

БИОЛОГИЯ ПОЧВ

УДК 574.42:504.53:631.484

И. Б. Арчегова, А. Н. Панюков, Е. Г. Кузнецова, В. А. Ковалева

РОЛЬ БИОЛОГИЧЕСКОГО ФАКТОРА В ПРОЦЕССЕ ФОРМИРОВАНИЯ ПОЧВЫ В ТАЕЖНОЙ ЗОНЕ

На примере формирования почвы в процессе самовосстановительной сукцессии на пост-техногенном участке в подзоне средней тайги рассмотрены следующие вопросы: почва — компонент экосистемы; главный фактор и сущность почвообразования; механизм устойчивости экосистемы и ее компонентов. Исследования проведены на двух пробных площадках, сформировавшихся в одних и тех же условиях на однотипном техногенном субстрате в процессе самовосстановительной сукцессии многолетней травянистой и лесной (ольшаник) экосистем. Теоретический подход в исследованиях опирается на принцип системности. С этих позиций даны характеристики состава растительности, продуктивности растительного сообщества, микробного комплекса, состава водорастворимых веществ, морфологии и химического состава почв. По результатам исследования установлена связь между типами растительного сообщества и формированием особенностей морфологического строения, свойств новообразованных почв как закономерного результата воздействия биологического фактора и главного механизма стабильного функционирования экосистемы — биологического оборота органического (растительного) вещества. Комплексное изучение формирования почвы в процессе самовосстановительной сукцессии под влиянием разных типов растительного сообщества позволяет рассматривать почвообразование как процесс формирования почвы в качестве биогенно-аккумулятивного компонента экосистемы, обеспечивающего стабильное самовоспроизводство растительного сообщества и экосистемы в целом. Библиогр. 19 назв. Табл. 7.

Ключевые слова: экосистема, трансформация фитомассы, гумус, микробный комплекс, водорастворимые вещества.

I. B. Archegova, A. N. Panyukov, E. G. Kuznetsova, V. A. Kovaleva

ON THE ROLE OF BIOLOGICAL FACTOR IN SOIL FORMATION OF THE TAIGA ZONE

Institute of Biology of the Komi Science Centre of the Ural Division RAS, 28 Kommunisticheskaya st., 167982 Syktyvkar, Komi Republic, Russia, archegova@ib.komisc.ru

Using a sample of soil formation during self-restoration succession at post-technogenic plot in the middle taiga subzone, we have discussed the following questions: soil as an ecosystemic component; main factor and principles of soil formation; resistance mechanism of ecosystem and its components. The studies were conducted at two sample plots which had formed under the same conditions on homogeneous technogenic material during self-restoration succession of perennial grassy and forest (alder) ecosystems. The theoretical approach was based on the principle of systematicity. In accordance with that principle, plant composition, productivity of plant community, microbe complex, composition of water-soluble substances, morphology and chemical characteristics of soils were surveyed. Plant community types were found to be associated with morphological structure and properties of newly-formed soils, as a result of biological factor and biological organic (plant) matter cycle. Complex

И. Б. Арчегова (archegova@ib.komisc.ru), А. Н. Панюков (panjukov@ib.komisc.ru), Е. Г. Кузнецова (kuznecova@ib.komisc.ru), В. А. Ковалева (kovaleva@ib.komisc.ru), Институт биологии Коми научного центра Уральского отделения РАН, Сыктывкар, ул. Коммунистическая, 28

© Санкт-Петербургский государственный университет, 2016

investigation of soil formation during self-restoration succession of different-type plant communities allowed for identifying soil formation as a formation process of biogenic-accumulative ecosystemic component which ensures stable self-reproduction of plant communities and whole ecosystem. Refs 19. Tables 7.

Keywords: ecosystem, phytomass transformation, humus, microbe complex, water-soluble substances.

Введение

Со второй половины XX века в ряде публикаций обсуждается необходимость развития теоретического почвоведения. Важно напомнить высказывания С. В. Зонна о назревших проблемах в почвоведении, требующих расширения методологической базы изучения почв [1]. И. А. Соколов отмечал необходимость пересмотра узловых вопросов теоретического почвоведения [2]. В частности, до настоящего времени не определена нижняя граница почвы как объекта природы, отсутствуют ее конкретные критерии. Это не позволяет дать достаточно строгое определение почвы, без чего затруднено решение проблемы классификации почв при широком географическом разнообразии природных условий [3]. Подробный обзор дискуссии по теоретическим проблемам изучения почв сделан нами ранее [4, 5].

В настоящей статье на примере формирования почвы в процессе самовосстановительной сукцессии рассмотрены следующие вопросы: почва — компонент экосистемы; главный фактор и сущность почвообразования; механизм устойчивости экосистемы и ее компонентов.

Следует отметить, что особенности формирования почв на разных этапах самовосстановительной сукцессии на посттехногенных территориях изучались многими исследователями, что детально изложено в книге Е. В. Абакумова и Э. И. Гагариной [6]. Большинство отечественных авторов указывает, что основными процессами формирования молодых почв являются биогенная аккумуляция и трансформация органического вещества. По мнению В. А. Андроханова с соавт. [7], именно эти процессы составляют генетическую и экологическую сущность почвообразования. Отмечено, что особенности гумусообразования во многом определяются типом растительности. В некоторых работах зарубежных исследователей также установлено, что на разных стадиях сукцессии видовой состав растительного сообщества оказывает влияние на состав органического вещества почвы [8] и почвенную биоту [9].

