

УДК 631.48

**Ф. Н. ЛИСЕЦКИЙ, П. В. ГОЛЕУСОВ**

Белгородский государственный университет

## **ВОССТАНОВЛЕНИЕ ПОЧВ НА АНТРОПОГЕННО НАРУШЕННЫХ ПОВЕРХНОСТЯХ В ПОДЗОНЕ ЮЖНОЙ ТАЙГИ**

*На основе исследования датированных антропогенных сооружений приводятся результаты изучения закономерностей развития дерново-подзолистых почв на протяжении первых 600 лет от нуля-момента почвообразования. Установлена общность хронологических закономерностей воспроизводства морфологического строения дерново-подзолистых и черноземных почв.*

Ключевые слова: *скорость почвообразования, гумусовый горизонт, южная тайга, дерново-подзолистые почвы, моделирование.*

*Based on investigating dated anthropogenic structures, we present the results derived from studying the development features of soddy podzolic soils over the course of the first 600 years from the zero time of soil formation. A commonness of the chronological regularities has been ascertained for the reproduction of morphological structure of soddy podzolic and chernozemic soils.*

Keywords: *soil formation rate, humus horizon, southern taiga, soddy podzolic soils, modeling.*

### **ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ**

Антропогенное нарушение почвенного покрова в эпоху индустриального развития общества стало широко распространенным фактором, вызывающим запуск природных регенерационных процессов с нуля-момента. Формирование новообразованных почв на нарушенных или созданных человеком поверхностях вместе с восстановительными сукцессиями биоты составляет основу регенерационной динамики экосистем. Зональные условия протекания этих процессов определяют специфику достижения устойчивого (квазиклиматического) состояния экосистем и их компонентов.

Новообразованные почвы на антропогенно нарушенных поверхностях неоднократно становились объектом почвенно-генетических исследований в подзонах средней и южной тайги [1–5]. Основные результаты этих работ могут быть обобщены следующим положением: в первые десятилетия почвообразования формируется практически весь комплекс морфофункциональных признаков молодых почв, что позволяет диагностировать направленность их развития в зональные почвенные подтипы. Е. В. Абакумовым с соавторами [5] проведено сопоставление свойств разновозрастных почв техно-

© 2011 Лисецкий Ф. Н. (liset@bsu.edu.ru), Голеусов П. В. (goleusov@bsu.edu.ru)

генных ландшафтов Ленинградской области, сформированных в первые десятилетия. Однако выявление онтогенетических закономерностей почвообразования требует рассмотрения достаточно протяженных хронорядов почв, без чего выводы о характерном времени протекания почвенно-регенерационных процессов будут недостаточно обоснованы. В исследованиях, проведенных в подзоне средней тайги Западной Сибири [6], рассмотрены новообразованные почвы с возрастом 1500 и 2700 лет, которые более полно отражают предклимаксные стадии рецентного почвообразования, по сравнению с почвами возраста  $n \cdot 10$  лет. Тем не менее, в этих исследованиях отмечена незаконченность морфофункциональной организации профиля изученных почв.

В настоящее время оптимальный по статистическим показателям объем почвенно-хронологической информации (более 350 объектов) накоплен для зональных условий лесостепи. Результаты анализа этой информации содержатся в монографии [7]. Цель данной работы состояла в том, чтобы реализовать подход к исследованию природного воспроизводства почв, разработанный авторами и апробированный ранее в лесостепной зоне [7], применительно к условиям южной тайги.

### ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Район исследований включает западную часть Сланцевского и южную часть Кингисеппского районов Ленинградской области. Территория расположена в пределах южнотаежной подзоны дерново-подзолистых почв и входит в состав Прибалтийской провинции дерново-подзолистых слабогумусированных почв. В соответствии с новой классификацией почв России [8] фоновые почвы исследуемой территории относятся к отделу альфегумусовых почв, типу дерново-подзолов, представленных в основном подтипами иллювиально-железистыми и псевдофибровыми. Авторы придерживались в статье традиционных классификации почв и индексации горизонтов [9].

Климат на исследуемой территории переходный от морского к континентальному. Средняя температура января  $-7^\circ\text{C}$ , июля  $15^\circ\text{C}$ . Атмосферных осадков выпадает за год до 850 мм. Величина радиационного баланса составляет 1382 МДж/(год·м<sup>2</sup>). Расчетные значения энергетических затрат на почвообразование [10] в районе исследования оцениваются величинами от 924 до 993 МДж/(год·м<sup>2</sup>).

