

УДК 574.4+631.41/43.001.1

УСТОЙЧИВОСТЬ ПОЧВ И НАЗЕМНЫХ ЭКОСИСТЕМ: ПОДХОДЫ К СИСТЕМАТИЗАЦИИ ПОНЯТИЙ И ОЦЕНКЕ

А.Д. ФОКИН

(Кафедра применения изотопов и радиации в сельском хозяйстве)

Предлагается выделение инертных и лабильных носителей устойчивости почв и экосистем, а также трех форм устойчивости: структурно-статической, функционально-динамической и буферности. Каждая из них оценивается на разных уровнях структурной организации природных систем.

Проблема устойчивости почвенного покрова, как и любых других природных систем, по известным причинам приобретает все более актуальное значение. Очевидно, что само понятие «устойчивость» применительно к природным системам исключительно емкое, касающееся различных структурных составляющих почв, экосистем и биосферы в целом. В основе устойчивости природных систем лежит очень много различных свойств природных объектов и механизмов протекающих в них процессов, эти свойства и механизмы проявляются на различных уровнях структурной организации

от атомно-молекулярного до биосферного. Роль очень многих свойств и процессов в формировании устойчивости до конца еще не оценена и неясна.

Очевидно, устойчивость сложной природной системы зависит от устойчивости ее отдельных структурных составляющих. Отсюда вытекает, по-видимому, очень непростая задача нахождения связей между устойчивостью почвы или наземной экосистемы в целом и устойчивостью их отдельных составных частей. На актуальность такой задачи указывалось ранее [1].

Эти обстоятельства побуждают к

* Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (Проект 93—05—14252).

продолжению поисков в направлении систематизации различных форм и проявлений устойчивости и их количественной оценке.

Прежде чем перейти к изложению возможного варианта решения задачи систематизации понятий устойчивости, хотелось бы отметить еще одно обстоятельство. Во многих случаях, особенно когда речь идет о процессных биогеохимических механизмах устойчивости любых «локализованных» природных систем, например почвы, практически всегда возникает необходимость выхода за рамки этой системы и перехода на следующие уровни структурной организации — уровни экосистемы, ландшафта и т.д.

Это связано с тем, что все процессы, протекающие в рамках биогеохимических циклов, реализуются в полной мере только в достаточно сложных природных системах, начиная с экосистемного уровня. Например, почва в функциональном аспекте воспринимается как часть или подсистема более сложных природных систем.

В литературе приводились различные понятия устойчивости геосистем и обсуждалась применимость их к почве [2, 8]. Однако большинство определений отражает отдельные, частные стороны или конкретные формы устойчивости. Такое положение, по-видимому, можно объяснить различной реакцией разных почв и экосистем на возмущающие воздействия. Почва или экосистема могут быть устойчивыми к одним воздействиям и неустойчивыми к другим, что, казалось бы, исключает возможность рассмотрения устойчивости безотносительно к характеру возмущающего воздействия. В

то же время отдельные свойства структурных составляющих почв и наземных экосистем позволяют, на наш взгляд, ставить вопрос о наличии в природных системах некоторых «универсальных» качеств устойчивости к воздействиям любого типа, не входящим, конечно, в ряд экологических катастроф. Представляется, что таких «универсальных» качеств в природных экосистемах, определяющих их предрасположенность к «заболеванию», достаточно много. Это термодинамическая и микробиологическая устойчивость молекулярных, субмолекулярных и коллоидных структур почвы, механическая прочность почвенных агрегатов, разнообразие почвенной биоты, наличие соответствующих экологических ниш и т.д.

По-видимому, при более детальном рассмотрении проблемы целесообразно введение понятий *потенциальной устойчивости* природной системы, оценка которой не связывается с конкретными воздействиями, и *реализуемой (или актуальной) устойчивости*, определяемой конкретными воздействиями. На уровне детализации, принятом в настоящем сообщении, постараемся пока обойтись без этих понятий, чтобы избежать излишнего усложнения общей картины. Однако в самом начале, на стадии общих определений, следует обозначить подход к количественной оценке устойчивости.

Попытаемся дать наиболее общее понятие устойчивости, применимое к почве и наземной экосистеме с учетом данных ранее определений [2, 5, 8, 13].

Устойчивость почвы, наземной экосистемы в условиях возмущаю-

щих воздействий — это свойство в течение длительного времени сохранять стабильную компонентную структуру и устойчивое саморегулирующееся функционирование, проявляющееся в устойчивости биогеохимических циклов и биопродуктивности как в количественном, так и в качественном смысле; мерой устойчивости является отношение изменения свойств и функциональных параметров почв и экосистем к величинам воздействия.