Теоретический подход в наших исследованиях опирается на принцип системности. С его позиций любая экосистема (первичная природная единица) является целостным образованием функционально взаимосвязанных компонентов — растительного сообщества, поставляющего органическое (растительное) вещество, пула микроорганизмов, трансформирующих отмирающую фитомассу с образованием гумуса, элементов питания растений, а также осваиваемого растительным сообществом субстрата, в котором они аккумулируются, обеспечивая устойчивое самовоспроизводство биотического компонента. Механизмом, определяющим взаимосвязь компонентов, является биологический оборот органического вещества, формирующего субстратную основу, объединяющую в неразрывное целое биоту со средой обитания [5]. Ни один из элементов экосистемы не может функционировать вне связи с другими, не может быть восстановлен отдельно от них, т. е. вне экосистемы.

Материал и методика

Исследования проводили в подзоне средней тайги на стационарном участке, находящемся в 17 км к юго-западу от г. Сыктывкар (Республика Коми).

Объектами наблюдения были две пробные площадки, расположенные параллельно друг другу вдоль автотрассы Сыктывкар—Киров на породе (покровный пылеватый суглинок), оставленной после реконструкции автотрассы. Растительные сообщества на обеих площадках формировались с «нуля» в ходе самовосстановительной сукцессии. На начало наших наблюдений на выровненной полосе породы с одной стороны дороги сформировалось разнотравно-злаковое сообщество, с другой стороны на придорожном увале из той же породы — сероольшаник хвощово-разнотравный. Площадь каждой площадки — 150 м².

Описание растительности на площадках выполняли общепринятыми в геоботанике методами [10]. Названия сосудистых растений даны в соответствии с системой, предложенной С. К. Черепановым [11]. Учет фитомассы напочвенного покрова проводили по Л. Е. Родину и др. [12].

На исследуемых площадках в 2000 г. были отобраны почвенные образцы из верхних генетических горизонтов для проведения химического анализа, который осуществляли общепринятыми в почвоведении методами [13]. Исследование фракционно-группового состава гумуса вели по И. В. Тюрину в модификации В. В. Пономаревой и Т. А. Плотниковой [14]. Микробиологический анализ почвенных образцов проводили общепринятыми в почвенной микробиологии методами [15]. Численность эколого-трофических групп определяли методом посева почвенной суспензии на ряд твердых питательных сред. Общую численность почвенных грибов определяли методом посева на среду Чапека. Таксономическую принадлежность почвенных грибов идентифицировали с использованием определителей [16, 17] и интерактивных «ключей» и информационного сайта — <http://www.indexfungorum.org>. Биомассу микроорганизмов определяли методом люминесцентной микроскопии [15]. Статистическую обработку результатов проводили с использованием программ Statistica 6.0 и Excel 2007.

Исследовали химический состав лизиметрических вод, собираемых под органическим слоем почвы. В почвах под органо-аккумулятивным слоем (гор. Адер + А1 на площадке с разнотравно-злаковым сообществом и гор. А0А1 в ольшанике) были установлены в трех повторностях лизиметры — сосуды с воронками, водосборная площадь которых составляла 50 см². Сбор вод осуществляли в начале вегетации (конец мая — начало июня) и ее конце (сентябрь — начало октября). В водах определяли рН и содержание NH₄⁺, NO₃⁻, PO₄³⁻, C_{орг}, K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, SO₄²⁻, Cl⁻. Величину рН определяли потенциометрически, содержание NH₄⁺, NO₃⁻, PO₄³⁻, SO₄²⁻ — фотометрически, Cl⁻ — меркурометрически, K⁺ — на спектрометре SP-90A (Великобритания), Ca²⁺, Mg²⁺ — на атомно-адсорбционном спектрофотометре фирмы Hitachi (Япония), C_{орг} — по Тюрину.

Результаты и обсуждение

На площадке, расположенной на выровненной полосе породы, к началу третьего десятилетия самовосстановительной сукцессии оформилось многолетнее разнотравно-злаковое сообщество. Общее число видов трав 32. Общее проектив-

ное покрытие (ОПП) 90%. В травостое преобладают луговые злаки, определяющие «луговой» тип экосистемы, — *Agrostis gigantea*, *Phleum pratense*, а также *Deschampsia cespitosa*, *Calamagrostis canescens*, *Dactylis glomerata* (обилие по шкале Браун—Бланке от 3 до 4). В составе лугового сообщества представлены виды лугового разнотравья — *Trifolium pratense*, *Picris hieraclioides* (обилие 3), *Lathyrus pratensis*, *Vicia cracca*, *Leucanthemum vulgare* (обилие 2). Следует отметить сохранение в видовом составе видов-эксплерентов (сорно-рудеральных растений), характерных для начальных этапов самовосстановительной сукцессии, — *Tussilago farfara* (обилие 2–3), *Taraxacum officinale* (обилие 2), *Artemisia vulgaris* (обилие 1).

Следует отметить развитие мохового покрова из пионерных видов зеленых и печеночных мхов. В весенний период, в самом начале вегетации их ПП может достигать 10–15%. Однако впоследствии при развитии травяного покрова их участие в сложении напочвенного яруса крайне незначительно, доля мхов в наземной фитомассе составляет менее 1%.

Определение продуктивности разнотравно-злакового сообщества подтверждает ведущую роль злаков — на их долю приходится 79–83% общей живой наземной фитомассы, в то время как на разнотравье — 16–20% (табл. 1).

