

## ECOLOGICAL ASPECTS OF THE ENSURING OF FOOD SECURITY

B. M. MIRKIN

*The principal elements of the concept based on investment reduction of anthropogenous energy into agroecosystems and stimulation of biotic potential at all levels – from a specified plant and animal to entire agroecosystem are discussed. The ideas on the “Second Green Revolution” are criticized. A slow process of “green development” is only possible within the framework of sustainable societies.*

**Обсуждаются основные элементы концепции уменьшения вложений антропогенной энергии в агроэкосистемы и стимуляции биотического потенциала на всех уровнях – от отдельного растения и животного вплоть до всей агроэкосистемы. Критикуются представления о второй “зеленой революции”. Возможен лишь медленный процесс “зеленой эволюции” в рамках построения общества устойчивого развития.**

© Миркин Б.М., 1997

## ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПРОДОВОЛЬСТВЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

Б. М. МИРКИН

Башкирский государственный университет, Уфа

Язык экологии – супернауки XX столетия [5] быстро развивается. Недавно он пополнился двумя новыми понятиями: “продовольственная безопасность” (food security, FS [4]) и “емкость выживания” (carrying capacity – буквально: поддерживающая емкость, СС [5]). FS – это система, неограниченно долго обеспечивающая производство продуктов питания отдельной страны или всего мирового сообщества в количестве, достаточном для того, чтобы не возникало проблемы голода, а СС – предельно допустимая численность народонаселения (на территории отдельно взятой страны или всей планеты), которая соответствует экологическим нормативам рационального природопользования и охраны природы. Построение общества устойчивого развития, в котором обеспечена FS и при этом не превышен уровень СС, – сложнейшая экономическая, социальная и экологическая задача. В богатых странах, где сегодня продукты питания производятся при использовании технологий с высокими дозами удобрений, пестицидов, большими затратами воды на полив и при этом разрушаются почвы и другие агроресурсы (запасы и качество пресной воды, биологическое разнообразие входящих в состав сельскохозяйственных угодий лесов, саванн, степей или лугов), при обеспечении FS может произойти некоторое снижение производства продуктов питания. В бедных странах с нерегулируемым ростом населения достижение уровня СС возможно лишь при регулировании роста народонаселения.

Цель статьи – рассмотрение экологической составляющей проблемы обеспечения FS. Автор предлагает познакомиться с основными аспектами агроэкологии как науки о способах производства продуктов питания при сохранении агроресурсов и окружающей среды.

### АГРОЭКОСИСТЕМА – КЛЮЧЕВОЕ ПОНЯТИЕ АГРОЭКОЛОГИИ

Сельскохозяйственные экосистемы или агроэкосистемы (АгрЭС) относятся к числу антропогенных экосистем, которые наиболее близки к естественным. Эти ансамбли видов искусственны, так как состав выращиваемых растений и разводимых животных определяет человек, стоящий на вершине

экологической пирамиды и заинтересованный в получении максимального количества сельскохозяйственной продукции: зерна, овощей, молока, мяса, хлопка, шерсти и т.д. В то же время АгрЭС, как и естественные экосистемы, автотрофны. Основным источником энергии для них является Солнце. Вся вводимая в АгрЭС антропогенная энергия, затрачиваемая на вспашку земли, удобрение, обогрев животноводческих помещений, называется антропогенной энергетической субсидией (АС). АС составляет не более 1% общего энергетического бюджета АгрЭС. Именно АС является причиной разрушения агроресурсов и загрязнения окружающей среды, что осложняет решение проблемы обеспечения FS. Снижение величины АС – основа обеспечения FS.

Величина АС в АгрЭС может меняться в самых широких пределах, и если соотнести ее с количеством энергии, содержащейся в готовом продукте, то это отношение будет меняться от 1/15 до 30/1. В первобытных (но еще сохранившихся) огородах папуасов на одну калорию мускульной энергии получается не менее 15 калорий пищи, но всего лишь одна калория пищи получается при вложении 20–30 калорий энергии в интенсивном сельском хозяйстве. Разумеется, такое интенсивное хозяйство позволяет получать по 100 ц зерна с 1 га, по 6000 л молока от одной коровы и более 1 кг ежедневного привеса у животных, откармливаемых на мясо. Однако цена этих успехов слишком дорога. Разрушение агроресурсов, которое в последние 20–30 лет приняло угрожающие масштабы, вносит свой вклад в приближение грядущего экологического кризиса.