Вопрос о критериях изменений свойств и параметров и их количественном выражении пока оставляем без обсуждения.

Важно, что и стабильная структура, и устойчивое функционирование поддерживаются благодаря наличию двух групп компонентов почв и природных систем с амбивалентными свойствами: группа инертно-устойчивых структур (литогенных и органо-минеральных, устойчивых к выветриванию, биодegradации и т.п.), составляющих по массе основную часть почв и наземных экосистем и выполняющих «скелетные», «каркасные» функции; группа компонентов, отличающихся исключительной лабильностью (биота, почвенный раствор, сорбционные, лабильные и обменные фонды биофильных и типоморфных элементов), обеспечивающих биопродуктивность, обновляемость атомно-молекулярного состава этих фондов, реализацию биогеохимических циклов, быструю ответную реакцию природных систем на возмущающие воздействия извне. Содержание лабильных компонентов по массе как в почвах, так и в наземных экосистемах всегда значительно меньше, чем инертных.

Таким образом, устойчивость природных систем, обеспечиваемая двумя противоположными свойствами компонентов, является функцией двух противоположных качеств: с одной стороны, это инертность, статическая стабильность, обеспечивающая устойчивость «каркаса» системы; с другой — лабильность, динамичность, обеспечивающие устойчивое функционирование. При этом оба качества реализуются разными материальными носителями, т.е. компонентами системы.

Весьма заманчивой может показаться попытка целиком связать основные структурные показатели почв и экосистем со стабильными, инертными компонентами, а функционирование почв и экосистем — с лабильными. Однако реально все обстоит гораздо сложнее. Лабильные компоненты в процессе функционирования не только поддерживают и воспроизводят сами себя (воспроизводство биоты, гумуса, запасных фондов), но и предохраняют инертные экосистемные и почвенные структуры от глубокой деструкции (защитное действие минерально-гумусовых пленок от выветривания литогенной основы почв, устойчивость «каркасных», «ядерных» гумусовых структур при наличии лабильных форм гумуса и т.п.).

В свою очередь, инертные структуры в известной мере определяют пространственную организацию процессов, идущих на всех уровнях структурной организации природных экосистем, создают пространственную основу гетерогенности свойств и локализации процессов и, таким образом, являются материальными носителями результатов анти-

энтропийной «работы» биоты. С этих позиций пространственная упорядоченность и гетерогенность почв и экосистем на всех уровнях структурной организации являются необходимыми условиями их устойчивости. Периферийные и поверхностные слои коллоидов, агрегатов и микроагрегатов, гетерогенность почвенного горизонта, проявляющаяся в наличии локальных зон с более или менее благоприятными для корневого питания растений свойствами, гетерогенность самого почвенного профиля — все эти свойства не только следствие проявления различных типов почвообразования, но и прямая или косвенная основа устойчивости почв и природных экосистем. На соответствующих примерах мы остановимся позже.

Приведенные рассуждения обосновывают попытку раздельного рассмотрения функций и роли инертных и лабильных компонентов природных систем в формировании их устойчивости. Это связано с тем, что методические подходы, параметры, характеризующие устойчивость этих систем, во многом будут различны.

Кроме того, в рамках общей устойчивости целесообразно выделить 3 формы, или 3 вида, устойчивости: структурно-статическую, функционально-динамическую и буферность. Дадим определения для каждой из них.

Структурно-статическая устойчивость — свойство почвы, экосистемы при возмущающих воздействиях сохранять стабильные состав, строение, сложение и соотношение между отдельными структурными компонентами системы.

Этот вид устойчивости характеризуется соотношением изменения структурно-статических показателей и величины воздействия или изменением структурно-статических свойств во времени.

Выбор параметров для оценки данного вида устойчивости зависит от типа воздействия. Это могут быть элементный, агрегатный или минералогический составы почв, строение почвенного профиля и т.д.

Функционально-динамическая устойчивость — свойство почвы или экосистемы сохранять стабильное функционирование, которое определяется устойчивостью и сбалансированностью отдельных звеньев биогеохимических потоков и биогеохимических циклов в целом. Этот вид устойчивости может быть оценен соотношением разных показателей, характеризующих противоположно направленные процессы (формирование биопродукции, деструкцию и гумификацию органических веществ, поступление и вынос вещества для отдельных компонентов экосистем), и величины воздействия, или кинетикой обновления вещественного состава компонентов почв, экосистем (типа pmT для гумуса), или кинетикой деструкции и выноса из экосистемы либо из ее компонентов веществ типа ксенобиотиков и т.п. Все эти процессы, хотя и локализованы в почве, даже в ее отдельных горизонтах, прямо или косвенно влияют на устойчивое функционирование экосистемы в целом, а также на характеристику отдельных природных сред — атмосферу, природные воды и т.п.