Таблица 1. Количество и состав живой наземной фитомассы в разнотравно-злаковом сообществе

Образец, повторность	Воздушно-сухая масса, г/м ²	Доля основных компонентов, %
1. Общая масса:	364,00	100,00
злаки	288,80	79,34
разнотравье	75,20	20,66
2. Общая масса:	394,80	100,00
злаки	324,80	82,27
разнотравье	70,00	17,73
3. Общая масса:	361,60	100,00
злаки	300,80	83,18
разнотравье	60,80	16,82

В соответствии с составом и строением растительного сообщества происходит преобразование субстрата. Представление о новообразованной почве дает приводимое ниже описание ее морфологического строения.

На поверхности выражен слой до 2 см отмерших слаборазложившихся растительных остатков.

Адер 0–2(5) см	Суглинистый слой, темно-серо-коричневатый, уплотнен корнями трав, переход в следующий горизонт постепенный по цвету
А1 2(5)–8 см	Суглинок легкий, серо-коричневатый, бесструктурный, рыхлый, имеются корни
1С 8–20 см	Суглинок средний, буро-коричневый, глыбистой структуры, корни встречаются очень редко
2С 20–30 см	Суглинок средний, темно-бурый, бесструктурный, уплотнен, корней нет

ЗС 30–40 см Суглинок средний (до тяжелого), темно-бурый, уплотнен, корней нет, практически такой же, как слой 2С

Почва новообразованная одернованная суглинистая.

На придорожном увале сформировался сероольшаник хвощово-разнотравный. Возраст деревьев ольхи серой 25–30 лет, высота 5–8 м, сомкнутость крон высокая — 0,9–1,0, в древесном ярусе единично также присутствует береза пушистая. В травяном покрове отмечено 33 вида растений, господствует хвощ полевой (*Equisetum arvense*) (обилие по Браун—Бланке — 6). Его содоминантами являются *Stellaria media*, *S. holostea* и *Veronica chamaedris* (обилие 3). Большинство остальных видов: *Ranunculus propinquus*, *Ajuga reptans*, *Cirsium heterophyllum*, *Latherus vernus*, *Pulmonaria obscura* присутствуют с обилием 1 или единично — *Vicia sepium*, *Rubus saxatilis*, *Milium effusum*, *Gymnocarpium dryopteris*. Отличительной чертой травянистого яруса ольшаника является преобладание в нем видов лесного разнотравья и практически полное отсутствие злаков (задернителей), что влияет на характер формирующегося биогенно-аккумулятивного слоя. Общая наземная фитомасса в ольшанике в два-три раза меньше, чем в разнотравно-злаковом сообществе, в ней преобладают листья ольхи (табл. 2). Необходимо отметить, что распределение основных фракций наземной фитомассы ольшаника зависит от сезона вегетации. Так, в начале вегетации доля листового опада невелика — 9%, основная масса приходится на разнотравье. Ближе к концу вегетационного сезона количество листового опада в наземной фитомассе увеличивается и максимум (79–99%) приходится на период активного листопада.

Таблица 2. Величина опада в общей напочвенной фитомассе в ольшанике

Дата сбора опада	Воздушно-сухая масса, г/м ²		Доля листового опада, % от общей массы
	общая	листья	
30.09.1998 г.	76,6	66,4	86,5
20.10.1998 г.	111,2	88,5	79,6
01.06.1999 г.	126,2	11,3	9,0
31.08.1999 г.	52,6	34,9	66,3
20.10.1999 г.	109,6	108,5	98,9
08.09.2000 г.	94,1	23,5	25,0
09.11.2000 г.	244,5	154,2	63,1

В ольшанике также отмечено развитие мохового покрова из пионерных видов зеленых и печеночных мхов в весенний период — небольшими пятнами или в приствольной части крупных деревьев ольхи. В дальнейшем, при развитии травяного покрова их развитие подавляется и участие мохообразных в сложении наземной фитомассы составляет менее 1%.

В ольшанике почва имеет следующее строение:

А0А1 0–3(5) см Рыхлый слой слабо (средне) разложившихся растительных остатков, в нижней части гумусированный суглинок, здесь же сосредоточена основная масса корней

1С 3(5)–15 см Суглинок средний, буровато-коричневый, бурые пятна неопределенной структуры, слабо уплотнен, корни встречаются редко

2С 15–30 см Суглинок средний, буро-коричневый, глыбистой структуры, уплотнен, корней нет
Почва новообразованная лесная суглинистая.

Обе новообразованные почвы характеризуются оформлением биогенно-аккумулятивного органогенного слоя, который различается по строению. Под многолетним травяным сообществом лугового типа выделяются два сопряженных горизонта — уплотненная дернина и минеральный гумусовый слой. Под древесным сообществом — рыхлый органогенный слой, соответствующий формирующейся лесной подстилке. Органо-аккумулятивный слой в обеих новообразованных почвах весьма резко граничит с исходной минеральной породой, т. е. характеризуется четкой морфологически выраженной нижней границей.

Химическая характеристика и биологическая активность отражают морфологическое строение почв. Органогенный слой в обеих почвах выделяется аккумуляцией органического вещества ($C_{орг.}$), а также некоторых элементов-биогенов при снижении этих показателей в минеральной массе непосредственно под органогенным слоем (табл. 3). Особенно резко это выражено по гумусу и азоту в почве ольшаника (переход от лесной подстилки), что характерно для зрелых лесных почв. Несомненно, что аккумуляции азота способствует азотфиксирующая активность симбиотических микроорганизмов в ризосфере ольхи. Повышенное содержание калия в гор. А0А1 в почве ольшаника, по-видимому, связано с преобладанием в травяном покрове хвоща полевого, минеральный состав которого характеризуется высоким содержанием этого элемента [18].

