

**Таблица 13.2.** Средние содержания и потери гумуса в черноземах на пашне различной длительности (над чертой –  $C_{орг}$ , % от исходного, под чертой – относит. потери, % в год)

Слой, см	Целина	Средняя продолжительность пашни, лет					Бесменный пар, 50 лет (по Тюгай и др., 2006)
		10	30	60	120	230	
0-50	<u>100</u>	<u>95</u>	<u>88</u>	<u>80</u>	<u>76</u>	<u>74</u>	<u>75</u>
	0	-0.5	-0.35	-0.27	-0.07	±0.1	-0.50
50-100	<u>100</u>	<u>95</u>	<u>93</u>	<u>93</u>	<u>93</u>	<u>83</u>	<u>75</u>
	0	-0.5	-0.1	менее -0.05			-0.50

Суммарные биоминерализационные потери запасов гумуса в пахотном слое автоморфных черноземов (0–20 см) составляют 25–30% от целинных, а в слое 0–150 см – 10–13% от исходных. Значимость фактора биоминерализации в потерях гумуса видна на примере опыта с «вечным» 50-летним паром в Стрелецкой степи, заложенным в 1947 г. А.Ф. Большаковым: биоминерализационные потери гумуса здесь тотальны по всему профилю и составляют 25% от исходных (табл. 13.2).

Сказанное не дает оснований для благодушия: дегумификация черноземов – процесс длительный и инерционный, охватывает сотни лет и является практически нерегулируемым для профиля в целом.

### 13.2. Черноземообразование на лёссовых отвалах, рецентный онтогенез и скорость регенерации почв

К числу важнейших механизмов гомеостаза экосистем в условиях внешнего воздействия относятся процессы самовосстановления нарушенных компонентов. Эти процессы компенсируют качественные и количественные потери живой природы и биокосных тел, а также снижают дисбаланс, связанный с изменением абиотических компонентов. Регенерация биоты, безусловно, играет ведущую роль в восстановлении нарушенных экосистемных связей, опосредуя взаимодействия в системе климат→рельеф→материнские породы. По скорости и последовательности сменяющих друг друга стадий регенерационная динамика экосистем может протекать в рамках первичных (на впервые экспонированной породе), квазипервичных (на преобразованной почвообразованием и/или выветриванием породе а также на нарушенной почве (по Т.А. Работнову, 1983) или вторичных (на сохранившейся почве) сукцессий.

При техногенных нарушениях природных геосистем регенерационные процессы начинаются незамедлительно и, как правило, протекают в рамках зональных сценариев воспроизводства компонентов и восстановления функционирования экосистем. Но часто в ходе техногенной трансформации ландшафта создаются эдафотопы, не имеющие аналогов среди фоновых геосистем (например, при экспонировании горных пород, не являющихся почвообразующими для современных почв). В таких случаях молодые регенерационные

экосистемы могут длительно находиться в состоянии поиска устойчивых состояний.

Одним из перспективных вариантов интеграции почвоведческого и экологического подходов может стать представление о почвенных сукцессиях, разрабатываемое И.И. Васневым (2001). Другой вариант связан с возможностью рассмотрения регенерационных процессов в единой схеме онтогенеза (в его полном или сжатом проявлении) компонентов геосистемы в процессе ее экологической ренатурации (Голеусов, Лисецкий, Чепелев, 2001; Голеусов, 2002; Голеусов, Лисецкий, 2009).

Характер динамики регенерационных экосистем описывается моделями процессов роста и достижения климаксного (квазиустойчивого) состояния, в том числе S-образными (сигмовидными) функциями. В отношении воспроизводства почв применение в моделировании ростовых функций (в частности, функции Гомпертца) предложено Ф.Н. Лисецким (2000). Таким образом, имеется возможность рассмотрения регенерационной динамики в рамках единого методологического подхода, отражающего эти процессы как элементы саморазвития и самоорганизации экологических систем.