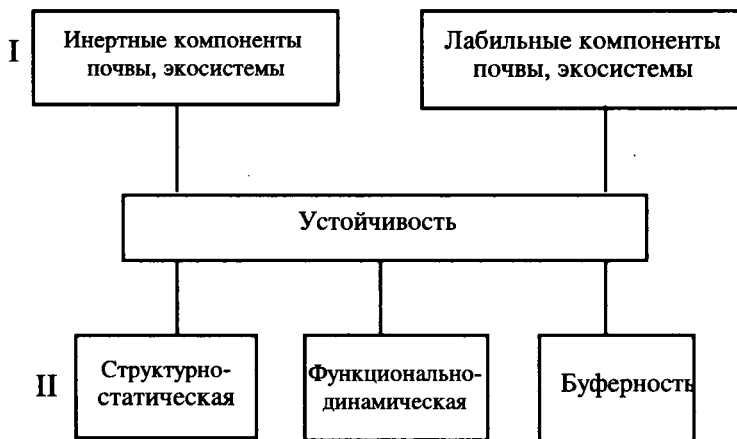
Буферность — способность почвы и наземной экосистемы к самовосстановлению структурных

свойств и функциональных параметров, нарушенных в результате возмущающих воздействий. Она реализуется через различные структурно-статические свойства и функционально-динамические механизмы и проявляется в свойстве системы активно реагировать на любые внешние воздействия, несвойственные данной системе.

Таким образом, если структурно-статическая и функционально-динамическая устойчивости связаны со способностью природных систем «не реагировать» на воздействия, до

определенного предела «накапливать» их в себе, то буферность — это свойство максимально быстро реагирования на воздействие противоположно направленным действием, «нейтрализующим» возмущающее воздействие. В экологии 2 первые формы устойчивости объединены понятием резистентная устойчивость, а буферность определена как упругая устойчивость, что вполне отражает содержание этих понятий [6].

Все сказанное выше можно обобщить в форме структурной схемы.



Структурная схема устойчивости.

I — материальные носители, II — виды устойчивости

В завершение данного раздела рассмотрим вопрос о критериях отношения отдельных структурных компонентов почв и природных систем к инертным или лабильным.

Данная задача пока не решена, и можно лишь говорить о подходах к ее решению.

Представляется, что наиболее

объективными критериями могли бы стать кинетические параметры, характеризующие среднестатистическое время обновления состава соединения или структурной компоненты почвы, экосистемы (типа $\tau_{\text{шт}}$ или среднего характерного «времени жизни»), а также величина, обратная кинетической константе

деструкции для необновляемых компонентов почв и экосистем. Кинетическая константа в данном случае характеризует долю вещества, распавшегося в единицу времени, например, за 1 год. Таким образом, обратная величина с известной долей условности будет характеризовать «время жизни» данной компоненты в данных условиях.

К сожалению, для почвенных и экосистемных компонент таких показателей немного. Больше всего их накоплено для гумусовых веществ, детрита, лесных подстилок разного состава. Их «время жизни» по углероду колеблется от единиц до десятков тысяч лет [1, 14, 16]. Определенные по азоту (преимущественно для периферических фрагментов гумусовых молекул), эти показатели на 1 порядок ниже [15].

В принципе современные методы, в частности метод изотопного обмена, позволяют без особых усилий оценивать параметры такого типа. Для минералогических, выветривающихся компонентов почв существуют иные способы прямой или косвенной оценки скорости их распада [11]. Довольно много показателей, характеризующих скорость деструкции, накоплено для различных ксенобиотиков, например, для пестицидов. Однако скорость их распада в разных почвах, естественно, должна получить иную интерпретацию по сравнению с природными соединениями и должна оцениваться как *деструкционная буферность почвы* по отношению к данному конкретному веществу (или типу веществ).

Учитывая разные характерные «времена жизни» для различных компонентов почв и экосистем, а

также способность их к восстановлению естественным или антропогенным путем, в качестве первого приближения можно принять следующие кинетические критерии и для инертных компонентов:

— минералогические компоненты почвы $> n \times 10^3$ лет;

— гумусовые и минерально-гумусовые $> m \times 10^2$ лет.