Объектом исследования служит хронологический ряд (педохроноряд), который составлен из 18 почв, сформировавшихся на антропогенных поверхностях различного происхождения: шахтные отвалы АО «Ленинградсланец» (разр. 1–5); участки, нарушенные при ведении строительных работ (разр. 13, 15, 18); оборонительные сооружения времен Великой Отечественной войны (разр. 14, 17); развалины крепости Ямбург в г. Кингисепп (разр. 14); курганные могильники XI–XIV вв. (разр. 7–12) (рис. 1). Датировку начала почвообразования проводили историческим методом по документированным сведениям о прекращении антропогенной деятельности, в том числе по данным археологических сводок [11, 12].

В связи с большим разнообразием субстратно-фитоценологических и топологических условий исследованных объектов в качестве условного зонального аналога нами описана дерново-среднеподзолистая супесчаная почва на слоистых флювиогляциальных отложениях под пологом вторичного березово-соснового кисличного леса (0,5 км от дер. Горбово Сланцевского района, разр. 6). Ее морфологические признаки и физико-хими-

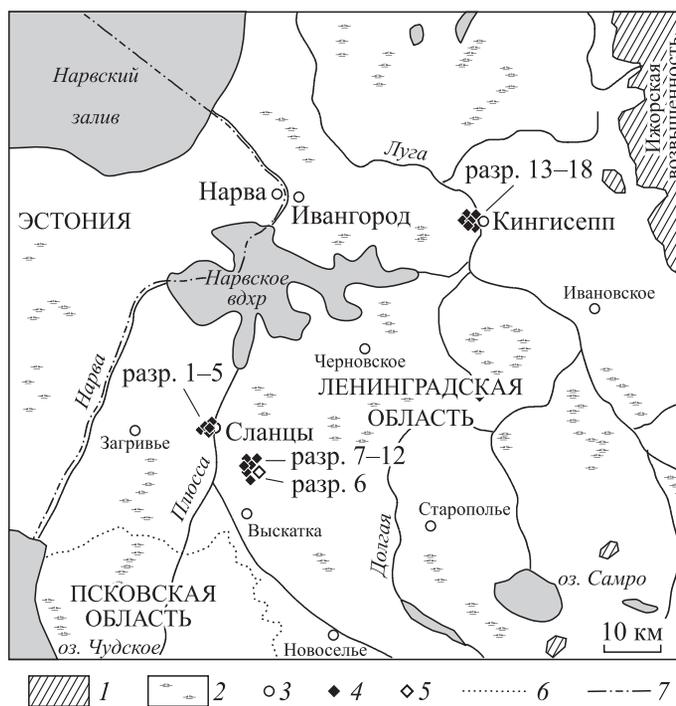


Рис. 1. Объекты почвенно-хронологических исследований на территории Ленинградской области.

1 — возвышенности; 2 — заболоченные низменности; 3 — населенные пункты; 4 — точки заложения разрезов новообразованных почв; 5 — место заложения разреза почвы — зонального аналога. Границы: 6 — субъектов РФ, 7 — государственная.

ческие свойства, отражающие статус, близкий к климаксовой стадии, использованы в качестве опорного объекта для интерпретации свойств новообразованных почв, сформированных на песчаной материнской породе.

Особенность реализованного подхода к исследованию природного воспроизводства почв заключается в использовании моделей рецентного (нового) почвообразования для обоснования воспроизводства почв и получения корректного представления о скорости этого процесса.

### ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Результатом рецентного почвообразования является воспроизводство морфологического строения и функциональной организации профиля нарушенной почвы (табл. 1). Если вследствие локального нарушения сохраняются тип почвообразующей породы и биогеоценоотическое окружение, то новообразованная почва на финальной (близкой к климаксовой) стадии развития по строению и свойствам будет соответствовать фоновой. Разнообразные литологические условия техногенных отвалов при сохранении ведущих элементарных почвообразовательных процессов (ЭПП) зонального (биоклиматического) типа почвообразования могут привести к появлению новых элементов в структуре почвенного покрова нарушенной территории. В работе Н. П. Солнцева и др. [13] «преемственность» почв нарушенных участков по отношению к неизменным фоновым предложено оценивать по степени воспроизводства «почвенной матрицы» — последовательности почвенных горизонтов. Для дерново-подзолистых почв эта «матрица» имеет такой стандартный вид: A0–A1–A1A2–A2–A2B–B–BC.