С прагматической точки зрения выявление закономерностей регенерации почвы как системоорганизующего компонента биогеоценоза позволит разработать подходы к управлению восстановительными процессами. В настоящее время мероприятия по экологической реставрации (реабилитации) нарушенных экосистем ориентированы преимущественно на формирование их биотических компонентов (искусственных насаждений) и оптимизацию эдафических свойств субстрата. В итоге устойчивость реставрированных сообществ зависит от ограничений, формируемых запаздыванием воспроизводства почв по отношению к искусственным сменам растительности. Очевидно, что долгосрочного реставрационного эффекта невозможно достичь без обеспечения расширенного воспроизводства педосистем в системе мероприятий по комплексной экологической реабилитации нарушенных геосистем.

Начиная с 1998 года нами проводятся исследования воспроизводства почв и биоты в экосистемах с нарушенным почвенно-растительным покровом. Среди объектов исследования – техногенные (нарушенные горно-добывающей промышленностью) ландшафты, оборонительные сооружения времен Великой Отечественной войны, земляные укрепления Белгородской и Изюмской черты (XVII в.), валы городищ Средневековья (VIII–X вв.) и скифского времени (V–III вв. до н.э.), древнерусские захоронения (XII–XIV вв.), курганы эпохи бронзы (сер. III – II тыс. до н.э.). Эти объекты имеют исторически и археологически датированное начало регенерационных процессов, что позволяет их использовать в качестве пространственно-временных моделей для исследования процессов воспроизводства компонентов нарушенных геосистем. Правомерность использования данного подхода обеспечивается эргодичностью самоорганизации геосистем как пространственно-временного компенсационного явления, допускающего возможность проводить замены оценок во времени оценками в пространстве и наоборот.

К настоящему времени банк данных о природном воспроизводстве почв включает более 400 объектов, для которых описаны морфология и проанализированы физико-химические свойства новообразованных почв. В географическом отношении район экспедиционных работ охватывал подзоны южной тайги (Ленинградская область), широколиственных лесов (Орловская область), типичной и южной лесостепи (на территории Центрально-Черноземного региона России, северных областей Украины), степных районов Юга России (Таманский п-ов) и Украины (Керченский п-ов). Наибольшей эмпирической обеспеченностью характеризуется массив данных о формировании черноземов в условиях типичной лесостепи.

При планировании, анализе и интерпретации результатов полевых исследований реализован эколого-генетический подход к изучению регенерационной динамики антропогенно нарушенных геосистем. Результаты оценки почвообразовательного потенциала климатических и субстратно-фитоценотических условий почвообразования в лесостепной зоне обстоятельно изложены в (Голусов, 2003; Лисецкий, Чепелев, 2003).

Онтогенетические закономерности воспроизводства почв были исследованы с использованием традиционного метода хронорядов дневных новообразованных почв и метода математического (имитационного) моделирования.

**Регенерационные сукцессии.** Анализ регенерационных сукцессий в антропогенно нарушенных ландшафтах свидетельствует о достаточно раннем формировании квазиустойчивой структуры молодых экосистем, развитие биотического компонента которых идет опережающими темпами по отношению к оптимизации эдафических свойств (в том числе развитию почв) экотопа. Уже на полувековом этапе формирования травянистых фитоценозов в лесостепной зоне изменение их адаптивной структуры и наращивание биомассы вступают в «фазу стагнации» (рис. 13.6 и 13.7) и обуславливаются медленным воспроизводством почвенного плодородия.

К полувековому возрасту экосистем стабилизируются численность и структура почвенной мезофауны сапрофагов. Численность наиболее важных групп

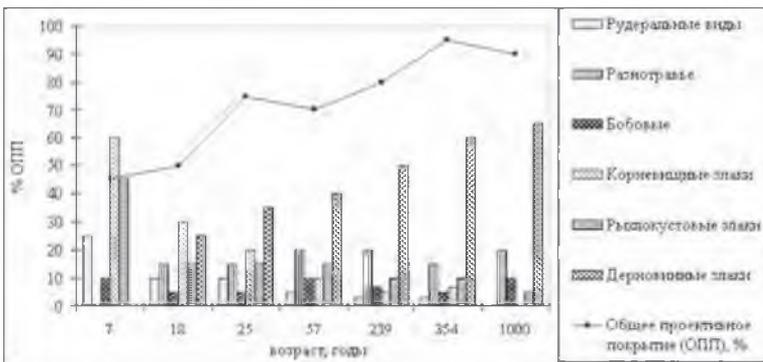
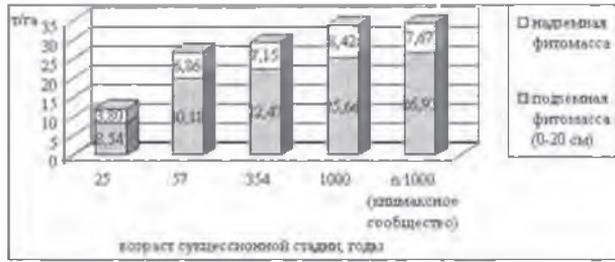