Ниже попытаемся уточнить значения величин n , m .

Сложнее обстоит дело с такими компонентами, как структурные агрегаты или почвенные горизонты.

Учитывая принципиальную возможность восстановления агрегатного состава почвы в течение десятков лет [12, 17], можно считать агрегаты устойчивыми (но не инертными) при характерных «временах жизни» $n \times 10$ лет. Однако именно это обстоятельство дает основание для отнесения почвенных агрегатов, во всяком случае лабильной органической части профиля, к лабильным компонентам. В целом данный вопрос в отношении почвенных агрегатов нуждается в дальнейшей разработке.

При оценке интегральной устойчивости почвенных горизонтов в качестве временного критерия могут быть взяты, например, нормы по годовому смыву почвенного материала из верхних горизонтов [4]. Исходя из этого конкретный почвенный горизонт может рассматриваться как устойчивый (но не инертный) при характерных «временах жизни» более 10^3 лет. И опять, как и в случае почвенных агрегатов, даже при значительном «времени жизни» горизонта достаточно убедительных оснований для отнесения его к инертным структурам, видимо, нет, ибо на

молекулярном, коллоидном и агрегатном уровнях в горизонте могут происходить интенсивнейшие процессы, которые и поддерживают стабильное состояние горизонта в целом.

По-видимому, целесообразно компоненты экосистем и твердой фазы почв разделить на 2 группы (инертные и лабильные), взяв за основу только вещественный, групповой или минералогический составы почвы, а также ионы, входящие в обменные фонды, компоненты почвенного раствора и биоту. Тогда в группу инертных компонентов целесообразно включить «невозобновляемые» почвенные минералы со «временем жизни» более 10^4 лет, минералы, способные к возобновлению в почвенных условиях, имеющих «время жизни» более 10^3 лет, гумусовые и минерально-гумусовые соединения или фрагменты их молекул со «временем жизни» более 3×10^2 лет. В принципе последняя цифра могла бы быть уменьшена в 2—3 раза, если в основу положить инертность или лабильность только углеродного скелета молекулы. Однако для гумусовых веществ, по-видимому, следует принять во внимание и количество азота, поступающего в биогеохимический круговорот за 1 год при деструкции гумусовых молекул. Если, например, содержание гумуса в горизонте 0—20 см равно 2%, возможный уровень «освобождения» азота при mrt, равном 300 лет, составит около 10 кг/га в год. Видимо, где-то на этом уровне поступления в биогеохимические циклы азот может оказать заметное влияние на функционирование и биопродуктивность экосистем.

Соответственно лабильные компоненты почв и экосистем будут представлены:

— «невозобновляемыми» минералами со «временем жизни» менее 10^4 лет;

— «возобновляемыми» минералами со «временем жизни» менее 10^3 лет;

— органическими и минерально-органическими соединениями со «временем жизни» менее 3×10^2 лет;

— а также биотой; веществами наземного и корневого опада, веществами почвенного раствора, ионами и соединениями, составляющими обменные фонды почв.

Чтобы рассмотреть с точки зрения устойчивости любые компоненты почв и экосистем, включая такие сложные, как агрегаты, или почвенные горизонты, или экосистему в целом, необходимо, по-видимому, попытаться сделать это для различных уровней структурной организации систем, определяя на каждом уровне критерии структурно-статической устойчивости, функционально-динамической устойчивости и буферности. Попытаемся реализовать этот подход на нескольких примерах, взяв за основу при выделении различных уровней структурной организации незначительно измененную схему Б.Г. Розанова [9].

Устойчивость на атомно-нуклидном уровне структурной организации

Структурно-статическая устойчивость на данном уровне характеризуется стабильностью эле-

ментного состава почв и других компонентов экосистем. В связи с техногенными загрязнениями при оценках необходимо особое внимание обратить на микроэлементный состав, содержание тяжелых металлов и искусственных радионуклидов. Наиболее информативными для оценок будут данные, полученные в динамике при длительных наблюдениях (например, на длительных полевых опытах), а также сравнения с «эталонными» объектами, в частности с музейными природными экспонатами, собранными в период до возникновения «стрессовых» техногенных нагрузок на экосистемы. Целесообразно создание соответствующего банка данных по элементному и радионуклидному составу «эталонных» объектов с оценкой естественного уровня варьирования показателей.

