

АТТРАКТОРЫ РОСТА МОЩНОСТИ ГУМУСОВОГО ГОРИЗОНТА ЧЕРНОЗЁМОВ

Голеусов П.В.

ФГАОУ ВО «Белгородский государственный национальный исследовательский университет»,
Белгород, e-mail: Goleusov@bsu.edu.ru

В статье с позиций синергетики рассматривается феномен резкого замедления скорости формирования гумусового горизонта чернозёмов суббореальной зоны. Предлагается обоснование существования двух динамически устойчивых состояний (аттракторов) в развитии данного морфологического признака почвы. Первый аттрактор – «экосистемный» – обусловлен спецификой гумусонакопления *«in situ»* в слое с максимальным количеством ежегодного подземного опада травянистой растительной группировки. Второй аттрактор – «климатический» – определяется биоклиматическим потенциалом почвообразования, от которого зависит предельная мощность гумусового горизонта. Представлены статистические характеристики аттракторов. В практическом отношении при управлении почвообразовательным процессом важно уделять особое внимание достижению «экосистемного аттрактора», обеспечивающего основные производственные возможности биоценоза. Задачи охраны почв обязательно должны включать сохранение полноценного габитуса гумусового профиля, как деponирующего углерод блока биосферы.

Ключевые слова: синергетика, аттракторы развития почв, чернозёмы, мощность гумусового горизонта, скорость почвообразования

ATTRACTORS OF HUMUS HORIZON FORMATION IN CHERNOZEMS

Goleusov P.V.

Belgorod National Research University, Belgorod, e-mail: Goleusov@bsu.edu.ru

The article from the position of synergetics phenomenon of abrupt deceleration of humus horizon formation rate in subboreal zone is considered. It is proposed to study the existence of two dynamically stable states (attractors) in the development of the soil morphological characteristic. The first attractor – «ecosystem» – due to the specifics of humus accumulation *«in situ»* in the layer with the highest quantity of annual plant underground litter of herbaceous groups. The second attractor – «climate» – defined bioclimatic potential of soil, on which depends the ultimate thickness of the humus horizon. The statistical characteristics of the attractors are presented. In practical terms, under the management of soil-forming process it is important to pay particular attention to the achievement of the «ecosystem attractor», which provides the main productional opportunities of biocenosis.

Keywords: synergetics, soil development attractors, chernozems, humus horizon, soil formation rate

Формирование почвы как высокоорганизованной многофазно-твёрдофазной биокосной природной системы обеспечивается (в соответствии с центральной парадигмой почвоведения – формулой Докучаева – Иенни) взаимодействием факторов почвообразования (материнских пород, климата, биоты, рельефа, времени), которое реализуется в протекании элементарных почвообразовательных процессов (ЭПП) [7]. Результатом протекания ЭПП становится накопление и распределение в толще литоматрицы твёрдофазных остаточных продуктов функционирования (ТОПФ) [5, 6]. В концептуальном отношении самоорганизация почв выражается в переходе от функционирования почвенной системы, которое начинается с ноль-момента ее состояния и потенциально бесконечно, к собственно педогенезу – необратимому самотормозящему процессу, имеющему экзогенно и эндогенно обусловленные пределы реализации [8] в рамках биосферного, ландшафтного, эко-

системного и собственно почвенного аттракторов. Под аттрактором в синергетике понимается [4] «притягивающее» состояние относительной устойчивости системы определённого типа, к которому сходятся индивидуальные траектории её развития, различающиеся начальными условиями. Это своего рода «цель развития» системы. В экологии этому понятию соответствует представление о климаксе (моноклимаксе, поликлимаксе, квазиклимаксе) экосистем, в географии – эквифинальное состояние геосистемы, а в почвоведении – понятие зональной, климаксовой почвы. В представлении В.О. Таргульяна аттракторы развития почвы – это устойчивые диагностические признаки (горизонты) определенного типа почвообразования [8]. В данной статье представлена попытка выявления аттракторов развития гумусового горизонта чернозёмов путём анализа траекторий формирования его мощности, по результатам почвенно-хронологических исследований, проведённых автором в 1998–2015 гг.