“Зеленая революция”, произошедшая в 60–70-е годы нашего столетия, когда благодаря ее отцу – лауреату Нобелевской премии Н. Берлоугу на полях появились карликовые сорта с урожайностью, превышающей таковую в традиционных культурах в 2–4 раза, и новые породы скота – “биотехнологические монстры”, нанесла наиболее ощутимый удар по биосфере. При этом к началу 80-х годов производство зерна стабилизировалось [1] и даже наметилась тенденция его уменьшения из-за утери почвами естественного плодородия и снижения эффективности удобрений. Население планеты при этом продолжает бурно расти, и в итоге количество зерна, производимого в мире в пересчете на одного человека, начало снижаться.

## ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ В СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ

Совершенно очевидно, что отказаться от АС и превратить АгрЭС в полное подобие естественных экосистем при всей привлекательности этой задачи столь же нереально, как вытащить себя за волосы из болота или построить перпетуум-мобиле. За урожай и несоответствие структуры АгрЭС естественным экосистемам, на месте которых они созданы, необ-

ходимо платить энергией. Однако при определении величины АС следует руководствоваться принципом кота Матроскина: “А я экономить буду”.

Чтобы решить вопрос, на каких статьях энергетического бюджета можно экономить, следует более подробно познакомиться с его структурой. Итак, на какие цели затрачивается АС в АгрЭС?

Во-первых, на получение первичной (растениеводческой) биологической продукции в нужном количестве и нужного качества. Для решения этой задачи необходимо:

- затратить энергию на селекцию и размножение культурных растений, которые будут в наибольшей мере соответствовать условиям (климату и почвам) различных АгрЭС;
- создать благоприятные экологические условия, при которых раскроется продукционный потенциал культурного растения;
- внести в почву минеральные и органические удобрения, при необходимости разрыхлить ее и произвести полив;
- обеспечить культурным растениям возможность победить в конкуренции с сорными (внедряющимися в посев помимо воли человека) растениями: обрабатывать почву, использовать биометод или химическую прополку;
- обеспечить защиту растений от поедания их насекомыми-фитофагами и грибковых заболеваний;
- обеспечить условия для сохранения “семенного банка” культурных растений в зимнее время.

Во-вторых, АС требуется на биоконверсию, то есть перевод первичной биологической продукции во вторичную (животноводческую). Для этого необходимо:

- затрачивать энергию на подготовку кормов к скармливанию (заготовку сена, силосование, приготовление сенажа, комбикорма, запаривание соломы и т.д.);
- поддерживать оптимальную температуру среды обитания животных в зимний период (строить и отапливать животноводческие помещения);
- обеспечивать высокую продуктивность животных (удойность, привесы, настриг шерсти, яйценоскость) за счет использования соответствующих препаратов.

В-третьих, АС необходима для переноса вещества и энергии внутри АгрЭС и между АгрЭС и городскими экосистемами или между несколькими АгрЭС (специализация хозяйств для семеноводства, разведения высокопородных животных на селекционных станциях и т.д.).

Не все статьи энергетического бюджета одинаково рачительны. Наибольшее количество энергии затрачивается на горючее для работы сельскохозяйственной техники, на производство удобрений (в

первую очередь азотных) и самой сельскохозяйственной техники. Тем не менее принцип кота Матроскина должен действовать при оценке любой статьи энергетического бюджета, что обеспечит сокращение величины АС на каждую единицу производимого сельскохозяйственного продукта. В энергетически экономной адаптивной АгрЭС проявляются элементы самоорганизации. Она становится подобием тех природных “зеленых каруселей”, где за счет солнечной энергии осуществляется постоянный круговорот углерода и элементов почвенного питания и при этом никогда не бывает их дефицита: все усвоенное растениями рано или поздно возвращается в окружающую среду.