Функционально-динамическая устойчивость на атомно-нуклидном уровне определяется процессами поступления и выноса вещества из почвы или экосистемы, а также перераспределения вещества между компонентами, приводящими к изменению атомно-нуклидного состава природных систем или отдельных компонентов. В основу оценки функционально-динамической устойчивости на атомно-нуклидном уровне, по-видимому, должен быть положен расчет баланса поступления — выноса вещества для почв, экосистем или отдельных структурных составляющих. Необходим учет поступления веществ аэральным путем из различных источников, с удобрениями, оросительными водами и вынос за счет дефляции и эрозии, вертикальной миграции, испарения (для летучих соединений) и т.д.

В любом случае возрастание как поступления, так и выноса любых элементов выше естественных уровней, даже если противоположные процессы относительно сбалансированы, является признаком пониженной функционально-динамической устойчивости системы на данном уровне структурной организации, ибо в природных условиях, видимо, нет эффективных буферных систем, приводящих к сбалансированности процессов поступления — выноса.

Буферность почв на атомно-нуклидном уровне выражается в действии противоположно направленных механизмов удержания и выноса природных элементов в составе почв и экосистем и «сбрасывании» веществ, поступающих в экосистемы извне. Однако можно лишь говорить о наличии тенденций подобного рода.

Например, довольно часто наблюдается, что относительный вынос (по отношению к общей массе) токсикантов, особенно в первые годы после поступления, иногда значительно выше, чем типоморфных и биофильных элементов. Для последних в большей степени выражены различные механизмы удержания, типа действия биологической аккумуляции, биогеохимических барьеров и т.д. Однако существует масса исключений, не укладывающихся в данную тенденцию, например, для ряда искусственных радионуклидов. В частности, кальций выщелачивается интенсивнее, чем ^{90}Sr . По-видимому, есть основания считать, что буферность почв и экосистем, регулирующая их атомно-нуклидный состав, выражена довольно слабо. Не исключено, что одна из форм сбра-

сывания «лишних» или токсичных элементов при достижении ими излишне высоких концентраций в процессе естественной эволюции почв состоит в формировании различных новообразований типа железомарганцевых конкреций гидроморфных почв. Однако это всего лишь предположение, нуждающееся в проверке.

Устойчивость на молекулярном уровне структурной организации

Структурно-статическая устойчивость на молекулярном уровне определяется стабильностью вещественного состава почв и экосистем, которая, в свою очередь, зависит от структурной устойчивости молекул, составляющих природные системы. Однако оценка устойчивости на молекулярном уровне чрезвычайно осложнена уникальным по сложности вещественным составом почв, что не позволяет работать на уровне изучения свойств индивидуальных почвенных соединений. Весьма ограничены наши возможности и в контроле изменения вещественного состава почв. Реально пока, по-видимому, возможность проведения наблюдений за изменениями различного рода «групповых составов» типа группового состава гумуса.

Качественная оценка структурно-статической устойчивости гумусовых молекул может быть сделана на основании соотношения $C_{гк} : C_{фк}$, устойчивости гумуса к термодеструкции, к гидролизу, на основании анализа пирролизатов и соотношения в них циклических и алифатических структур и т.п. Для молекул комплексной природы показателями

структурно-статической устойчивости могли бы быть эффективные константы устойчивости [10], если будут предложены реализуемые методы их определения.

Для характеристики структурно-статической устойчивости молекул минеральных веществ и электролитов могут быть использованы величины эффективных произведений растворимости [10] и констант диссоциации.

Функционально-динамическая устойчивость на молекулярном уровне лучше всего может быть охарактеризована кинетическими параметрами, характеризующими скорость обновления атомно-молекулярного состава или необратимой деструкции почвенных и других природных соединений за счет естественных и техногенных, абиотических и биологических процессов. Об этих параметрах уже говорилось. Это величины констант кинетики деструкции соединений, mtg , характерные «времени жизни» и т.п.

Экспериментальная оценка таких параметров для многих групп природных соединений даже в натуральных условиях, по-видимому, не будет представлять особых затруднений. Их полезность не вызывает сомнений, ибо они характеризуют фактическую устойчивость природных соединений в отличие от структурно-статических показателей, которые характеризуют скорее потенциальную устойчивость.

Буферность почв и экосистем на молекулярном уровне, выражающаяся в способности противостоять деструкции молекул, определяется, на наш взгляд, колоссальным разнообразием природных соединений, исключительно широким спектром

их устойчивости, а также возможностью возобновления пула легко-разлагаемых соединений. Благодаря этой широте при развитии деструктивных процессов разложению в первую очередь подвергаются самые лабильные соединения, но они являются и наиболее легко возобновляемыми. При такой многозшелонированной буферной защите деструкция в нормально функционирующих почвах и экосистемах ограничивается первыми группами наиболее лабильных соединений. Возможно, данный тип буферности целесообразно обозначить как молекулярно-деструктивная буферность природных систем.