**Результаты исследования
и их обсуждение**

Гумусовый горизонт – наиболее важный в биосферном отношении почвенный морфон, развитие которого удобно исследовать методом хронорядов экспонированных почв. Нами (в сотрудничестве с проф. Ф.Н. Ли-сецким) составлен банк данных о мощности гумусового горизонта разновозрастных чернозёмов (База почвенно-хронологических данных. Свидетельство об официальной регистрации базы данных № 2010620434. За-рег. в Реестре баз данных 16.08.2010 г.), на основе изучения морфологии новообразо-ванных почв, сформировавшихся на датиро-ванных поверхностях различного происхож-дения (археологические, беллигеративные, техногенные и др. объекты). Общий анализ этих данных представлен в монографии [2].

В развитии чернозёмов лесостепной и степной зон нами был установлен феномен резкого (на два порядка) замедления скорости формирования гумусового горизонта в хроно-интервале $n \cdot 10^2$ лет. На графике, объединяю-щем траектории индивидуального развития почв в различных по благоприятности для почвообразования условиях это замедление выглядит следующим образом (рис. 1). За-медление происходит при достижении 20% от наибольшей среднестатистической мощ-ности гумусового горизонта лесостепных чернозёмов. Для разных условий почвообра-зования можно сказать, что скорость роста гумусового горизонта резко замедляется при достижении мощности 150–200 мм.

Логике процесса формирования гумусо-вого горизонта чернозёмов в первые десяти-летия образования почв на экспонированном рыхлом субстрате, вероятно, соответствует модель, отражающая довольно быстрое воз-

растание скорости почвообразования (вслед-ствие увеличения поступления органического вещества в субстрат в ходе развития фитоце-ноза, становления микробиоценоза, почвенной фауны). Затем, после достижения пика, модель должна отражать постепенное снижение ско-рости почвообразования по мере установле-ния баланса органического вещества в зоне максимального освоения субстрата почвен-ной биотой. В дальнейшем, на тысячелетнем этапе педогенеза скорость формирования гу-мусового горизонта суббореальных черно-зёмов может несколько возрастать (от 0,11 до 0,18 мм/год) как следствие перераспреде-ления органического вещества по профилю, но в итоге медленно снижается до значений около 0,05 мм/год. В имитационном моделировании такие динамические особенности процесса могут быть описаны с помощью *s*-образной функции Гомперца [2] (рис. 2).

Гумусовый горизонт на ранних стадиях развития почв должен выполнять экосистем-ные функции накопления гумуса и элементов минерального питания, создания слоя, бла-гоприятного по физическим свойствам для развития подземных органов растений (пре-жде всего, почек возобновления криптофитов и гемикриптофитов), для обитания почвенной фауны сапрофагов. Эти функции реализуют-ся в слое мощностью до 200 мм, которая из-начально обусловлена структурой подземных ярусов фитоценоза. Именно в этом слое гуми-фицируется значительная часть подземного опада травянистых растительных группиро-вок, в которых доминируют злаки. Вероятно, на данном этапе почвообразования ведущую роль проявляют факторы биоты и материн-ской породы. Таким образом, в первые десяти-летия роста мощности гумусового горизонта почвенная система достигает первого attrak-

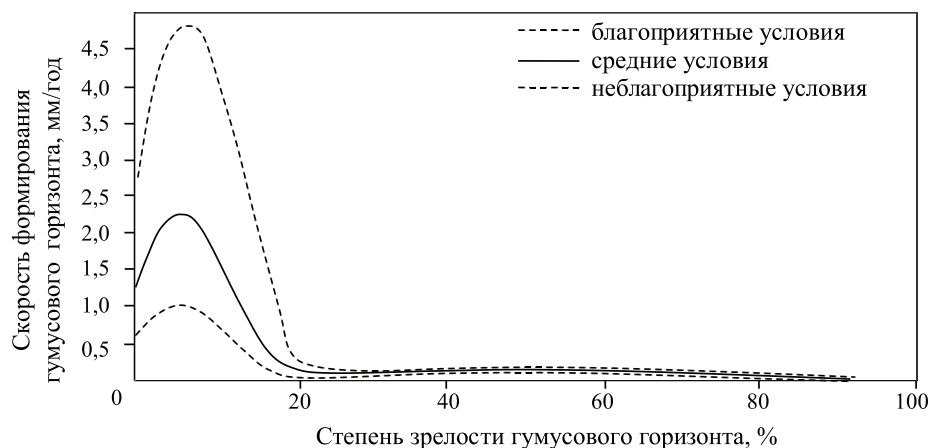


Рис. 1. Зависимость скорости формирования гумусового горизонта лесостепных чернозёмов от степени его зрелости (предельной мощности, 1200 мм) в разных условиях почвообразования