Таблица 3. Результаты химического анализа почвы

Образец, глубина, см	рН вод.	Гумус, %	$N_{гидр.}$	P_2O_5	K_2O	Ca^{2+}	Mg^{2+}
			мг/100 г в.с.п.			ммоль/100 г в.с.п.	
Разнотравно-злаковое сообщество							
Адер 0–2(5)	6,2	2,8	3,4	14,7	5,0	3,7	3,2
А1 2(5)–8	5,7	2,6	1,2	12,1	3,3	2,9	2,5
1С 8–20	6,0	1,8	1,5	8,3	17,4	2,4	1,8
2С 20–40	5,6	1,4	1,4	9,1	18,3	1,9	0,5
Ольшаник							
А0А1 0–3(5)	6,0	15,3	20,4	18,2	24,3	9,1	2,3
1С 5–15	5,4	2,9	2,7	13,1	12,1	5,9	2,7
2С 15–30	5,3	1,5	1,9	16,4	5,9	5,3	2,6

Примечание. в.с.п. — воздушно-сухая почва.

Важной характеристикой преобразования субстрата является состав гумуса (табл. 4). Можно отметить определенные отличия в составе органического вещества в новообразованных почвах в связи с разным качественным составом растительности. В травяном сообществе вертикальное изменение содержания органического вещества ($C_{орг.}$) происходит постепенно, что определяется высокой подвижностью (миграцией) гумуса. Мигрируют гумусовые кислоты (ГК) 1-й фракции,

а также фульвокислоты (ФК) 1-й и 3-й фракций, т. е. в основном новообразованных веществ [14]. Максимум ГК сосредоточен в дернине — $C_{ГК} : C_{ФК} = 2,1$. В древесном сообществе в гор. А0А1 почвы аккумулировано существенно больше органического углерода, при этом в его составе отмечено низкое содержание ГК и ФК, $C_{ГК} : C_{ФК} = 1,1$. Обращает на себя внимание очень значительный нерастворимый остаток, что связано с грубогумусовым типом органогенного слоя, характерным для лесных (подзолистых) почв.

Таблица 4. Состав гумуса новообразованной почвы (в % от $C_{орг.}$)

Образец, глубина, см	$C_{орг.}$, %	Фракции ГК				Фракции ФК					Нерастворимый остаток	$C_{ГК} : C_{ФК}$
		1	2	3	Σ	1а	1	2	3	Σ		
Разнотравно-злаковое сообщество												
Адер 0–2(5)	1,64	17,1	9,8	9,1	36,0	4,3	4,3	3,0	4,9	16,5	47,5	2,1
А1 2(5)-8	1,52	13,1	3,9	8,5	25,5	3,9	9,9	4,6	15,8	34,2	40,3	0,7
1С 8–20	1,02	14,7	5,9	3,9	24,5	4,9	10,8	4,9	16,7	37,3	38,2	0,6
2С 20–40	0,83	8,4	2,4	0	10,8	4,8	8,4	1,2	12,0	26,4	62,8	0,4
Ольшаник												
А0А1 0–3(5)	8,86	1,2	4,3	3,4	8,9	0,3	2,5	3,1	1,9	7,8	83,3	1,1
1С 3(5)-15	1,67	5,4	3,0	5,4	13,8	1,2	2,4	3,6	4,2	11,4	74,8	1,2
2С 15–30	0,89	1,1	0	2,2	3,3	2,2	2,2	4,5	5,6	14,5	82,2	0,2

Приведенные данные позволяют судить, что уже на начальных этапах преобразования субстрата определяющую роль играет тип развивающегося растительного сообщества, т. е. качественный и количественный состав фитомассы, продукты ее трансформации.

Итак, в новообразованном органогенно-аккумулятивном слое обеих почв (дернине, гумусовом горизонте, подстилке) аккумулированы гумус, некоторые элементы-биогены, обменные основания. Под этим слоем происходит снижение данных показателей.

Приведенные данные изучения численности эколого-трофических групп микроорганизмов показывают связь состава микробиоценоза с типом растительного сообщества. Как видно из таблиц 5 и 6, численность бактерий разных физиологических групп в биогенно-аккумулятивном слое почвы в разнотравно-злаковом сообществе выше соответствующих групп в ольшанике. Это четко выражено даже при резком увеличении всех групп микроорганизмов в наиболее активный период вегетации растений (июль).

Однако при этом важно отметить, что коэффициент минерализации $K_{мин}$ (отношение количества микроорганизмов, использующих минеральный азот, к количеству микроорганизмов-аммонификаторов) в обоих растительных сообществах имеет значение, близкое к единице, что связано с общими суровыми природными условиями и замедленностью процессов трансформации органического вещества.

Связь растительного сообщества и почвенного микробиоценоза характеризуют результаты определения биомассы микроорганизмов. В биогенно-аккумулятивном слое почвы (а. с. п.) травяного сообщества биомасса бактерий в горизонте

Адер составляет 0,05, а биомасса грибов 1,44 мг/г а.с.п. В органогенном горизонте почвы ольшаника эти показатели составляют 0,03 и 3,35 мг/г а.с.п. соответственно. Как видно из приведенных данных, грибная биомасса в ольшанике существенно больше, чем в травянистом сообществе, что подтверждает известное характерное преобладание в лесных почвах микромицетов как основных деструкторов растительного опада.