В качестве меры буферности данного типа может быть принят какой-либо эмпирический показатель, характеризующий объем «погашенного» деструктивного воздействия определенного типа, например расход умеренного окислителя. Соответственно показатель может быть определен как буферная емкость молекулярной окислительной деструкции.

Молекулярную буферность почвенного гумуса, связанную с различной устойчивостью фрагментов гумусовых молекул, характеризуют кривые ступенчатой пиролитической деструкции [3]. Однако вопрос об оценке буферности природных систем на молекулярном уровне требует дальнейшей проработки.

Устойчивость на коллоидно-кристаллохимическом уровне структурной организации

Структурно-статическая устойчивость минеральной части почвы в конкретных почвенно-

климатических условиях определяется минералогическим составом, устойчивость почвенных коллоидов — их строением, наличием защитных гуматных пленок и т.п. Косвенным показателем потенциальной устойчивости коллоидов могла бы быть величина дзета-потенциала [7]. Однако каких-либо конкретных градаций для коллоидов различного типа, видимо, нет. Зато для различных минералов существуют критерии, позволяющие оценить их устойчивость в различных условиях [11].

Функционально-динамическая устойчивость почвенных минералов могла бы быть охарактеризована показателями кинетики их деструкции или обновления. Однако данные такого рода пока единичны. Возможно, в качестве интегрального показателя кинетики деструкции отдельных групп минералов могли бы служить данные о вымывании из почвенного профиля или отдельных горизонтов элементов, заведомо принадлежащих минералам, например кремния.

Функционально-динамическая устойчивость почвенных коллоидов определяется их сорбционной емкостью (не только обменной) и обратимостью сорбционно-десорбционных процессов.

Буферность почв на коллоидно-кристаллохимическом уровне связана прежде всего с действием сорбционно-десорбционных механизмов, включая и кислотно-основную буферность почв. Исследованию буферности почв на данном уровне уже давно уделяется пристальное внимание [8].

Устойчивость почв на агрегатном уровне

Структурно-статическая устойчивость на данном уровне характеризуется показателями механической прочности агрегатов, их устойчивости к размыванию и дефляции. Кроме того, структурная устойчивость агрегатов может быть охарактеризована изменением во времени агрегатного и микроагрегатного составов почв, а также физических свойств, зависящих от агрегированности почвенной массы: порозности, пористости и др.

Структурно-статическая устойчивость почвенных агрегатов зависит от их вещественного состава, в частности от состава цементирующей массы, ее обогащенности кальцием и гумусом и т.д., поэтому данные показатели также могут привлекаться для оценки структурной устойчивости агрегатов.

Функционально-динамическая устойчивость агрегатов могла бы быть охарактеризована кинетикой процессов их деструкции и восстановления в условиях естественного или производственного функционирования почв. Существует относительно много данных, которые показывают отдельные стороны разрушения и образования агрегатов. Однако по ним не удается построить кинетические кривые, а тем более зафиксировать раздельно процессы деструкции и восстановления. Поэтому сведения о «жизни» почвенного агрегата, о скоростях обновления его отдельных частей весьма ограничены.

Буферность почв на агрегатном уровне связана с действием механизмов, препятствующих механи-

ческому разрушению агрегатов под влиянием давления, потоков влаги и ветра, а также биоты и химических агентов. Такие механизмы, по-видимому, существуют. В хорошо агрегированных почвах тяговое сопротивление при обработке значительно ниже, а следовательно, ниже и механическое разрушающее воздействие почвообрабатывающих орудий. Агрегированная почвенная масса менее подвержена размыву и дефляции. Однако известные факты и конкретные результаты наблюдений пока не получили развития с позиций оценки буферности почв.

Заканчивая раздел об устойчивости почв на агрегатном уровне, следует сказать, что устойчивость агрегатов и соответственно многих важнейших физических свойств почвы является, видимо, наиболее уязвимым звеном в общей устойчивости почв при их сельскохозяйственном использовании. Устойчивость на последующих уровнях организации, а также почвы в целом в значительной степени связана с уровнем устойчивости почвенных агрегатов.

В связи с этим еще раз отметим, что характерная специфическая устойчивость на каждом уровне структурной организации зависит от всех разновидностей устойчивости на более низких (предшествующих) уровнях структурной организации, а иногда просто может быть функцией некоторых из них.

