор современных буржуазных концепций социальной биологии и экологии. С учетом достижений современной общей биологии, экологии и генетики рассматривается проблема дальнейшей эволюции человека.

Библ. 23 назв.

УДК 574.4 : 575.8

Эволюционно-фитоценологические предпосылки для конструирования биоценозов. Плотников В. В.— В кн.: Пограничные проблемы экологии. Свердловск: УНЦ АН СССР, 1986.

Исторический опыт человечества рассматривается применительно к проблеме конструирования и оптимизации биоценозов. Как показывает изучение примитивных и филогенетических древних типов растений, эволюция создала практически неисчерпаемый оперативный, строительный и технологический материал для конструирования биоценозов любого мыслимого функционального назначения. Анализируются важнейшие механизмы естественной эволюции биоценозов, которые необходимо учитывать и использовать при их сознательном конструировании.

Библ. 22 назв.

УДК 574.4 : 502 : 72

Биосферные аспекты пирамидальных городов. Степанов А. М.— В кн.: Пограничные проблемы экологии. Свердловск: УНЦ АН СССР, 1986.

Рассматривается проблема соотношения биосферы и антропосферы и делается вывод о необходимости качественного преобразования свойственной антропосфере узловато-ячеистой структуры и прежде всего уплотнения узлов-городов и упорядочения транспортных связей для освобождения территории. В качестве возможного конструктивного воплощения предлагается модель пирамидального города и основные принципы его конструирования.

Ил. 1. Библ. 2 назв.

УДК 631.95 : 502.5

Эколого-генетические аспекты повышения продуктивности сельскохозяйственных растений и охрана окружающей среды. Ильина Л. Б.— В кн.: Пограничные проблемы экологии. Свердловск: УНЦ АН СССР, 1986.

Дана оценка и рассматривается вопрос о повышении продуктивности используемых сортов и видов растений и рассматриваются новые методы селекции, направленные на создание экологических форм, обладающих более высоким адаптивным потенциалом. Показаны преимущества эколого-эволюционного метода, применение которого позволит создать сорта, адаптированные к определенной экологической обстановке и обладающие повышенной приспосабливаемостью к меняющимся условиям среды, что особенно важно для сельскохозяйственного производства в зонах рискованного земледелия.

Библ. 20 назв.

УДК 631.95

Эколого-социальные аспекты использования биологического азота в агроценозах. Садыков Б. Ф.— В кн.: Пограничные проблемы экологии. Свердловск: УНЦ АН СССР, 1986.

Рассматривается естественный круговорот азота в биосфере, который не ограничивается системами типа «почва — растения», а двусторонне, посредством азотфиксирующей и денитрифицирующей деятельности микроорганизмов, затрагивает и атмосферу, что пока недостаточно учитывается при использовании минеральных азотных удобрений. Биологический азот можно считать практически даровым по сравнению с азотом минеральных удобрений, и его использование может существенно снизить общую техногенную нагрузку на биосферу, связанную с современным земледелием, способствовать экономии энергетических и сырьевых ресурсов, восстановлению естественного почвенного плодородия.

Библ. 24 назв.

УДК 502.5 : 57.087

Биологические основы межвидовых экстраполяций параметров скелетного метаболизма. Любашевский Н. М., Попов Б. В., Мокроносов А. А., Любашевская З. А., Стариченко В. И.— В кн.: Пограничные проблемы экологии. Свердловск: УНЦ АН СССР, 1986.

Рост загрязнения окружающей среды делает актуальной проблему совершенствования методов экстраполяции данных по влиянию поллютантов от единичных изученных видов к огромному числу неисследованных. Проведен критический анализ существующих подходов применительно к остеотропным радионуклидам и показано, что экстраполяция на основе подобия систем обмена у организмов разных видов дает только ориентировочные оценки, так как принципиально неустраним большой разброс получаемых данных. Более перспективен для этих целей метод экстраполяции, основанный на анализе конкретных механизмов обмена радионуклидов.

Табл. 2. Ил. 8. Библ. 22 назв.

УДК 574.2 : 502.55

Популяционный подход к оценке воздействия антропогенных загрязнителей на человека. Безель В. С., Архипова О. Г., Павловская Н. А., Семенова Л. К.— В кн.: Пограничные проблемы экологии. Свердловск: УНЦ АН СССР, 1986.

Обсуждается необходимость реализации популяционного подхода к оценке возможных последствий воздействия на человека техногенных загрязнителей. В качестве момента популяционной общности тех или иных человеческих группировок рассматривается уровень воздействия конкретного загрязнителя и основных сопутствующих биологических и социальных факторов, модифицирующих это воздействие. Популяционный подход к человеку подчеркивает экологическоое единство выделяемых группировок людей, сходным образом взаимодействующих с окружающей их средой.