В новообразованных почвах воспроизводится, хотя и асинхронно, зональная последовательность почвенно-генетических горизонтов независимо от типа материнской породы (см. табл. 1). Рассматривая ряды новообразованных почв, близких по гранулометрическому (преимущественно супесчаному) составу, можно определить следующую последовательность формирования почвенного профиля в рамках исследованного хроноинтервала от 6 до 600 лет.

I. 6 лет: A0–(A1 + A1A2)–AC.

II. 15–30 лет: A0–A1–A1A2–A2B–BC.

III. 30–600 лет: A0–A1–A1A2–A2–A2B–BC.

IV. Полновозрастной аналог: A0–A1–A1A2–A2–A2B–B–BC.

Таблица 1

Морфологическое строение профиля новообразованных почв

Номер разреза	Возраст, лет	Тип материнской породы	Глубина нижней границы почвенных горизонтов, мм							
			A0	A1	A1A2	A2	A2B	B	BC	
3	6	Щк	25	17 ± 7*		—	36 ± 12 (AC)		—	70 (C)
1	15	ПРк	27	20 ± 3	36 ± 4	—	64 ± 5		—	89 ± 5
2	15	ПЩк	10	30	62	—	90		—	120
13	19	ПРк	10	38 ± 7	83	—	96 ± 35		—	170
15	24	Сл	5	41 ± 5	97 ± 15	—	232 ± 11		—	390
5/1	32	ПЩк	20	14 ± 5	37 ± 7	85 ± 9	122 ± 11		—	164 ± 8
5/2	32	ПЩк	25	19 ± 5	—	90 ± 10	119 ± 13		—	170 ± 4
5/3	32	ПЩк	20	14 ± 8	—	88 ± 11	130 ± 2		—	178 ± 7
5/4	32	ПЩк	15	21 ± 6	33	65 ± 22	90 ± 11		—	162 ± 11
5/5	32	ПЩк	15	18 ± 7	58 ± 7	100 ± 9	145		—	180
16	60	П	10	65 ± 8	123 ± 9	—	272 ± 41		—	Не опр.
17	60	НГ	5	62 ± 5	140	234 ± 12	320 ± 24		—	453 ± 13
17/1	74	ПР	—	79 ± 8	131 ± 19	282 ± 7	Не опр.		Не опр.	Не опр.
18	134	ПР	5	98 ± 5	168 ± 9	325 ± 16	444 ± 21		—	694 ± 12
14	188	Щк	8	90 ± 9	183 ± 8	—	245 ± 11		—	275
10	600	НГ	30	96 ± 9	168 ± 22	332 ± 23	486 ± 13		690	Не опр.
11	600	ПР	25	103 ± 11	174 ± 22	369 ± 24	490 ± 39		700	1260
12	600	НГ	25	101 ± 14	164 ± 24	390 ± 43	650		740	Не опр.
6	Не опр.	ПР	20	150	210	430	620		970	»

Примечание. ПР — песок рыхлый; ПРк — песок рыхлый карбонатный; ПС — песок связанный; СП — супесь; Сл — суглинок легкий; ПЩк — песок со щебнем известняка; Щк — щебень карбонатный; НГ — насыпь из гумусированного материала. При наличии замеров в повторениях приведены доверительные интервалы выборок ( $\bar{x} \pm t_{0.5}S$ ). Звездочкой отмечено: разделение профиля почвы на отдельные горизонты затруднительно. Прочерки — генетический горизонт не выражен.

В работе [5], где обсуждаются результаты почвообразования на суглинистом субстрате в сходных биоклиматических условиях (техногенные ландшафты Кингисеппского района), элювиальная часть профиля в почвах возраста 10–19 лет авторами не диагностирована. Наши исследования морфологии молодых почв позволяют предположить, что при наличии субстрата, содержащего значительное количество мелкозема, возможна ранняя (6–15 лет) элювиально-иллювиальная организация профиля новообразованных почв.