Рис. 13.6. Развитие структуры травянистых фитоценозов в ходе регенерационной сукцессии (подзона типичной лесостепи)



**Рис. 13.7.** Фитомасса разнотравно-злаковой группировки на разных этапах восстановительной сукцессии

(Lumbricidae, Diplopoda, Oniscoidea) достигает 70–100% от фонового уровня (Голеусов, 2012). При этом функцию заселения новых экотопов выполняют виды-доминанты ненарушенных экосистем. Обладая наибольшей экологической устойчивостью, эти виды наилучшим образом восполняют «дефицит» функции деструкции мертвого органического вещества в молодых экосистемах и поэтому представляют наибольшее значение для целенаправленной интродукции.

Скорость регенерационных изменений в молодых экосистемах зависит от характера нарушений почвенно-растительного покрова, который предопределяет течение первичных или вторичных сукцессий: в случае локальных, «диффузных» нарушений наличие квазистабильного экофона «катализирует» восстановительные процессы в нарушенных участках. Но даже при масштабных нарушениях почвенно-растительного покрова (в карьерно-отвалных комплексах) при экспонировании субстратов с относительно благоприятными эдафическими свойствами (рыхлых нетоксичных горных пород) скорость смены и ценотическая характеристика отдельных сукцессионных стадий соответствуют сценарию вторичных или квазипервичных сукцессий.

Воспроизводство почв на вновь экспонированной материнской породе проходит ряд стадий, связанных с функциональной и морфологической организацией профиля. Во многом эти стадии связаны с освоением биоценозом верхней части субстрата и формирования подземной вертикальной структуры (распределения корней и ярусов обитания педобионтов). Важную роль играет также формирование блока мертвого органического вещества (опада). Процессы преобразования субстрата живыми организмами и продуктами их жизнедеятельности изначально встраиваются в систему элементарных процессов почвообразования, приводящих к морфологическому обособлению почвенных горизонтов. Эти стадии сингенеза биоценоза и почвы удобно рассматривать в рамках хронорядов дневных почв, формирующихся на однотипной породе.

Раннее становление травянистой растительной группировки с доминированием корневищных и рыхлодерновинных злаков, характерное для объекта с 7-летним зарастанием лёссовидного суглинки, определяет дифференциацию профиля почвы на горизонты, связанные с вертикальным распределением продуктов гумификации надземного и подземного опада. Хорошо выражен гумусово-аккумулятивный горизонт ( $A_1$ , 0–13 мм), буровато-серого цвета,

равномерно прокрашенный гумусом, с признаками копрогенного структурообразования. Ниже следует неоднородный по цвету, со следами активной деятельности дождевых червей переходный горизонт с непрочной зернисто-комковатой структурой ( $A_1C$ ). Граница с нижележащим горизонтом нечеткая. В верхнем слое материнской породы имеются признаки иллювиирования гумуса (Ch), глинистой фракции, зачатки призмовидной структуры, характерно наличие многочисленных гумусовых «прожилок» – по ходам сгнивших корней, что свидетельствует об активном гумусонакоплении *in situ*. Корни злаков проникают на глубину 30–35 см, а наибольшее их количество сосредоточено в слое 0–8 см. На данном этапе почвообразования еще трудно выделить границы почвенных горизонтов (лучше всего обособлен горизонт  $A_1$ ), что связано с «транзитным» характером миграционных ЭПП, профильная локализация результатов протекания которых еще не имеет устойчивого характера.