Табл. 2. Ил. 2. Библ. 22 назв.

УДК 502.56 : 630.182

Методика комплексной оценки состояния лесных биогеоценозов в зоне влияния промышленных предприятий. Черненькова Т. В.— В кн.: Пограничные проблемы экологии. Свердловск: УНЦ АН СССР, 1986.

Проведено комплексное изучение основных сред, горизонтов и ярусов лесного биогеоценоза, подверженного длительному техногенному загрязнению выбросами металлургического комбината. Показаны основные последствия этого загрязнения для биогеоценоза и подробно излагается комплексная методика исследований и получения оценок степени деградации экосистем под воздействием техногенного загрязнения.

Табл. 6. Ил. 5. Библ. 7 назв.

УДК 502.5 : 595.7

Почвенные жесткокрылые (мезофауна) как возможные индикаторы промышленного загрязнения окружающей среды. Верещагина Т. Н., Куперман Р. Г., Степанов А. М.— В кн.: Пограничные проблемы экологии. Свердловск: УНЦ АН СССР, 1986.

Дан обзор работ, посвященных проблеме накопления химических элементов и соединений в организмах беспозвоночных животных и использования их в качестве объектов-индикаторов техногенного загрязнения среды. Приведены критерии выбора видов-индикаторов с учетом особенностей их ареалов и видоспецифических особенностей накопления микроэлементов, а также материально-технического обеспечения полевых исследований.

Библ. 41 назв.

УДК 574 : 577.1

Междисциплинарное взаимодействие экологии и биохимии в рамках проблемы адаптации. Мазина Н. К.— В кн.: Пограничные проблемы экологии. Свердловск: УНЦ АН СССР, 1986.

Обсуждается назревшая необходимость междисциплинарного взаимодействия экологии, биохимии и физиологии для разработки одной из центральных проблем экологии — проблемы изучения путей и механизмов адаптации животных к различным экологическим факторам окружающей среды. Показано, что изучение экологических закономерностей адаптации на тканевом уровне с помощью методов клеточной биоэнергетики позволяет выявить видовые и популяционные особенности животных и свидетельствует о перспективности применения современных биоэнергетических критериев в экологических исследованиях.

Табл. 1. Ил. 5. Библ. 37 назв.

ВЫХОДИТ ИЗ ПЕЧАТИ

сборник научных статей сотрудников
Института экологии растений и животных
УНЦ АН СССР

Техногенные элементы и животный организм (полевые наблюдения и эксперимент). 10 л. Цена 1 р. 50 к.

В статьях сборника представлены некоторые аспекты экотоксичности, которые имеют существенное значение для развития теории и практики мониторинга и экологической экспертизы — проблемы загрязнения среды техногенными элементами. Обмен и эффекты стабильных элементов и радионуклидов исследуются в их собственном значении и в то же время могут рассматриваться как индикаторы других видов промышленных загрязнителей, не столь хорошо идентифицируемых в объектах среды и в организме. Ряд работ выполнен с целью согласования закономерностей метаболизма техногенных элементов на популяционном и организменном уровнях, а также углубленного исследования механизмов их накопления и выведения. Это касается преимущественно элементов, принадлежащих к большому классу приоритетных загрязнителей, кумулирующихся в скелете позвоночных (фтор, свинец и др. металлы; многие естественные и искусственные радионуклеиды).

Заявки присылать по адресу:

620169, Свердловск, ГСП-169, Первомайская, 91.
РИСО УНЦ АН СССР

ПОГРАНИЧНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ЭКОЛОГИИ

СБОРНИК НАУЧНЫХ ТРУДОВ

Рекомендовано к изданию
Ученым советом Института
экологии растений и животных
и РИСО УНЦ АН СССР

Редактор **В. С. Коршунов**
Художник **М. Н. Гарипов**
Технический редактор **Н. Р. Рабинович**
Корректоры **Е. М. Бородулина, Г. Н. Старкова**

Сдано в набор 8.07.85. Подписано в печать 4.06.86. НС 18257. Формат 60×90 1/16. Бумага типографская № 2. Гарнитура литературная. Печать высокая. Усл. печ. л. 10,5. Уч.-изд. л. 10,5. Тираж 1000. Заказ 388. Цена 1 р. 60 к.

РИСО УНЦ АН СССР. Свердловск, ГСП-169, Первомайская, 91.
Типография изд-ва «Уральский рабочий», Свердловск, пр. Ленина, 49.