Варьирование факторов почвообразования может ускорять или задерживать зарождение некоторых генетических горизонтов почв. Например, при участии травянистой растительности гумусово-аккумулятивный горизонт (A1) появляется раньше и выражен лучше, чем под лесной растительностью (см. табл. 1, разр. 13 и 15 по сравнению с разр. 5/1–5/3, 5/5). Содержание карбонатов в материнской породе (например, в виде карбонатного щебня) замедляет обособление элювиального горизонта A2 (см. табл. 1, разр. 14).

Изменение во времени роли и интенсивности отдельных ЭПП можно характеризовать через соотношение мощностей гумусово-аккумулятивной, элювиальной и иллювиальной частей почвенного профиля (A1 + A1A2:A2 + A2B:B + BC). В зональной почве оно имеет вид 1:2:4, что свидетельствует о преобладании элювиально-иллювиальных почвообразовательных процессов. В почвах хроноряда такая пропорция достигнута для 600-летних почв. В первые десятилетия почвообразования чаще наблюдается соотношение, близкое к 1:2:1. Под травянистой растительностью ведущие ЭПП протекают более сбалансированно (1:1,5:1,5). На ранних стадиях развития дерново-подзолистых почв продукты элювиирования, по-видимому, выносятся за пределы зоны первичной, хронологически обособляемой, толщи почвенного профиля, поэтому иллювиальные горизонты формируются медленнее элювиальных. В целом, завершение морфологической организации профиля исследованных почв имеет характерное время  $n \cdot 100$  лет.

Существует несколько подходов к расчету характерного времени процессов почвообразования. Так, на основе компьютерного моделирования [14] установлено, что по величине годового опада и запасов органического вещества в генетических горизонтах дерново-подзолистых почв характерное время для горизонта A0 составляет 20 лет, для горизонта A1 — 60, для горизонтов AB, B и BC — 80 лет. В работе [6] экстраполяционным методом определено, что характерные времена процессов, характеризующих элювиально-иллювиальную дифференциацию профиля подзолистых почв, находятся в пределах от 1500 до 8000 лет. С нашей точки зрения, для получения адекватного представления о закономерностях развития почвенных свойств во времени целесообразно использовать математические модели, разработанные на эмпирической базе почвенно-хронологических данных.

В монографии [15] обосновано использование класса S-образных функций для моделирования процессов формирования почвенных горизонтов во времени, показана их применимость для описания развития почвы как биокосной системы класса ростовых функций, ранее успешно апробированных применительно к биологическим системам. С учетом теоретических эколого-ресурсных представлений о почве и перспектив использования результатов в практической деятельности наиболее актуально моделирование процесса становления гумусового профиля почв. В связи с этим нами проведено моделирование формирования мощности гумусового горизонта исследованных почв в антропогенно нарушенных ландшафтах (обозначим общую мощность горизонтов A1 + A1A2 (мм) для конкретного возраста почвы  $t$  как  $H_t$ ).

Модель описывает динамику фронтального нисходящего гумусирования исходного субстрата, т. е. совокупности органо-минеральных взаимодействий, обуславливающих продвижение нижней границы гумусового горизонта. В качестве аппроксимирующей функции нами использованы функция роста обобщенного типа [16] и, после обоснования возможности упрощения, функция Гомпертца (рис. 2), имеющая вид:

$$H_t = H_{S-LIM} \cdot \exp(-\exp(a - \lambda t)),$$

где  $H_{S-LIM}$  — предельная мощность гумусового горизонта  $H$  в конкретных биоклиматических условиях для определенного грануломет-

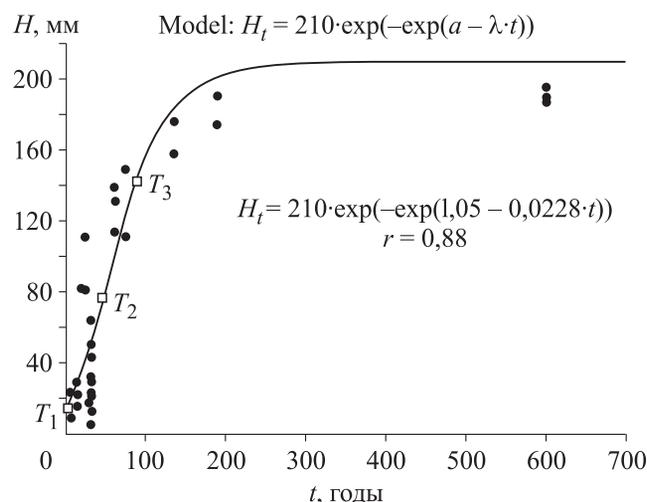


Рис. 2. Зависимость формирования мощности гумусового горизонта ( $H$ ) дерново-подзолистых почв от времени ( $t$ ).