Таблица 5. Численность ($x \pm \Delta$)* эколого-трофических групп микроорганизмов в почве разнотравно-злакового сообщества

Горизонт	Глубина, см	Количество бактерий КОЕ×10 ⁶ /г а.с.п					Количество актиномицетов КОЕ×10 ⁶ /г а.с.п	Количество грибов КОЕ×10 ³ /г а.с.п
		МПА**	КАА**	ГА**	Эшби**	ПА**		
Начало вегетационного периода (май)								
Адер	0–2(5)	17,5±4,6	16±3,2	13,8±2,5	23,8±6,1	14,7±4,9	11,4±2,7	544,7±116,2
A1	2(5)–8	0,5±0,4	0,5±0,2	0,6±0,1	1±0,2	0,4±0,1	3,5±0,6	76,9±32,5
Середина вегетационного периода (июль)								
Адер	0–2(5)	101,3±36,4	121,2±54,9	134,1±18,1	191,8±23,9	132,6±41,4	19,3±11,5	656±132,5
A1	2(5)–8	3,2±1,3	6,7±3,3	9,8±1,2	5,3±2,4	7,2±1,6	0,6±0,4	192,2±54,3
Конец вегетации (октябрь)								
Адер	0–2(5)	11,6±1,5	9,9±1	18,2±1,1	14,8±2	15±2,8	4±3,3	731,2±332,7
A1	2(5)–8	6,4±0,4	5,5±0,6	5,8±0,7	8±0,8	5,5±0,4	0,5±0,1	133,9±33,9

Примечание. * — Здесь и в табл. 6: x — среднее арифметическое; Δ — доверительный интервал при $p = 0,95$; **МПА — мясо-пептонный агар для учета аммонификаторов; КАА — крахмало-аммиачный агар для учета актиномицетов и бактерий, утилизирующих минеральные источники азота; ГА — голодный агар для учета олиготрофов; среда Эшби для учета олигонитрофилов; ПА — почвенный агар для учета педотрофов; среда Чапека для учета микроскопических грибов.

Таблица 6. Численность ($x \pm \Delta$) эколого-трофических групп микроорганизмов в почве ольшаника

Горизонт	Глубина, см	Количество бактерий КОЕ×10 ⁶ /г а.с.п					Количество актиномицетов КОЕ×10 ⁶ /г а.с.п	Количество грибов КОЕ×10 ³ /г а.с.п
		МПА	КАА	ГА	Эшби	ПА		
Начало вегетационного периода (май)								
A0A1	0–3(5)	1,9±0,3	1,3±0,1	1,2±0,1	1,7±0,3	0,1	0,2±0,1	484,8±93,6
2C	3(5)–15	0,6±0,1	0,6±0,2	0,9±0,1	0,9±0,1	0,1	0,2±0,1	193,7±21,8
Середина вегетационного периода (июль)								
A0A1	0–3(5)	80,3±43,5	56,1±19,2	11±4,7	4,6±2,7	9,2±3,7	1,4±0,3	719,7±70,7
2C	3(5)–15	3,5±0,7	3,4±2,9	5,8±4,2	4,2±2,6	5,1±1,4	0,6±0,4	263±144
Конец вегетации (октябрь)								
A0A1	0–3(5)	21±3,9	22,9±2,2	18,2±1,1	27,3±1,5	24,5±1,5	5,5±0,8	535,1±177,4
2C	3(5)–15	9,1±4,2	6,2±1	5,8±0,7	6,7±0,7	0,5±0,1	1,3±0,6	213,6±104,1

Известно, что видовой состав является важным признаком при описании микробного сообщества, определяемого типом фитоценоза, образующего с ним единую систему. В горизонте Адер в почве травяного сообщества выделено 13 видов грибов из 13 родов: *Aureobasidium*, *Mortierella*, *Mucor*, *Cephalosporium*, *Cladosporium*, *Geomyces*, *Paecilomyces*, *Penicillium*, *Geomyces*, *Phoma*, *Rhinocladiopsis*, *Trichoderma*, включая стерильный мицелий. Среди целлюлозолитиков преобладают виды родов *Trichoderma* и *Geomyces*.

В биогенно-аккумулятивном слое ольшаника выделено 20 видов грибов из 8 родов: *Mortierella*, *Chaetomium*, *Penicillium*, *Geomyces*, *Fusidium*, *Monocillium*, *Fusarium*, *Trichoderma* и темно- и светлоокрашенные формы *Mycelia sterilia*. Комплекс микромицетов характеризуется численным и видовым преобладанием пенициллов, частой встречаемостью стерильного мицелия и видов рода *Mortierella*. Среди целлюлозолитиков доминируют *Geomyces pannorum* и виды рода *Chaetomium*.

В качестве специфических видов для биогенно-аккумулятивного слоя травяного сообщества выступают: *Aureobasidium pullulans*, *Mucor* sp., *Cephalosporium terricola*, *Cladosporium cladosporioides*, *Paecilomyces* sp., *Phoma* sp. и *Rhinocladiopsis* sp., которые не были обнаружены в ольшанике. В ольшанике обнаружены виды родов *Fusidium*, *Monocillium* и *Fusarium*, которые не были обнаружены в почве травяного сообщества, а виды рода *Penicillium* и стерильный мицелий также доминируют по частоте встречаемости.

Важно отметить, что видоспецифичность микробиоты каждого участка связана с типом растительного сообщества, которое образует экосистему взаимодействующих компонентов — биоты и почвы, определяя структуру и свойства почвы. Таким образом, главным механизмом преобразования осваиваемого субстрата является механизм биологического оборота органического (растительного) вещества.