На 25-летнем этапе почвообразования формирование дернины (в фитоценозе доминируют типчак и мятлик луговой) способствует морфологическому обособлению обогащенного детритом горизонта Ad. Мощность гумусового горизонта увеличивается почти вдвое по сравнению с предыдущей стадией, улучшается структурная организация горизонта  $A_1$ . Горизонт  $A_1C$  имеет хорошо выраженную комковато-зернистую структуру, копрогенные агрегаты однородно прокрашены гумусом, но в целом преобладает пленочное, поверхностное адсорбирование гумусовых веществ. Заметно разуплотнение гумусового горизонта по сравнению с нижележащей породой (изначально субстрат был сильно уплотнен тяжелой техникой). Продолжается развитие иллювиальных процессов в горизонте Ch (в будущем – BC).

В профиле 57-летней почвы уже выделяются горизонты, характерные для полнопрофильной почвы – зонального аналога, общая мощность профиля увеличилась по сравнению с предыдущей стадией почти втрое. Быстрый рост профиля почвы, в первую очередь гумусового горизонта, очевидно, связан с выходом фитоценоза (стадия сложной группировки) на относительно стационарный уровень продуктивности. Структура почвы выражена более отчетливо: комковато-зернистая в горизонте  $A_1$ , зернисто-комковатая – в  $A_1B$ , крупнокомковатая с зачатками призмовидной – в BCca. Намечаются признаки перераспределения карбонатов: вскипание от 10 %-ной HCl – с 1 см, а в горизонте BCca – мучнистые выделения  $CaCO_3$ .

В системе ЭПП начального этапа почвообразования ведущую роль играет процесс накопления и формирования структуры органического вещества почвы. Изменения качественного и количественного состояния гумуса также могут быть рассмотрены в хроноряду новообразованных почв (табл. 13.3).

Как следует из табл. 13.3, содержание гумуса в горизонтах  $A_1$  и  $A_1C$  ( $A_1B$ ) новообразованных почв приближается к фоновому уровню уже к 25-летнему возрасту. Однако качественный состав органического вещества молодых почв свидетельствует о его «незрелом» характере: повышенное содержание углерода лабильного гумуса, невысокая степень гумификации органического вещества (%  $C_{TK}$  от  $C_{общ}$ ), более фульватный тип гумуса. Молодые почвы характеризу-

**Таблица 13.3.** Органическое вещество почв хронорядя развития чернозема на лёссовидном суглинке под разнотравно-злаковой растительностью

Возраст почвы, лет	Горизонты	Глубина, см	Гумус	С <sub>общ</sub>	С лабильный*		С <sub>ГК</sub>	С <sub>ФК</sub>	С <sub>остатка</sub>	С <sub>ГК</sub>	Тип гумуса**
			% почвы	% почвы	% С <sub>общ</sub>	% С <sub>общ</sub>			С <sub>ФК</sub>		
7	A <sub>1</sub> +A <sub>1</sub> C	0-3,5	1,55	0,90	0,06	6,67	14,86	24,15	60,99	0,62	ГФ
25	A <sub>1</sub>	0-4	4,11	2,38	0,10	4,20	13,31	18,09	68,60	0,74	ГФ
	A <sub>1</sub> C	4-6,5	1,94	1,12	0,05	4,46	12,22	20,15	67,63	0,61	ГФ
57	A <sub>1</sub>	0-12	3,02	1,75	0,06	3,43	21,01	11,90	67,08	1,77	ФГ
	A <sub>1</sub> B	12-18,5	1,87	1,08	0,05	4,63	18,34	19,55	62,11	0,94	ГФ
ПГА***	A <sub>1</sub>	0-41	4,12	2,38	0,06	2,52	33,72	15,13	51,15	2,23	Г
	A <sub>1</sub> B	41-90	2,83	1,64	0,05	3,05	37,57	12,04	50,38	3,12	Г

\* Углерод лабильного органического вещества определен по методу М.А. Егорова в модификации Б.А. Никитина. \*\* Тип гумуса: Г – гуматный, ФГ – фульватно-гуматный, ГФ – гуматно-фульватный. \*\*\* Полноголоценовый аналог новообразованных почв.