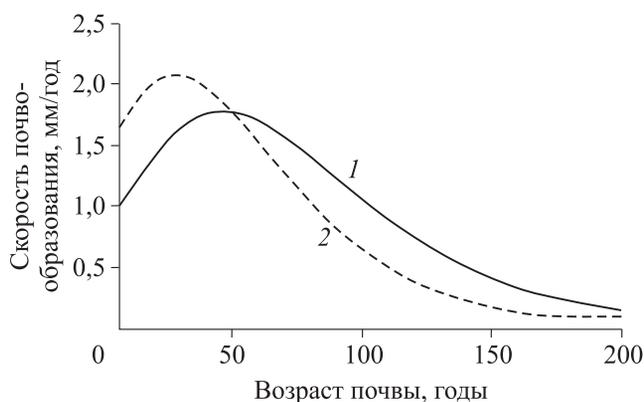


Рис. 3. Скорость формирования гумусового горизонта дерново-подзолистых почв (1) и черноземов лесостепи (2).

рического состава почвообразующих пород (принята 210 мм, соответственно условно фоновой почве);  $t$  — время почвообразования, годы;  $a$  — константа, отражающая начальные условия почвообразовательного процесса;  $\lambda$  — константа, зависящая от биоклиматических условий почвообразования.

Для корректного построения хроноряда почв значения мощности  $H$  пересчитаны с поправкой на равновесную объемную массу, определенную для горизонта А1 условно фоновой почвы. Почвы хроноряда, для которых замеры мощности  $H$  произведены в повторениях, заданы двумя точками, отражающими границы доверительного интервала выборок.

Таблица 2

**Физико-химические свойства разновозрастных почв южной тайги**

Горизонт	Глубина, см	Гумус, %	Азот общий, %	C/N	рН (KCl)	Сумма поглощенных оснований		Гидролитическая кислотность	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , % (по Тамму)
						ммоль/дм <sup>3</sup> в 100 г почвы			
<i>Разрез 15 (возраст 24 года)</i>									
A1	0–4	3,38	0,162	12,1	7,07	23,92		0,98	0,22
A1A2	4–10	1,39	0,014	57,5	6,63	8,64		0,65	0,21
A2B	10–23	0,36	0,021	9,9	6,56	4,42		0,33	0,23
BC	23–39	0,30*	0,035	5,0	6,52	6,23		0,56	0,38
<i>Разрез 18 (возраст 134 года)</i>									
A1	0–10	3,93	0,056	40,6	7,10	34,37		0,33	0,70***
A1A2	10–17	1,86	Сл.	—**	7,19	5,5		0,33	0,60
A2	17–33	0,13	0,049	1,5	6,94	3,22		0,49	0,11
A2B	33–44	0,24	0,077	1,8	6,90	2,21		0,49	0,12
BC	44–69	0,12	0,035	2,0	6,61	3,82		0,33	0,07
<i>Разрез 11 (возраст около 600 лет)</i>									
A1	0–10	4,63	0,084	31,9	6,39	21,31		1,63	0,36
A1A2	10–17	1,98	Сл.	—	5,03	8,64		3,59	0,22
A2	17–37	0,50	0,074	3,9	4,66	2,01		2,28	0,17
A2B	37–49	0,45	0,092	2,8	4,63	1,91		1,79	0,23
B	49–70	0,27	Сл.	—	4,87	2,61		1,30	0,32
BC	70–126	0,36*	0,024	8,7	5,42	5,43		1,47	0,28
<i>Разрез 6 (зональная почва)</i>									
A1	0–13	4,63	0,032	83,8	6,00	22,11		3,42	0,46
A1A2	13–19	1,69	0,035	28,0	5,55	8,24		2,44	0,38
A2	19–41	0,39	0,021	10,8	5,04	4,42		1,63	0,12
A2B	41–60	0,12	Сл.	—	4,83	1,01		1,14	0,10
B	60–97	0,13	0,081	0,9	5,71	8,54		0,65	0,53
BC	>97	0,13	Сл.	—	5,35	4,22		0,81	0,12

\* Насыпной субстрат характеризуется повышенным содержанием углерода.