### МОДУЛИ САМООРГАНИЗАЦИИ В АГРЭС

Структура АгрЭС достаточно сложна, и управление протекающими в ней процессами происходит двумя способами. Во-первых, за счет внутренних связей — прямых при переносе вещества и энергии от автотрофов к консументам (животным) и редуцентам (бактериям и грибам) и обратных, которые регулируют интенсивность этих процессов. Во-вторых, на функцию АгрЭС влияет человек, так как любая АгрЭС — социально-экологическое явление (одно или несколько хозяйств с единым планом производства продукции).

Главных модулей АгрЭС, за счет которых можно усилить ее самоорганизацию и активизировать биологический потенциал, — три: «пашня — растения», «биоценоз поля (растения — насекомые)» и «скот — луг — пашня». Рассмотрим возможности повышения уровня их самоорганизации за счет усиления роли системы обратных связей.

**Модуль “пашня–растения”.** Почвы пашни являются наиболее уязвимым звеном АгрЭС, и разрушение ресурсов происходит в первую очередь на распаханых почвах, в которых теряется гумус, разрушается структура, формируется отрицательный баланс основных элементов питания, происходят закисление, засоление. Наконец, именно при пахотном использовании активизируется эрозия — самое опасное последствие влияния человека на природу при ее сельскохозяйственном использовании. Этот черный дракон, пожирающий почвы, уже принес человечеству колоссальные беды: в 30-е годы в США и в 50-е годы в СССР после неумелого освоения целины ветровая эрозия привела в негодность миллионы гектаров плодородных почв. В конечном итоге на сохранение пахотных почв работают все остальные модули самоорганизации в АгрЭС. С урожаем любого растения из почвы выносятся элементы питания. Кроме того, воздействие агротехники, которая разрыхляет почву, ведет к усилению процесса минерализации гумуса, что может и не компенсироваться за счет пожнивных остатков, то есть того, что остается от культурных растений на поле. Такие культуры, как многолетние травы, одно-

летние бобовые и в особенности зеленые удобрения-сидераты, обогащают почву органическим веществом, а зерновые и тем более пропашные разрушают ее. Следовательно, главное требование рационального использования пахотной почвы — необходимость равного участия в севообороте почвоснабляющих и почворазрушающих культур.

Однако если в севообороте нет сидератов, то поддержать этот баланс органического вещества трудно. Дефицит органического вещества в этом случае погашается за счет навоза, которого требуется от 4 до 10–12 т на 1 га пашни. При этом, если фермы расположены далеко от полей, этот перенос вещества оказывается слишком дорогим энергетически. Фермы нужно рассредоточить среди массивов пашни. Это будет возможно, если разукрупнить наши скотооткормочные комплексы-гиганты.

Помочь поддержанию бездефицитного баланса органического вещества должна и соответствующая обработка почвы. Отвальные плуги, по словам американского фермера Фолкнера, могут быть злодеями, которые убивают жизнь в почве: анаэробные бактерии более глубоких горизонтов оказываются на поверхности, а аэробные — в глубине. В итоге после каждого оборота пласта неизбежно усиливается разрушение органического вещества и, кроме того, активизируется эрозия, поскольку незащищенная пожнивными остатками поверхность почвы — благодатное поле для разрушающего действия воды и ветра.

Современная агрономия все чаще использует безотвальную вспашку на разную глубину и даже нулевую обработку, когда семена культурных растений высеваются непосредственно в скошенное жнивье. Эти варианты обработки особенно эффективны в условиях засушливого климата, а в лесной зоне их чередуют с периодическим оборотом пласта, при котором заделывают в почву навоз или пожнивными остатками многолетних трав.

С большими затратами АС решается проблема обеспечения баланса элементов минерального питания. За счет самоорганизации можно компенсировать почве только потери азота, которого после возделывания бобовой культуры накапливается в ней 50–150 кг/га (под сидератами в 2 раза больше). Калийные и особенно фосфорные удобрения необходимо вносить, так как ни микроорганизмы, ни растения не в состоянии компенсировать их отток с урожаем.