ются также более высоким содержанием углерода негидролизуемого остатка, что косвенно свидетельствует о некоторой задержке гумификации мертвого органического вещества.

Сопоставление гумусированности почв хронорядя развития чернозема на лёссовидном суглинке показывает, что, несмотря на перманентное увеличение запасов гумуса, связанное с увеличением мощности гумусового профиля почв, содержание гумуса не образует непрерывный ряд возрастания от 7-летней почвы к полноголоценовому аналогу – чернозему типичному. Так, от 7 до 25 лет наблюдается увеличение гумусированности горизонта A<sub>1</sub> (скорость гумусонакопления 0,13–0,22%/год), но гумус относится к гуматно-фульватному типу. Затем, к 57-летнему возрасту, быстрый рост мощности гумусового горизонта сопровождается ослаблением его гумусированности. Но повышение степени гумификации органического вещества в горизонте A<sub>1</sub> обуславливает переход к фульватно-гуматному типу гумуса. На наш взгляд, такие структурно-функциональные изменения гумусового профиля развивающейся почвы связаны с выходом молодой экосистемы на близкий к стационарному уровню продукционно-деструкционных процессов.

Анализ хронорядя позволяет сделать вывод о том, что уже в первые десятилетия почвообразования на экспонированной материнской породе происходит формирование почвенного профиля, который обеспечивает устойчивое выполнение биогеоценологических функций почвы. Особенности начального этапа почвообразования связаны с высокой скоростью почвообразовательного процесса (до 9 мм/год) и высокой его вариабельностью, связанной с разнообразием стартовых условий, в первую очередь субстратных. Почвообразование на данном этапе происходит в режиме гиперфункционирования системы «фитоценоз-субстрат» с постепенным повышением роли почвы как фактора устойчивости и управления ходом сукцессии экосистемы. К концу полувекового этапа развития молодые аккумулятивно-гумусовые почвы лесостепи достигают 20% мощности профиля полноголоценовых аналогов и имеют практически сформированную почвенную матрицу (последовательность генетических горизонтов).

Высокая лабильность почвенной системы на данном онтогенетическом этапе обосновывает возможность управления почвообразовательным процессом, которое будет наиболее результативным в первые десятилетия развития почв.

При экспонировании рыхлых горных пород (в чистом виде или в виде техногенных смесей), которые в своей геологической истории были почвообразующими, прошли этап физико-химического выветривания, обладают относительно благоприятными эдафическими и почвообразовательными свойствами, реализуется ускоренный вариант почвообразования с высокой стартовой скоростью процесса формирования гумусового горизонта (1,0–1,5 мм/год). Ему соответствуют ускоренные варианты квазипервичных сукцессий биоты.

В случае экспонирования плотных или фитотоксичных горных пород реализуется сценарий почвообразования с длинной фазой начального роста и стартовой скоростью до 0,5 мм/год. Он сопровождается первичными сукцессиями биоты с продолжительными стадиями пионерных группировок.

Эффективность формирования свойств почвы на ранних этапах ее развития в значительной мере обусловлена отношениями в системе «биота–субстрат», что служит исходной причиной поливариантности почвообразования. Многие элементарные почвообразовательные процессы протекают в примитивных почвах (возраст  $n$ : 10 лет) намного интенсивнее, чем при их выходе на вековой и тысячелетний этапы развития.

**Рецентное почвообразование.** Совокупность этих характеристик воспроизводства почвы на вновь экспонированной материнской породе позволяет выделить особый вариант вторичного почвообразования – рецентное (от лат. *recent* – недавний, последний). Почвы, связанные с рецентным почвообразованием, можно назвать молодыми или раннегенеративными. Рецентное почвообразование следует отличать от первичного почвообразования на слабовыветрелых и(или) фитотоксичных горных породах, сопровождающего первичные сукцессии биогеоценозов. Рецентное почвообразование можно считать «сокращенным», ускоренным вариантом почвообразования, который отличается от первичного прежде всего тем, что в нем практически не выражена начальная стадия медленного роста.