\*\* Расчет отношения C/N невозможен из-за минимального количества азота.

\*\*\* Почва железнодородной насыпи содержит техногенное железо.

Определение ключевых моментов процесса формирования  $H$  возможно при исследовании полученной модели по схеме, изложенной ранее [16]. Основные фазы роста  $H$  определяются точками  $T_1$  (начало роста, максимальное ускорение процесса),  $T_2$  (середина, максимум скорости роста),  $T_3$  (завершение роста, минимальное ускорение процесса). В полученной модели  $T_1$  соответствует возрасту почв 4 года,  $T_2$  — 46 лет,  $T_3$  — 88 лет (см. рис. 2).

Стартовый этап формирования  $H$  (0–6 лет) характеризуется довольно быстрым преобразованием растительного опада (A0) в органо-минеральный горизонт, в результате чего средняя скорость этого процесса (полученная делением мощности  $H$  на возраст) составляет от 3 до 6 мм/год. Этот хроноинтервал не описывается моделью, поэтому расчет «мгновенных» скоростей процесса возможен, начиная только с возраста почв в 4–6 лет. Можно предположить, что после начального (0–6 лет) формирования гумусового горизонта скорость его роста резко снижается. Затем, в промежуток времени от 4–6 до 46 лет, скорость роста  $H$  снижается до 1,76 мм/год, а далее — до 1,25 мм/год, начиная с хроноточки  $T_3$ . После 200 лет почвообразования скорость формирования  $H$  становится ниже значения 0,14 мм/год.

При анализе результатов моделирования установлено, что стабилизация процесса формирования гумусового горизонта дерново-подзолистых почв происходит уже в 80-летнем возрасте. Отметим, что для лесостепных черноземов стабилизация роста гумусового горизонта ( $A + AB = H$ ) на начальной стадии этого процесса происходит после 70 лет почвообразования, однако стадия с преобладанием элювиально-иллювиального механизма роста  $H$  длится более 5000 лет [17]. Анализ «мгновенной» (рассчитанной по модели) скорости роста горизонта  $H$  дерново-подзолистых почв показал, что значения этого показателя сопоставимы с полученными ранее для условий рецентного почвообразования в лесостепной зоне, но достижение максимума скорости происходит на 10–15 лет позже, чем в черноземах (рис. 3).

Таким образом, определенное различие энергетических затрат на почвообразование (в среднем на 100 МДж/(год·м<sup>2</sup>)) в лесостепной зоне и зоне южной тайги не приводит к существенному различию скоростей формирования гумусового горизонта почв в этих природных зонах в хроноинтервале 0–100 лет.

Воспроизводство морфологического строения профиля дерново-подзолистых почв сопровождается его функциональной организацией, результаты которой проявляются в направленном изменении химических свойств (табл. 2). Как следует из данных табл. 2, практически с первых десятилетий формирования дерново-подзолистые почвы имеют зональный характер профильного распределения химических свойств: регрессивно-аккумулятивный — для гумуса, общего азота; аккумулятивно-элювиально-иллювиальный — для суммы поглощенных оснований, железа. С возрастом усиливается кислотность почв, что повышает интенсивность элювиально-иллювиальных процессов. В 600-летней почве наблюдается практически полное завершение функциональной организации профиля, продолжается развитие горизонтов В и ВС.

## ВЫВОДЫ

Анализ морфологических и функциональных признаков новообразованных дерново-подзолистых почв, сформировавшихся на антропогенных поверхностях, позволяет сделать следующие выводы.

Выявлено, что биоклиматический энергетический потенциал почвообразования изначально предопределяет формирование генетической «матрицы» (последовательности почвенно-генетических горизонтов) фоновых дерново-подзолистых почв, поэтому уже в первые десятилетия можно диагностировать развитие почв в пределах зонального почвенно-генетического ряда.