Некоторое количество удобрений могут вернуть в пахотный горизонт сидеральные культуры (люпин, донник, рапс) и сорняки, обладающие более глубокими корневыми системами, чем зерновые злаки (пшеница или рожь). Эти растения способны использовать удобрения, вымытые в глубь почвы дождями. Тем не менее без внесения минеральных удобрений создать бездефицитные циклы фосфора и калия невозможно.

**Модуль “биоценоз поля”.** А.В. Яблоков [3] проанализировал практику использования пестицидов в сельском хозяйстве. По его мнению, человек уже проиграл битву с насекомыми-вредителями, которые приспосабливаются к инсектицидам быстрее, чем изобретают и выпускают в массовое производство новые препараты.

Выход из этой тупиковой ситуации один: активизировать биологический потенциал биоценоза поля (то есть совокупности всех населяющих его растений, животных и микроорганизмов) настолько, чтобы в нем установились саморегулирующие связи в “триотрофах” — цепочках растение—фитофаг—зоофаг. При использовании пестицидов численность насекомых-хищников, паразитов и паразитоидов падает быстрее, чем насекомых-фитофагов. Это происходит, во-первых, потому, что плотность популяций “врагов наших врагов” исходно меньше, поскольку на прокорм каждого хищника требуется много насекомых-жертв. Во-вторых, питаясь насекомыми, которые уже наглотались препарата, зоофаги концентрируют в себе пестицид и в итоге имеют большую вероятность отравиться.

В американской экологической литературе имеет хождение понятие “система полезных симбиотических связей”. В ее основе — высокое разнообразие насекомых-фитофагов и зоофагов, связанных отношениями обратной связи. Причем повышению разнообразия такого энтомоценоза способствует высокое разнообразие растений (действие закона “разнообразие порождает разнообразие”). Его можно достигнуть за счет поликультур (то есть совместного выращивания нескольких культурных растений) и видов сорняков с контролируемой плотностью. Кроме того, с 30-х годов (работы А.А. Любищева) известно, что поедание части листовой массы растений насекомыми-фитофагами полезно, так как способствует активизации фотосинтеза. При слишком густом пологе затененные листья плохо фотосинтезируют, но активно дышат и таким образом становятся паразитами растения. Формированию системы полезных симбиотических связей способствуют и лесополосы, лужайки, небольшие куртины кустарников и, наконец, окраины полей, которые не опахиваются, а зарастают рудеральным высокотравьем.

Снизить засоренность полей позволяют культуры с плотным пологом, подавляющие сорняки, — рожь, одно- и многолетние травы, интенсивные сорта пшеницы, которые с весны быстро трогаются в рост. При умеренной урожайности зерна 20–25 ц/га пороговые значения предельно допустимого засорения достаточно высоки. Наличие в стеблестое 10% сорняков от его общей фитомассы не снижает урожая, но будет способствовать формированию системы полезных симбиотических связей. Что касается грибковых болезней, то и в этом случае необходимость использования пестицидов (фунгици-

дов) не столь фатальна. Во-первых, при частичном поедании листьев фитофагами травостой лучше проветривается, что само по себе снижает вероятность массового распространения патогенных организмов. Во-вторых, методы современной генетики позволяют встраивать в генетический аппарат сортов гены устойчивости к грибковым заболеваниям и тем самым резко повышать их иммунитет.

**Модуль “скот—луг—пашня”.** Это главный биогеохимический модуль в АгрЭС, определяющий круговорот элементов питания. Усилить самоорганизацию в этом случае можно за счет выбора оптимального соотношения его составляющих: площади пашни, поголовья скота и доли участков, занятых многолетней травяной растительностью и используемых как кормовые угодья. Наиболее поразительно, что необходимость повышения уровня самоорганизации этого модуля (разумеется, не используя современной терминологии) обосновал великий русский агроном А.Т. Болотов (1738–1833), который считал, что на каждый гектар пашни необходимо вносить навоз от двух коров. Поскольку коровы питались за счет луга и известны как потребности коров в корме, так и продуктивность лугов в Южном Нечерноземье, где экспериментировал А.Т. Болотов, то, следовательно, на один гектар пашни должно приходиться четыре гектара луга. С учетом того, что часть АгрЭС занимали леса, очевидно, что такая экологически оптимизированная АгрЭС имела не более 15–20% пашни.