тора развития, сохраняя асимптотическую устойчивость на протяжении нескольких столетий. При этом в процессе достижения гумусовым горизонтом определённого предела в функциональном развитии формируются предпосылки для медленного роста в области «притяжения» второго аттрактора, соответствующего климатически обусловленной предельной мощности гумусового горизонта. Возникает область перехода, характеризующаяся повышенной сенсорностью почвенной

системы к действию нового ведущего фактора почвообразования – климата (рис. 2).

На рис. 3 представлена схема теоретических оснований для моделирования процесса роста гумусового горизонта новообразованных чернозёмных почв.

Процесс формирования гумусового горизонта лесостепных чернозёмов можно описать следующей системой уравнений, построенных на основе функции Гомперца:

$$\begin{cases} H_t = 200 \cdot \exp(-\exp(0,769 - 0,028) \cdot t), & (t < 70); \\ H_t = 1200 \cdot \exp(-\exp(0,742 - 0,00029) \cdot t), & (t \geq 70), \end{cases} \quad (1)$$

где H_t – мощность гумусового горизонта, мм; t – время почвообразования, годы.

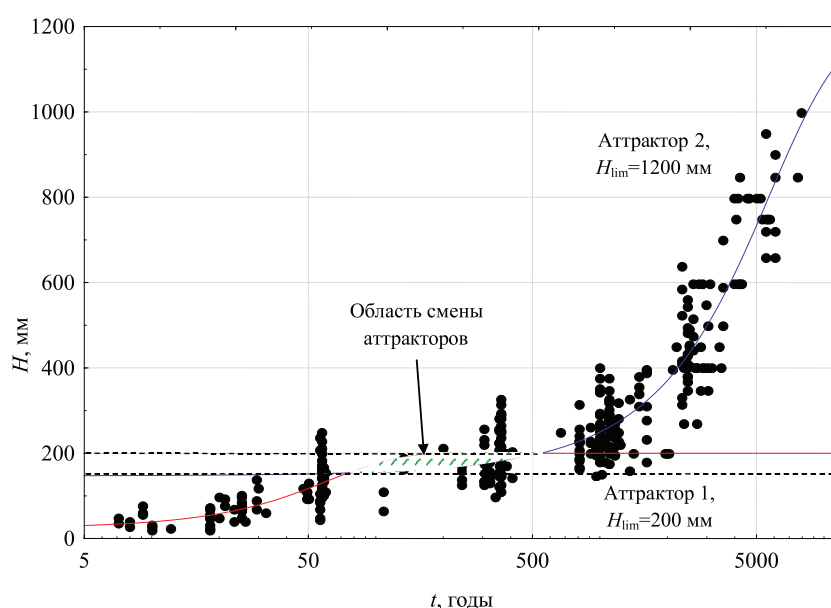


Рис. 2. Области действия и смены аттракторов на графике роста мощности гумусового горизонта лесостепных чернозёмов (H , мм) во времени (t , годы). Ось времени представлена в логарифмированном виде