В первые десятилетия почвообразования (10–30 лет) закладывается практически полный набор эмбриональных горизонтов, причем организация и обособление гумусово-аккумулятивного (A1) и элювиального (A2) горизонтов происходят раньше, чем иллювиальной части профиля.

Несмотря на зональные различия условий формирования черноземных и дерново-подзолистых почв наблюдается общность закономерностей их воспроизводства во времени, т. е. процессы морфологической организации (развертывания онтогенетической программы) подчиняются общим кинетическим закономерностям.

Эти выводы обосновывают возможность разработки единых принципов управления процессами природного воспроизводства почвенных ресурсов в антропогенных геосистемах, учитывающих онтогенетические закономерности начальных стадий рецентного почвообразования.

*Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (03–05–96403) и Белгородского государственного университета (ВКГ 018–04).*

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гагарина Э. И., Баева Р. И., Дворникова Л. Л. Микроморфологическая диагностика почв на отвалах и прилегающих к ним территориях в районе добычи фосфоритов // Проблемы почвоведения. — М.: Наука, 1990. — С. 148–154.
2. Рубилина Н. Е., Холопова Л. Б. Морфология профиля лесных почв на начальных стадиях формирования в подзоне южной тайги // Дegradaция и восстановление лесных почв. — М.: Наука, 1991. — С. 251–259.
3. Холопова Л. Б., Солнцева О. Н. Восстановление локально нарушенного почвенного покрова в хвойно-широколиственных лесах // Лесоведение. — 1999. — № 1. — С. 23–31.
4. Гагарина Э. И., Шелемина А. Н. Эволюционные аспекты почвообразования на земляных военных сооружениях // Материалы Четвертой Всерос. конференции «Проблемы эволюции почв». — М.: ПОЛТЕКС, 2001. — С. 105–107.
5. Абакумов Е. В., Гагарина Э. И., Лисицына О. В. Восстановление почв и рекультивация земель в районе Кингисеппского месторождения фосфоритов // Почвоведение. — 2005. — № 6. — С. 731–740.
6. Махонина Г. И., Коркина И. Н. Скорость восстановления почвенного покрова на антропогенно-нарушенных территориях (на примере археологических памятников Западной Сибири) // Экология. — 2001. — № 1. — С. 14–19.
7. Голушов П. В., Лисецкий Ф. Н. Воспроизводство почв в антропогенно нарушенных ландшафтах лесостепи. — М.: ГЕОС, 2009. — 207 с.
8. Классификация и диагностика почв России. — Смоленск: Ойкумена, 2004. — 342 с.
9. Классификация и диагностика почв СССР / Егоров В. В., Фридланд В. М., Иванова Е. Н. и др. — М.: Колос, 1977. — 220 с.
10. Волобуев В. Р. Энергетика почвообразования // Изв. АН СССР. Сер. биол. — 1959. — № 1. — С. 45–54.
11. Лапшин В. А. Археологическая карта Ленинградской области: Справочник. В 2-х ч. Ч. 1: Западные районы. — Л.: Изд-во Ленингр. ун-та, 1990. — С. 63.
12. Туристский путеводитель по Ленинградской области / Под ред. М. Б. Биржакова. — СПб: Издат. дом «Герда», 2003. — 352 с.
13. Солнцева Н. П., Герасимова М. И., Рубилина Н. Е. Морфогенетический анализ техногенно преобразованных почв // Почвоведение. — 1990. — № 8. — С. 124–129.
14. Ковда В. А., Бугровский В. В., Керженцев А. С., Зеленская Н. Н. Модель трансформации органического вещества в почве для количественного изучения функций почвы в экосистемах // Докл. АН СССР. — 1990. — Т. 312, № 3. — С. 759–762.
15. Лисецкий Ф. Н. Пространственно-временная организация агроландшафтов. — Белгород: Изд-во Белгор. ун-та, 2000. — 304 с.
16. Шмидт В. М. Математические методы в ботанике. — Л.: Изд-во Ленингр. ун-та, 1984. — 288 с.
17. Goleusov P. V., Lisetskii F. N. Soil development in anthropogenically disturbed forest-steppe landscapes // Eurasian Soil Sci. — 2008. — Vol. 41, № 13. — P. 1480–1486.

*Поступила в редакцию 24 мая 2010 г.*