Природная экосистема — это открытая система. Особую роль при формировании почвы играют мигрирующие из биологически активного слоя водорастворимые органические (и минеральные) вещества. В табл. 7 приводится состав лизиметрических вод, собранных под органо-аккумулятивным слоем в почве разнотравно-злакового сообщества и ольшаника весной в начале вегетации и в ее конце.

Установлено, что лизиметрические воды, собранные в ольшанике, отличаются в целом повышенным содержанием органического углерода (в среднем 23 мг/л весной и до 40 мг/л осенью) по сравнению с водами в разнотравно-злаковом сообществе (11 мг/л весной и до 20 мг/л осенью), а также калия (24–35 мг/л в ольшанике, 1–7 мг/л в травяном сообществе). Воды, собранные в осенний период в ольшанике, характеризуются высоким содержанием азота в форме нитрат-ионов (19–31 мг/л), в то время как в травяном сообществе их количество низкое (1,1–1,6 мг/л). Эти отличия связаны с обогащением почвы азотом в ольшанике вследствие симбиотической азотфиксации. В травяном сообществе микробная трансформация отмирающей фитомассы сопровождается формированием гумусовых веществ, осаждаемых минеральными элементами в биогенно-аккумулятивном слое. Таким образом, особенности химического состава лизиметрических вод отражают состав фитомассы органогенного слоя.

Хорошо известно, что при формировании лесных почв при разложении подстилки образуются различные водорастворимые органические соединения, среди

Таблица 7. Химический состав лизиметрических вод (средние значения), мг/л

Дата отбора проб воды	pH	NH ₄ ⁺	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	PO ₄ ³⁻	C _{орг.}	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺
Разнотравно-злаковое сообщество										
25.05.2006 г.	6,5	н/о	0,042	н/о	2,40	0,10	18,50	2,92	3,77	1,19
27.09.2006 г.	6,3	3,37	1,63	9,62	0,32	0,24	18,86	1,33	5,51	1,33
15.05.2007 г.	4,9	0,11	2,70	0,35	3,30	0,66	9,75	3,22	4,22	1,41
08.10.2007 г.	5,6	н/о	1,37	0,29	0,57	0,10	21,69	0,17	3,47	1,40
30.05.2008 г.	5,4	0,68	0,47	4,81	6,73	0,23	13,40	3,37	6,67	4,02
19.09.2008 г.	6,2	0,04	1,12	2,88	1,15	1,27	18,10	7,14	7,81	4,18
Ольшаник										
25.05.2006 г.	6,6	0,24	0,033	2,40	2,60	0,37	25,7	4,20	3,04	1,15
27.09.2006 г.	6,0	2,02	24,06	12,00	0,63	0,93	23,19	11,42	7,75	3,12
15.05.2007 г.	5,9	0,02	5,32	5,00	2,60	0,10	21,69	4,17	3,47	1,40
08.10.2007 г.	6,2	н/о	18,64	1,24	7,00	2,70	41,41	24,38	11,0	4,26
30.05.2008 г.	5,9	0,70	11,72	2,40	6,33	1,30	23,80	17,45	8,87	3,28
19.09.2008 г.	6,1	0,12	31,47	2,40	5,75	3,65	40,80	35,00	11,9	4,17

которых наиболее распространены фульвокислоты и низкомолекулярные органические кислоты (уксусная, щавелевая и др). Участвуя в абиогенных процессах растворения—осаждения, они оказывают преобразующее воздействие на породу, подстилающую биогенно-аккумулятивный слой.

Таким образом, дифференциация состава мигрирующих вод способствует разграничению свойств субстрата с формированием органо-аккумулятивного слоя, т.е. почвы, в соответствии с типом растительного сообщества. Преобразование подпочвенной минеральной толщи происходит на глубину промачивания субстрата под воздействием выпадающих из биологического круговорота веществ, их взаимодействия с минеральной породой с формированием сложного по генезису и строению тела.

Вместе с этим весьма четко прослеживается взаимосвязь биогенно-аккумулятивного слоя с подстилающей минеральной породой. Связь между ними причинно-следственная, главным фактором которой служит миграция водорастворимых органических веществ, действующие абиотические процессы — растворение—осаждение. Верхний же слой формируется в процессе эволюции растительности, осваивающей земную сушу под воздействием биологического оборота органического (растительного) вещества. По своему назначению этот слой и является почвой, т.е. образованием, обеспечивающим устойчивое самовоспроизводство биоты экосистемы в целом. Критерием этого образования является аккумуляция элементов-биогенов, гумуса. Нижняя граница определяется по весьма резкому снижению биологической активности. Подпочвенное образование (морфолого-аналитическое) характеризуется строением, определяемым почвой, и классифицируется во взаимосвязи, но как отдельный объект, разделенный на горизонты в соответствии со снижением концентрации состава мигрирующих органических соединений. Более детально это рассмотрено нами ранее [19].

Итак, формирование почвы определяется качественно-количественными особенностями биотического компонента экосистемы, в первую очередь растительного сообщества, поставляющего органическое вещество, и зоомикробного сообщества, трансформирующего растительную массу. Важнейший продукт трансформации — гумус обуславливает преобразование свойств субстрата, аккумуляцию элементов питания для последующего устойчивого воспроизводства того же растительного сообщества.