Динамические особенности рецентного почвообразования могут быть выявлены в ходе имитационного моделирования на основе массива почвенно-хронологических данных, полученных для разновозрастных поверхностей, на которых осуществляется естественное восстановление почвенно-растительного покрова. В сформированном авторами банке данных о морфологическом строении разновозрастных новообразованных почв информация о ранней стадии почвообразования составляет не менее трети.

В опыте определения трендовой составляющей для процесса роста гумусового горизонта лесостепных черноземов было установлено неадекватное описание начальных этапов этого процесса уравнениями, полученными с использованием основного массива почвенно-хронологических данных (Голеусов, Лисецкий, 2009). Объективно это явление связано с довольно резким (во вре-

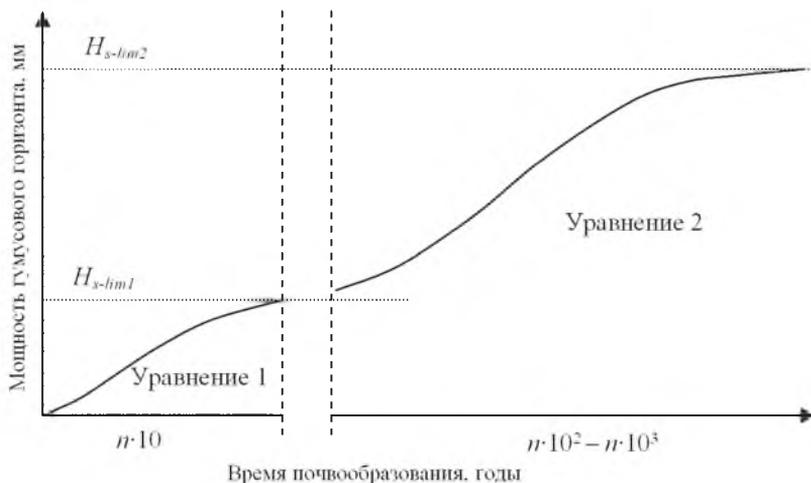
менном масштабе педогенеза) замедлением роста гумусового горизонта и профиля почвы в целом при выходе экосистемы на вековой этап самовосстановления. В таком случае направленность тренда рецентного почвообразования вряд ли может быть описана моделью с константными параметрами. Логике процесса формирования гумусового горизонта черноземов в первые десятилетия, вероятно, соответствовала бы модель, отражающая постепенное возрастание скорости почвообразования (пропорционально увеличению поступления органического вещества в субстрат в ходе развития фитоценоза, становлению микробиоценоза, почвенной фауны). Затем, после достижения пика, модель должна отражать постепенное снижение скорости почвообразования по мере установления баланса органического вещества в зоне максимального освоения субстрата почвенной биотой. Такой характер динамики математически может быть описан с использованием семейства сигмоидных моделей роста. При этом обосновано теоретическое предположение, что динамические закономерности развития почвы должны сохраняться на всех этапах ее онтогенеза.

В модели трендовой компоненты процесса роста мощности гумусового горизонта ( $H_t$ ), использующей функцию Гомперца  $H_t = H_{s-lim} \cdot \exp(-\exp(a - \lambda \cdot t))$ , принципиальное значение имеет определение сбалансированного уровня развития данного морфологического признака ( $H_{s-lim}$ ), т.е. «предельной» для определенного этапа педогенеза мощности. Значение  $H_{s-lim}$  для периода голоцена можно с некоторой долей условности диагностировать по квазиклиматским, не испытывавшим морфологической деградации голоценовым почвам. Определенной проблемой становится обоснование значения предельной мощности гумусового горизонта, формируемой к моменту перехода к его «медленному» росту в хроноинтервале  $n \cdot 100 - n \cdot 1000$  лет. Эмпирически эту мощность можно определить в 200–250 мм. Фактически она соответствует зоне наибольшего насыщения профиля почвы корневой биомассой. В связи с этим в травянистых экосистемах существуют предпосылки для достаточно быстрого воспроизводства морфологического строения и свойств гумусового профиля почв в пределах зоны активного гумусонакопления с замедлением регенерационных процессов.