Устойчивость почв на горизонтном уровне

Структурно-статическая устойчивость почвенного горизонта определяется неизменяемостью во времени типа горизонта, его мощ-

ности, массы на единицу площади, характера переходных горизонтов, состава и свойств, а также совокупности основных морфологических признаков.

Функционально-динамическая устойчивость на этом уровне определяется интенсивностью, направленностью и соотношением процессов, ведущих к деформации, механическим потерям, вещественной трансформации горизонта и изменению его типа, а также процессов восстановления его свойств. Эти процессы могут быть абиотического характера: эрозия и переотложение почвенной массы, агрогенная деформация, изменение режимов увлажнения — и биотические процессы, связанные с функционированием биоценоза.

Буферность почв на горизонтном уровне может быть охарактеризована, во-первых, наличием определенного резерва деградации, т.е. запаса свойств и признаков, позволяющего в течение какого-то времени гасить деградационные воздействия и сохранять качественные признаки горизонта.

Для гумусово-аккумулятивных горизонтов к таким признакам будут относиться: содержание гумуса, превышающее какой-то критический уровень, ниже которого горизонт должен быть отнесен к другому типу, мощность горизонта, содержание различных форм биофильных элементов, содержание водопрочных агрегатов и другие признаки, характеризующие структурно-статическую устойчивость горизонта.

Кроме того, буферность почв на горизонтном уровне характеризуется показателями функционально-динамической устойчивости. Она должна проявляться в повышении

интенсивности процессов, ведущих к восстановлению главных признаков горизонта в случае их деградации. В целом этот вопрос требует изучения. Однако при поверхностном рассмотрении создается впечатление снижения буферности с развитием деградационных процессов, во всяком случае для гумусово-аккумулятивных горизонтов, что связано со снижением биопродуктивности.

Устойчивость природной системы на почвенно-экосистемном уровне

Начиная с профильного уровня целесообразно рассматривать проблему устойчивости почв в связи с функционированием экосистемы в целом, а не только отдельных групп организмов, локализованных в структурных частях почвенного профиля. О причинах такого рассмотрения говорилось выше. Почва функционирует в рамках экосистемы, точно так же, как почвенные ассоциации функционируют, деградируют и восстанавливаются в рамках ландшафта. В связи с этим данный уровень обозначен как почвенно-экосистемный.

Структурно-статическая устойчивость на данном уровне определяется прежде всего типичностью строения и морфологии почвенного профиля, соответствием его основных свойств природным условиям, что дает основание для уверенного отнесения данной почвы к определенному типу. По-видимому, важным критерием структурно-статической устойчивости почв на данном уровне является наличие или отсутствие в профиле признаков,

характерных для почвообразования другого типа. Особо важным критерием устойчивости почв на почвенно-экосистемном уровне является достаточно развитая профильная дифференциация, в особенности органогенных горизонтов, в которых локализована основная часть растительных остатков. Деструкция лесных почв чаще всего начинается с разрушения или деформации лесной подстилки.

Другим важнейшим признаком структурно-статической устойчивости природной системы на почвенно-экосистемном уровне является состояние биоты: наличие всех главных биотических компонентов, характерных для данной экосистемы, их численность, состояние и соотношение.

Функционально-динамическая устойчивость на почвенно-экосистемном уровне определяется адекватностью современных факторов, процессов и режимов данному типу почв и экосистем. Прежде всего имеет значение адекватность растительности и почвы. В целом оценка функционально-динамической устойчивости проблематична, в особенности для почв, образование и эволюция которых продолжают оставаться дискуссионными. Проблема адекватности структурных параметров современных почв и экосистем современным процессам является одной из самых сложных и в то же время самых важных для характеристики устойчивости природных систем.

Можно указать несколько наиболее общих показателей функционально-динамической устойчивости природных систем на почвенно-экосистемном уровне: биопродуктив-

ность и соотношение продукционно-деструкционных процессов; качественный состав биопродукции; соотношение процессов деструкции и новообразования специфических биокосных соединений, в частности гумуса; соотношение процессов выноса и восстановления содержания подвижных форм биофильных элементов в почве. Экспериментальное определение этих показателей остается во многом проблематичным.

Определение буферности природных систем на почвенно-экосистемном уровне является задачей, далекой от окончательного решения. Пока есть основания только для обсуждения подходов к ее решению.