Заключение

Теоретический подход проведенного исследования опирался на принцип системности. Почва рассматривается как компонент экосистемы, которая представляет собой целостное образование взаимообусловленных компонентов — растительного сообщества, фаунистически-микробного комплекса, трансформирующего отмирающую фитомассу, и субстрата, осваиваемого биотой. С этих позиций были выявлены качественно-количественные характеристики состава, свойств растительности, пула микроорганизмов, отличия продуктов трансформации фитомассы, состава водорастворимых веществ, мигрирующих в субстрат в изученных экосистемах. Обобщение полученных результатов позволило установить связь между исследованными типами растительного сообщества и формированием особенностей морфологического строения, свойств типов новообразованных субстратных компонентов, т. е. новообразованных почв как закономерного результата воздействия биологического фактора.

Общим признаком новообразованных почв, при своеобразии их морфологического строения, является сформированный слой биогенно-органно-аккумулятивного типа, обеспечивающий устойчивое воспроизводство растительного сообщества как главного фактора устойчивости функционирования экосистемы в целом. При этом минеральная порода под биогенно-аккумулятивным новообразованным слоем остается без заметных преобразований в обоих типах почв, что позволяет судить об ограничении процесса почвообразования рамками активности биоты.

Таким образом, почва формируется и функционирует как эволюционно развивающийся фактор устойчивости растительности на суше Земли. В условиях выраженной вертикальной миграции влаги водорастворимые органические (кислотной природы) продукты трансформации фитомассы взаимодействуют с минеральной породой под почвой, определенным образом преобразуя ее под влиянием абиотических процессов растворения—осаждения.

Нижняя граница почвы (до сих пор дискуссионно обсуждаемая) определяется вертикальным резким снижением аккумуляции элементов-биогенов под биогенно-аккумулятивным слоем. Почва и преобразованная подпочвенная порода являются разными образованиями, связанными причинно-следственными отношениями. Разнообразие почв обусловлено географическим разнообразием природно-климатических условий и соответствующим им изменением типов растительности.

Итак, любая наука в своем развитии проходит этапы осмысления накопленных данных об объекте исследования, когда осознается недостаточность теоретической базы в связи с возрастающим объемом знания о предмете науки. Эти этапы можно определять как критические (кризисные) моменты в научном познании, разреша-

емые через обогащение ранее созданной теоретической базы (системы взглядов, принципов). Иными словами, без периодического переосмысления новых данных не может быть развития науки.

Литература

1. Зонн С. В. Современные проблемы генезиса и географии почв. М.: Наука, 1983. 167 с.
2. Соколов И. А. Теоретические проблемы генетического почвоведения. Новосибирск: Наука, 1993. 232 с.
3. Рожков В. А. Классификация и классификация почв // Почвоведение. 2012. № 3. С. 259–269.
4. Арчегова И. Б., Федорович В. А. О биологической сущности почвы (Методологические проблемы почвоведения). Сыктывкар, 1988. 36 с. (Сер. препринтов «Научные доклады». Коми научный центр УрО РАН. Вып. 201).
5. Арчегова И. Б., Федорович В. А. Методологические аспекты изучения почв на современном этапе. Екатеринбург, 2003. 92 с.
6. Абакумов Е. В., Гагарина Э. И. Почвообразование в посттехногенных экосистемах карьеров на Северо-Западе Русской равнины. СПб.: Изд.-во С.-Петерб. ун-та, 2006. 208 с.
7. Андроханов В. А., Овсянникова С. В., Курачев В. М. Технозоны: свойства, режимы, функционирование. Новосибирск, 2000. 200 с.
8. Klaas G. J. N., van Lagen B., Vuurman P. Composition of plant tissues and soil organic matter in the first stages of a vegetation succession // Geoderma. 2001. N 100. P. 1–24.
9. Frouz J. et al. Soil biota and upper soil layer development in two contrasting post-mining chronosequences // Ecol. Engineer. 2001. Vol. 48. P. 503–517.
10. Полевая геоботаника. М.; Л.: Наука, 1964. 532 с.
11. Черепанов С. К. Сосудистые растения России и сопредельных государств. СПб.: Мир и семья-95, 1995. 992 с.
12. Родин Л. Е., Ремезов Н. П., Базилевич Н. И. Методические указания к изучению динамики и биологического круговорота в фитоценозах. Л.: Наука, 1967. 145 с.
13. Теория и практика химического анализа почв / под ред. Л. А. Воробьевой. М.: ГЕОС, 2006. 400 с.
14. Пономарева В. В., Плотникова Т. А. Гумус и почвообразование (методы и результаты изучения). Л.: Наука. 1980. 222 с.
15. Методы почвенной микробиологии и биохимии / под ред. Д. Г. Звягинцева. М.: МГУ, 1991. 304 с.
16. Domsh K. H., Gams W, Anderson T.-H. Compendium of soil fungi. IHW-Verlag Eching, 2007. 672 p.
17. Ramirez C. Manual and atlas of the Penicillia. Amsterdam; N. Y.; Oxford: Elsevier Biomedical Press, 1982. 874 p.
18. Морозова Р. М. Минеральный состав растений лесов Карелии. Петрозаводск, 1991. 100 с.
19. Арчегова И. Б. Некоторые аспекты теоретического определения почв // Вестн. С.-Петерб. ун-та. Сер. 3. 2015. Вып. 1. С. 98–103.