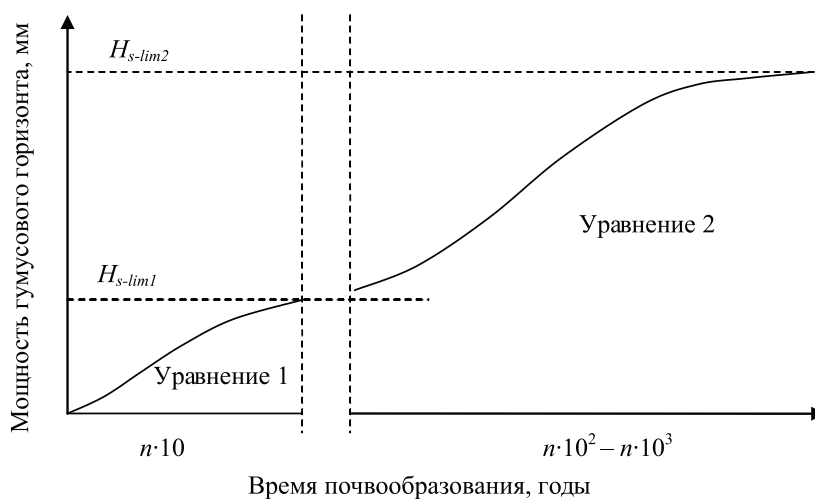


Рис. 3. Схема процесса роста гумусового горизонта лесостепных чернозёмов

Исследование полученного уравнения даёт следующие результаты. Скорость формирования гумусового горизонта лесостепных чернозёмов в основную фазу роста на начальном этапе рецентного почвообразования составляет 1,5–2,1 мм/год с максимумом в 28-летнем возрасте почвы. В наиболее благоприятных условиях скорость формирования генетического профиля почвы превышает 8 мм/год. Стабилизация процесса начинается в 60-летнем возрасте почвы. В это время, очевидно, происходит изменение соотношения механизмов роста гумусового горизонта: преимущественно «инситное» его формирование в зоне активного гумусонакопления сменяется превалярованием элювиально-иллювиальной ассимиляции породного материала нижележащих горизонтов почвы. В масштабах общего характерного времени формирования гумусового горизон-

та чернозёмов этот период «перестройки» довольно узок: его продолжительность вряд ли превышает 100–200 лет. Расчетным путем (решением системы уравнений (1) и их производных) можно определить хроноинтервал развития почвы, в котором динамика формирования гумусового горизонта начинает описываться уравнением «медленного роста» – 70–170 лет.

С позиций синергетики такое поведение почвенной системы соответствует схеме кризиса в её развитии, обусловленного онтогенетическими причинами. Результатом этого кризиса является смена аттрактора. Это хорошо заметно на графике объединённых фазовых траекторий (рис. 3), построенном для хроноряда развития гумусового горизонта лесостепных чернозёмов с возрастом 7–7900 лет. В таблице представлены статистические характеристики выделенных аттракторов.

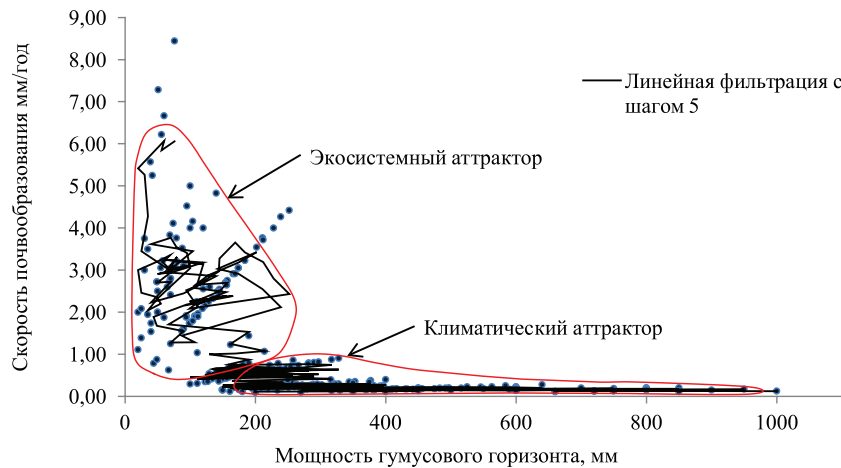


Рис. 4. Зависимость скорости формирования гумусового горизонта лесостепных чернозёмов от его мощности

Статистические характеристики аттракторов формирования гумусового горизонта чернозёмов

Статистическая характеристика	Экосистемный аттрактор		Климатический аттрактор	
	Скорость, мм/год	Мощность, мм	Скорость, мм/год	Мощность, мм
Среднее	2,88	100,64	0,31	337,57
Доверительный интервал среднего (p = 95 %)	0,29	11,26	0,03	24,67
Стандартная ошибка	0,15	5,75	0,01	12,58
Медиана	2,64	94	0,23	271
Мода	2,00	70	0,45	400
Стандартное отклонение	1,40	54,20	0,20	191,68
Коэффициент вариации	48,65	53,86	64,07	56,78
Экссесс	3,07	0,02	1,43	1,16
Асимметричность	1,45	0,74	1,45	1,34
Минимум	0,63	20	0,10	100
Максимум	8,44	252	1,07	1000
Объём выборки	89	232		