К сожалению, эти рекомендации со временем были забыты, и во времена “битвы за урожай” (причем любой ценой!) площадь пашни в степной зоне достигла 90%, а в севооборотах доля трав была резко снижена. Для активизации биологического потенциала этого модуля необходимо вернуть его составляющие в экологически целесообразное соотношение. Разумеется, современный кормовой рацион животных не ограничивается пастбищным кормом и сеном с естественных лугов. Он включает и корма с пашни (доля их в таких отраслях, как свиноводство, особенно велика), а дефицит органического вещества на пашне погашается не только навозом, но и сидеральными культурами. Тем не менее, чтобы снизить величину АС, направляемую на поддержание этого модуля, в большинстве случаев приходится увеличить долю посевов трав, которые будут благотворно влиять на почвы не только через скот, но и напрямую, восстанавливая их плодородие за счет большого количества корневых остатков, биологической азотфиксации (при включении в число выращиваемых трав бобовых) и создания благоприятного режима гумификации под дерниной.

Под травы должны быть отведены в первую очередь все эрозионноопасные участки, так как дерн прекратит этот пагубный процесс. Их доля должна увеличиться и в севооборотах на эрозионно-устойчивых почвах для поддержания их нормального

**Таблица 1.** Сравнение феноменологических моделей первой и второй “зеленых революций”

| Характеристика  | Первая “зеленая революция”  | Вторая “зеленая революция”  |
|---|---|---|
| Общая характеристика агроэкосистемы   |   |   |
| Потребление энергии<br>из традиционных (исчерпаемых) источников за пределами АгрЭС  | Высокое   | Умеренное   |
| из нетрадиционных (неисчерпаемых) источников на территории АгрЭС (биогаза, ветряков, коллекторов солнечной энергии)                           | Низкое  | Умеренное   |
| Специализация хозяйств  | Животноводческое или растениеводческое                                | Комплексное   |
| Структура землепользования  | В пашню вовлечены все земли, пригодные для обработки                  | Часть пахотнопригодных земель занята лесом и многолетними травяными сообществами  |
| Основное направление мелиорации земель  | Гидромелиорация и химическая мелиорация                               | Лесомелиорация  |
| Общее биологическое разнообразие<br>видов культурных растений и животных<br>контролируемых синантропных видов<br>видов естественных экосистем | Низкое  | Умеренное   |
|   | Низкое  | Умеренное   |
|   | Низкое  | Высокое   |
| Эрозия почв   | Значительная  | Незначительная  |
| Характеристика растениеводства и земледелия   |   |   |
| Направление селекции  | На повышение продукционного потенциала                                | На повышение адаптивного потенциала   |
| Способ выращивания  | Монокультура  | Поликультура, севооборот  |
| Контроль сорных видов, вредителей, болезней   | Химический, агротехнический   | Биологический, агротехнический  |
| Использование минеральных удобрений<br>фосфорно-калийных<br>азотных   | В высоких дозах   | В невысоких дозах   |
|   | В высоких дозах   | Не применяется  |
| Использование биологического азота за счет микробиологической азотфиксации  | Незначительное  | Значительное  |
| Использование органических удобрений<br>сидератов<br>навоза   | Не используется   | Используется  |
|   | Незначительное  | Значительное  |
| Механическое воздействие на почву (вспашка, уплотнение и т.д.)  | Значительное  | Умеренное   |
| Характеристика животноводства   |   |   |
| Направление селекции  | На повышение продуктивного потенциала                                 | На повышение адаптивного потенциала   |
| Структура поголовья   | Один, реже два вида (или породы) сельскохозяйственных животных        | Несколько видов сельскохозяйственных животных   |
| Обеспечение кормами   | Преимущественно за счет пашни. Широкое использование привозных кормов | Преимущественно за счет естественных (при возможности улучшенных) кормовых угодий, доля кормов с пашни незначительная. Полное использование на корм всех остатков растениеводческой продукции |
| Химические добавки к кормам (антибиотики, стимуляторы роста, искусственные витамины и т.д.)   | Используются  | Не используются   |
| Пастбищные нагрузки   | Превышают пастбищную емкость  | Соответствуют пастбищной емкости  |