Для цитирования: Арчегова И. Б., Панюков А. Н., Кузнецова Е. Г., Ковалева И. А. Роль биологического фактора в процессе формирования почвы в таежной зоне // Вестн. С.-Петерб. ун-та. Сер. 3. Биология. 2016. Вып. 2. С. 127–139. DOI: 10.21638/11701/spbu03.2016.210

References

1. Zonn S. V. *Sovremennye problemy genezisa i geografii pochv* [Modern problems of the genesis and geography of soils]. Moscow, Nauka Publ., 1983. 167 p. (In Russian)
2. Sokolov I. A. *Teoreticheskie problemy geneticheskogo pochvovedeniia* [Theoretical problems of genetic soil science]. Novosibirsk, Nauka Publ., 1993. 232 p. (In Russian)
3. Rozhkov V. A. Klassiologiia i klassifikatsiia pochv [Klassiology and soil classification]. *Pochvovedenie*, 2012, no. 3, pp. 259–269. (In Russian)
4. Archegova I. B., Fedorovich V. A. *O biologicheskoi sushchnosti pochvy (Metodologicheskie problemy pochvovedeniia)* [About the biological nature of the soil (methodological problems of Soil Science)]. Syktyvkar, 1988. 36 p. (Series of preprints “Scientific reports”. Komi Scientific Center, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, issue 201). (In Russian)

5. Archegova I. B., Fedorovich V. A. *Metodologicheskie aspekty izucheniia pochv na sovremennom etape* [Methodological aspects of the study of soils at the present stage]. Yekaterinburg, 2003. 92 p. (In Russian)
6. Abakumov E. V., Gagarina E. I. *Pochvoobrazovanie v posttekhnologicheskikh ekosistemakh kar'erov na Severo-Zapade Russkoi ravniny* [Soil formation in post-mining ecosystems on the North-West of Russian Plain]. St. Petersburg, St.-Petersburg Univ. Press, 2006. 208 p. (In Russian)
7. Androkhov V. A., Ovsyannikova S. V., Kurachev V. M. *Tekhnosemy: svoystva, rezhimy, funktsionirovaniye* [Technosems: properties, regimes, functions]. Novosibirsk, 2000. 200 p. (In Russian)
8. Klaas G. J. N., van Lagen B., Buurman P. Composition of plant tissues and soil organic matter in the first stages of a vegetation succession. *Geoderma*, 2001, no. 100, pp. 1–24.
9. Frouz J. et al. Soil biota and upper soil layer development in two contrasting post-mining chronosequences. *Ecolog. Engineer*, 2001, vol. 48, pp. 503–517.
10. *Polevaia geobotanika* [Field geobotany]. Moscow; Leningrad, Nauka Publ., 1964. 532 p. (In Russian)
11. Cherepanov S. K. *Sosudistyye rasteniya Rossii i sopredel'nykh gosudarstv* [Vascular plants of Russia and neighboring states]. St. Petersburg, Mir i semya-95 Publ., 1995. 992 p. (In Russian)
12. Rodin L. E., Remezov N. P., Bazilevich N. E. *Metodicheskie ukazaniya k izucheniiu dinamiki i biologicheskogo krugovorota v fitotsenozakh* [Guidelines to study the dynamics and biological cycle in phytocenoses]. Leningrad, Nauka Publ., 1967. 145 p. (In Russian)
13. *Teoriya i praktika khimicheskogo analiza pochv* [Theory and practice of chemical analysis of soils]. Ed. by L. A. Vorobiova. Moscow, GEOS Publ., 2006. 400 p. (In Russian)
14. Ponomarova V. V., Plotnikova T. A. *Gumus i pochvoobrazovanie (metody i rezul'taty izucheniya)* [Humus and soil formation (methods and results of the study)]. Leningrad, Nauka Publ., 1988. 222 p. (In Russian)
15. *Metody pochvennoi mikrobiologii i biokhimii* [Methods of Soil Microbiology and Biochemistry]. Ed. by D. G. Zvyagintsev. Moscow, Moscow Univ. Press, 1991. 304 p. (In Russian)
16. Domsh K. H., Gams W., Anderson T.-H. *Compendium of soil fungi*. IHW-Verlag Eching, 2007. 672 p.
17. Ramirez C. *Manual and atlas of the Penicillia*. Amsterdam, New York, Oxford, Elsevier Biomedical Press, 1982. 874 p.
18. Morozova R. M. *Mineral'nyi sostav rastenii lesov Karelii* [The mineral composition of plants in the forests of Karelia]. Petrozavodsk, 1991. 100 p. (In Russian)
19. Archegova I. B. Nekotorye aspekty teoreticheskogo opredeleniya pochv [Some aspects of theoretical determination of soil]. *Vestnik of Saint-Petersburg University. Series 3. Biology*, 2015, issue 1, pp. 98–103. (In Russian)

For citation: Archegova I. B., Panyukov A. N., Kuznetsova E. G., Kovaleva V. A. On the role of biological factor in soil formation of the taiga zone. *Vestnik of Saint-Petersburg University. Series 3. Biology*, 2016, issue 2, pp. 127–139. DOI: 10.21638/11701/spbu03.2016.210

Статья поступила в редакцию 12 января, принята 5 апреля 2016 г.

Сведения об авторах:

Арчегова Инна Борисовна — доктор биологических наук
 Панюков Андрей Николаевич — кандидат биологических наук
 Кузнецова Елена Геннадьевна — кандидат биологических наук
 Ковалева Вера Александровна — аспирант

Archegova I. B. — Doctor of Biology
 Panyukov A. N. — PhD
 Kuznetsova E. G. — PhD
 Kovaleva V. A. — post graduate student