Первый аттрактор, названный нами «экосистемным», характеризуется медианной скоростью 2,67 мм/год, имеет более «рыхлую» структуру, по сравнению со вторым – «климатическим». Это связано с большей «свободой поиска» устойчивого состояния почвенной системы и, вероятно, с большей управляемостью её развитием. Главный предиктор роста гумусового горизонта на данном этапе почвообразования – мощность зоны активного гумусонакопления, соответствующая слою с наибольшей концентрацией подземного опада травянистых экосистем [3]. Второй аттрактор, с медианной скоростью роста гумусового горизонта 0,23 мм/год, обусловлен более жёстким предиктором – зональным биоклиматическим потенциалом почвообразования [1], который характеризуется меньшей вариабельностью в пределах одной климатической зоны, чем, например, разнообразие субстратно-фитоценологических условий почвообразования. Медианные центроиды аттракторов имеют следующие значения в системе координат мощность/скорость роста:

- 1) 94 мм; 2,64 мм/год;
- 2) 271 мм; 0,23 мм/год.

В онтогенетической шкале это положение соответствует 8 и 23% от предельной мощности, а в хронологической – возрасту почв в 38 и 1188 лет.

Заключение

В эмпирически установленной смене режимов формирования гумусового профиля черноземов, очевидно, проявляется наличие кризиса, связанного со снижением фиксации гумусовых веществ в почвенном материале в зоне «инситного» гумусонакопления и высокой интенсивности зоогенного перемешивания, а также переходом к медленному распределению гумусовых веществ вниз по профилю за счёт преиму-

щественно абиотических процессов. Это позволяет судить о разных по значимости уровнях мощности гумусового горизонта:

1) экологически достаточном, обеспечивающем устойчивое функционирование экосистемы;

2) климатически обусловленном – имеющем биосферное значение.

В управлении развитием почв необходимо особое внимание уделить воспроизводству почв в области «экосистемного аттрактора», т.к. это состояние почвенной системы определяет продукционные характеристики биоценоза. Вместе с тем задачи охраны почв обязательно должны включать сохранение полноценного габитуса гумусового профиля, как депонирующего углерод блока биосферы.

Исследования выполнены при поддержке гранта Президента РФ МД-6807.2015.5.

Список литературы

1. Волобуев В.Р. Введение в энергетику почвообразования. – М.: Наука, 1974. – 128 с.
2. Голеусов П.В. Воспроизводство почв в антропогенно нарушенных ландшафтах лесостепи / П.В. Голеусов, Ф.Н. Лисецкий. – М.: ГЕОС, 2009. – 210 с.
3. Голеусов П.В. Особенности воспроизводства ресурсных характеристик травянистых фитоценозов в антропогенно нарушенных экосистемах лесостепной зоны // Научные Вестники БелГУ. – Серия Естественные науки. – 2012. – № 3 (112). – Вып. 18. – С. 124–130.
4. Князева Е.Н. Законы эволюции и организации сложных систем / Е.Н. Князева, С.П. Курдюмов. – М.: Наука, 1994. – 236 с.
5. Таргульян В.О. Почва как биокосная природная система: реактор, память и регулятор биосферных взаимодействий / В.О. Таргульян, Т.А. Соколова // Почвоведение. – 1996. – № 1. – С. 34–47.
6. Таргульян В.О. Почвообразование и элементарные почвообразовательные процессы // Почвоведение. – 1985. – № 11. – С. 36–45.
7. Элементарные почвообразовательные процессы: Опыт концептуального анализа, характеристика, систематика. – М.: Наука, 1992. – 184 с.
8. Targulian V.O. Soil system and pedogenic processes: Self-organization, time scales, and environmental significance / V.O. Targulian, P.V. Krasilnikov // Catena. – 2007. – Vol. 71. – Issue 3. – P. 373–381.