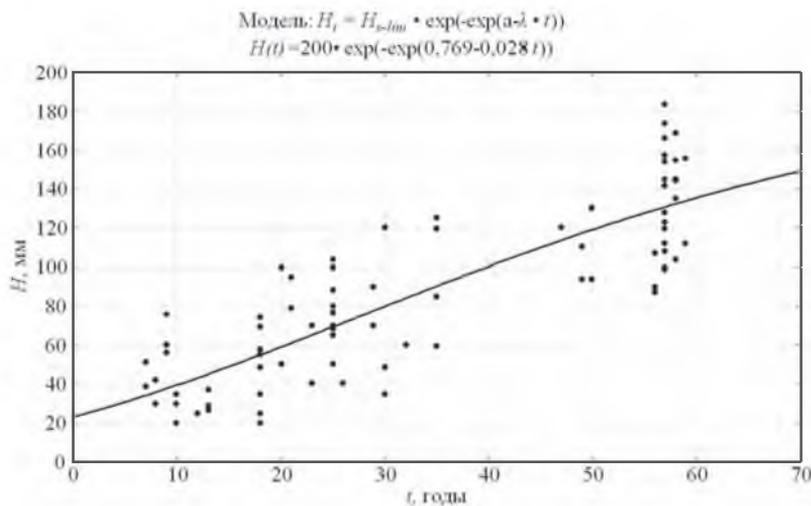
На рис. 13.8 представлена схема теоретических оснований для моделирования процесса роста гумусового горизонта новообразованных почв в ходе рецентного почвообразования.

На рис. 13.9 приведены график и уравнение кривой Гомперца для начального этапа рецентного почвообразования.

Исследование полученного уравнения дает следующие результаты. Скорость формирования гумусового горизонта в основную фазу роста на начальном этапе рецентного почвообразования составляет 1,5–2,1 мм/год с максимумом в 28-летнем возрасте почвы. Стабилизация процесса начинается в 60-летнем возрасте почвы. В это время, очевидно, происходит «перенастройка» механизмов роста гумусового горизонта: преимущественно «инситу» его формирование в зоне активного гумусонакопления сменяется превалированием элювиально-иллювиальной ассимиляции породного материала нижележащих горизонтов



**Рис. 13.8.** Схема процесса роста гумусового горизонта почв в ходе рецентного почвообразования



**Рис. 13.9.** Изменение мощности гумусового горизонта ( $H$ ) почв во времени ( $t$ ) в ходе начальной стадии рецентного почвообразования под травянистой растительностью в лесостепной зоне

почвы. В масштабах общего характерного времени формирования гумусового горизонта черноземов этот период смены динамических характеристик процесса довольно узок: его продолжительность вряд ли превышает 100–200 лет. Расчетным путем можно определить хроноинтервал развития почвы, в котором динамика формирования гумусового горизонта начинает описываться уравнением «медленного роста» – 70–170 лет. В итоге процесс формирования гумусового горизонта лесостепных черноземов в ходе рецентного почвообразования можно описать следующей системой уравнений:

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

Использование функций со «ступенчатым характером» для описания динамики геосистем вполне обосновано (Моделирование динамики..., 2000). В эмпирически выявляемой смене режимов формирования гумусового профиля черноземов, очевидно, проявляется наличие псевдобифуркации – перехода молодой геосистемы из одного (начального, неравновесного) состояния в другое, более равновесное. Переход к фазе «медленного развития» морфологических и функциональных свойств почвы совпадает с началом относительно устойчивого выполнения ею экосистемных функций.

Осуществляя переход от шкалы абсолютного времени почвообразования к шкале внутреннего времени данного процесса, можно диагностировать зависимость скорости регенерации морфологических признаков почв от степени их онтогенетической зрелости. Скорость роста гумусового горизонта черноземов начинает снижаться после достижения 10 % мощности, отражающей равновесное со средой (квазиклимаксное) состояние почв. Исследования рецентного почвообразования, проведенные в дубравах лесостепи, зоне широколиственных лесов и южной тайге, показали, что для серых лесных почв это значение составляет 15–20%, для дерново-подзолистых – 40–50%.