Очевидно, что буферность на данном уровне зависит от разных форм буферности на всех уровнях структурной организации, о которых говорилось выше. О буферности и возможностях саморегулирования природных биоценозов и фитоценозов известно достаточно много [6], что, вероятно, дало повод говорить о саморегулировании природных систем более высокого ранга, как о самой собой разумеющемся факте. Однако проблема представляется более сложной. Ее решение связано с установлением обоснованных критериев, позволяющих уверенно говорить об адекватности или неадекватности структуры и функционирования на экосистемном уровне, адекватности или неадекватности почвы и биоты.

При оценке устойчивости на почвенно-экосистемном уровне конкретных природных объектов, вероятно, целесообразно выделить главные виды устойчивости на любых уровнях структурной организа-

ции и главные буферные компоненты, характерные для данной природной системы, а также критические виды устойчивости и критические буферные компоненты, представляющие наиболее уязвимые звенья экосистем при различного рода внешних воздействиях.

Выводы

1. Материальными носителями устойчивости почв и экосистем являются природные соединения и структуры, обладающие противоположными свойствами: инертные образования, обеспечивающие «устойчивость каркаса» почв и экосистем и их пространственную структуру; лабильные образования, обеспечивающие устойчивое функционирование почв и экосистем.

2. Оценивать состояние почв и экосистем целесообразно по 3 формам устойчивости: структурно-статической, функционально-динамической и буферности.

3. Все 3 формы устойчивости реализуются и оцениваются в различных свойствах и процессах на всех уровнях структурной организации почв и экосистемы.

4. Для характеристики различных объектов целесообразно выделение главных и критических видов устойчивости и буферности как наиболее надежных и наиболее уязвимых звеньев в общей устойчивости природных систем.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Базилевич Н.И., Гребенщиков О.С., Тишков А.А.* Географические закономерности структуры и функционирования экосистем. М.: Наука, 1986, с. 297. — 2. *Глазовская*

М.А. Опыт классификации почв мира по устойчивости к техногенным воздействиям. — Почвоведение, 1990, № 9, с. 82—96. — 3. *Кончиц В.А., Черников В.А., Пупонин А.И.* Влияние различных способов и приемов обработки суглинистой дерново-подзолистой почвы на ее гумусовое состояние. — Уч. пособие. М.: Изд-во МСХА, 1991, с. 40. — 4. *Кузнецов М.С.* Противозеронозная стойкость почв. М.: Изд-во МГУ, 1987. — 5. *Левич А.П.* Понятие устойчивости в биологии. Математические аспекты. — В сб.: Человек и биосфера. М.: Изд-во МГУ, 1976. — 6. *Одум Ю.* Экология. М.: Мир, 1986. — 7. *Огороков В.В., Курбатов А.И., Гончаров П.П.* О механизме действия некоторых химических мелиорантов на свойства солонцов. — Изв. ТСХА, 1981, вып. 2, с. 122—128. — 8. Почвенно-экологический мониторинг. М.: Изд-во МГУ, 1994. — 9. *Розанов Б.Г.* Морфология почв. М.: Изд-во МГУ, 1983. — 10. *Савич В.И.* Расчеты равновесий при взаимодействии удобрений и мелиорантов с почвой. — Уч. пособие. М.: Изд-во МСХА, 1987. — 11. *Соколова Т.А.* Глинистые минералы в почвах гумидных областей СССР. Новосибирск: Наука, 1985, с. 253. — 12. *Тюлин А.Ф.* Органо-минеральные коллоиды в почве, их генезис и значение для корневого питания растений. М.: Изд-во АН СССР, 1958. — 13. Устойчивость геосистем. М: Наука, 1983. — 14. *Фокин А.Д.* Динамическая характеристика гумусового профиля подзолистой почвы. — Изв. ТСХА, 1975, вып. 4, с. 80—85. — 15. *Фокин А.Д., Князев Д.А., Кузяков Я.В.* Включение ¹⁴C, ¹⁵N аминокислот и нуклеино-

вых оснований в гумусовые вещества и скорость обновления их атомно-молекулярного состава. — Почвоведение, 1993, № 2, с. 39—46. — 16. Чичагова О.А. Радиоуглеродное датирование гумуса почв:

методы и использование в почвоведении и палеогеографии. М.: Наука, 1985. — 17. Хан Д.В. Органо-минеральные соединения и структура почвы. М.: Наука, 1969.

Статья поступила 23 января 1995 г.

SUMMARY

Author suggests to distinguish an inert and labile subjects of soil (and ecosystem) stability, and three kinds of stability: structural (static), functional (dynamic), and buffering ones. Each of them is evaluated at different levels of structural organization of natural ecosystems.