гумусового режима. Однако скот может быть не только благом для АгрЭС, но и фактором их разрушения. В большинстве районов России поголовье скота во много раз превышает экологический норматив пастбищных нагрузок.

## БУДЕТ ЛИ НОВАЯ “ЗЕЛЕНАЯ РЕВОЛЮЦИЯ”?

После очевидных неудач “зеленой революции”, которая накормила население планеты в 70-е годы, но была не в состоянии решить проблему FS для поколений потомков, так как привела к разрушению ресурсов биосферы, зазвучали голоса о грядущей второй “зеленой революции”. Состоялся даже симпозиум “Ко второй зеленой революции” (Рим, 1986 год). Сами по себе идеи второй “зеленой революции” достаточно конструктивны — описанные нами модули самоорганизации вполне встраиваются в идеологию, которую пропагандируют ее сторонники.

В табл. 1 мы показали антиномии двух “зеленых революций”. Выход из тупика, который предлагают агроэкологи, реалистичен, но их программа экологизации агросферы не может быть реализована как “зеленая революция” [2]. На неизбежное снижение (или как минимум стабилизацию) производства продуктов питания, и в первую очередь зерна, у мирового сообщества не может быть социального заказа. Сторонников у такой революции будет немного, особенно в перенаселенных странах третьего мира. При сложившейся демографической ситуации с продолжающимся ростом народонаселения экологизация сельского хозяйства пойдет медленно (тем быстрее, чем благополучнее демографическая ситуация в стране) и будет реализована как вторая “зеленая эволюция”, близкая по темпу к аналогичному (но имевшему обратную направленность) процессу первой “зеленой эволюции”, который протекал в агросфере до середины XX века. Процесс разрушения ресурсов при этом будет затухать, но агросфера за это время, увы, потеряет еще не один миллион гектаров плодородных земель и вы-

сокопродуктивных лесов и не одну тысячу видов, которые будут вытоптаны скотом или уничтожены пестицидами.

Разумеется, в России и других странах бывшего СССР, где сельское хозяйство было особенно анти-экологичным, а значительные вложения энергии в мелиорацию и химизацию не повышали урожая, а только разрушали ресурсы, приобретая форму некой отрицательной энергии, процесс экологизации при создании соответствующих экономических и правовых предпосылок может пройти очень быстро. Он не потребует увеличения АС и не снизит выхода сельскохозяйственной продукции.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Миркин Б.М., Наумова Л.Г. Экология России. М., 1996.
2. Миркин Б.М., Хазиахметов Р.М. Будущее агросферы: Новая “зеленая революция” или “зеленая эволюция”? // Журн. общ. биологии. 1995. Т. 56, № 2. С. 256–268.
3. Яблоков А.В. Ядовитая приправа. М.: Мысль, 1990.
4. Braun L. Facing Food Insecurity //State of the World, 1994: A Worldwatch Institute Report on Progress Toward a Sustainable Society. N.Y.; L.: Norton and Co., 1994. P. 177–197.
5. Postel S. Carrying Capacity: Earth's Bottom Line // Ibid. P. 3–21.

\* \* \*

Борис Михайлович Миркин, доктор биологических наук, профессор кафедры ботаники Башкирского государственного университета, главный научный сотрудник Института биологии УНЦ РАН, заслуженный деятель науки РБ и РФ. Область научных интересов: фитоценология, агроэкология, экологическое образование. Автор 700 научных работ, в том числе 30 монографий, учебников и учебных пособий.