Начальные стадии воспроизводства гумусового горизонта отличаются более высокой скоростью почвообразования по сравнению со стадиями зрелых и полноразвитых почв. Данный процесс зависит от зональных климатических (энергетических) условий почвообразования, а также от особенностей органо-минеральных взаимодействий в данных условиях. Наиболее быстрое воспроизводство почв происходит при формировании (восстановлении) экологически «достаточной» мощности гумусового горизонта, обусловленной возможностью почвы устойчиво выполнять экосистемные функции. Эмпирическим путем можно определить эту мощность: для черноземов – 20% их предельной мощности; для серых лесных почв – 30%; для дерново-подзолистых – 80–90%. Таким образом, для лесостепных и степных почв экологически «критической» является утрата 70–80% мощности гумусового горизонта, в то время как для дерново-подзолистых – 10–20%. В системе эколого-реабилитационных мероприятий управление процессами регенерации почв должно обеспечивать максимально эффективное воспроизводство именно такого уровня морфофункционального развития, так как в дальнейшем скорость регенерации будет определяться саморазвитием педосистемы и медленным достижением ею устойчивого состояния.

Результаты исследований регенерационных процессов в антропогенно нарушенных геосистемах стали обоснованием разрабатываемой концепции экологической ренатурации геосистем (Голеусов, 2002; Голеусов, Лисецкий, 2005). Под *ренатурацией* мы понимаем совокупность процессов естественного воспроизводства компонентов и функционирования природной геосистемы, выведенной из состояния равновесия в результате антропогенного воздействия,

а также природную эволюцию антропогенной геосистемы, в которой была прекращена хозяйственная деятельность. Под *ренатурированием* мы понимаем контролируемое человеком возвращение природного режима функционирования антропогенно нарушенным геосистемам посредством преимущественного использования природных механизмов воспроизводства их ресурсного потенциала в пределах экономически приемлемого горизонта планирования. Геосистемы, находящиеся в режиме управляемой ренатурации, снова могут быть вовлечены в специально регламентированное хозяйственное использование.

Воспроизводство почв на вновь экспонированной материнской породе (рецентное почвообразование) относится к важнейшим регенерационным процессам природных экосистем. Его следует рассматривать в общей схеме онтогенеза регенерационной экосистемы как изначально ведомый, но уже через 5–7 лет как самостоятельный системоорганизующий процесс, опосредующий взаимодействия биоты и субстрата.

Природные экосистемы имеют высокий потенциал воспроизводства почв: скорость формирования важнейших почвенных характеристик на начальном этапе на два порядка превышает интенсивность этих процессов в зрелых почвах. Уровень развития морфологических и функциональных признаков почв, обеспечивающих относительно устойчивое функционирование экосистемы, достигается к полувековому этапу регенерации экосистемы (экологической ренатурации). Для черноземов «экологически достаточной» является мощность гумусового горизонта 20% от предельной, для серых лесных почв – 30%; для дерново-подзолистых – 80–90%. Дальнейшее развитие почвы происходит в режиме медленного роста с низкими скоростями основных профилеобразующих процессов.

В развитии почвенной системы в период стабилизации регенерационных изменений экосистемы происходит смена режимов функционирования («псевдобифуркация»), временная протяженность которой составляет около 100 лет, после чего рост морфологических и функциональных параметров начинает соответствовать модели «медленного роста». Уровень предельного значения мощности гумусового горизонта для модели «быстрого роста» определяется преимущественно экосистемными параметрами (подземной вертикальной структурой продукционно-деструкционного блока), в то время как предельное значение этого морфологического признака для модели «медленного роста» обусловлено уровнем почвообразовательного потенциала данного геотопа (в более широком понимании – климата и ландшафта).

Закономерности рецентного почвообразования могут быть использованы в разработке системы эколого-реставрационных мероприятий в антропогенно нарушенных ландшафтах. Основой экологических технологий ренатурирования должны стать стимулирующие воздействия, направленные на повышение эффективности природных процессов экологической ренатурации. Однако следует учитывать, что естественные регенерационные процессы относительно быстро формируют лишь «экологически достаточный» уровень развития почвенной системы.