

УДК 631.467.468:631.417

БИОЭКОЛОГИЧЕСКОЕ ЗНАЧЕНИЕ ПЕДОБИОНТОВ В ТРАНСФОРМАЦИИ ОРГАНИЧЕСКОГО МАТЕРИАЛА ПОЧВ

© 2021 г. П. Г. Витион

*Институт генетики, физиологии и защиты растений
MD-2002 Кишинэу, ул. Пэдурий, 20, Республика Молдова*

E-mail: vitionpantelei@yahoo.com

Поступила в редакцию 02.02.2020 г.

После доработки 01.03.2021 г.

Принята к публикации 10.03.2021 г.

Приведен обзор результатов исследований и литературных данных о вкладе почвенных беспозвоночных животных, участвующих в деструкционных процессах различных видов фитомассы и растительных остатков в разных типах почв и экосистемах. Исследовали изменения структуры комплекса сообществ почвенных педобионтов в пространстве (распределение по профилю почвы) и во времени (весна–осень). Дан сравнительный анализ взаимосвязей между влажностью почвы и численностью почвенных беспозвоночных животных. Также определили показатели рН в копролитах дождевых червей и в почвах.

Ключевые слова: почва, педобионты, деструкционные процессы, фитомасса, экосистемы.

DOI: 10.31857/S0002188121070127

ВВЕДЕНИЕ

Почва является средой обитания для разных таксономических групп педобионтов, включая нематод, коловраток и тихоходок, которые двигаются в почвенных порах, заполненных водой, и в пленочной воде, окружающей почвенные частицы. Клещи и ногохвостки обитают в верхних слоях почв с естественной системой почвенных ходов, заполненных воздухом. Почвенные беспозвоночные животные участвуют в разложении органических остатков и в биологическом круговороте веществ и энергии различных типов почв. На протяжении вегетационного периода запасы почвенной влаги непрерывно убывают и в летнее время в 1-метровом слое изменяются в пределах 20–32 мм и даже меньше.

На активность беспозвоночных животных влияют многочисленные факторы среды, среди которых значение имеют тип почвы, ее физико-химические свойства, а также применение удобрений и севообороты в агроценозах. Например, показано, что на разложение соломы в почве азот влиял сильнее, чем фосфор [1]. Известно, что гумусовый горизонт легкосуглинистых серых лесных почв, развивающихся под широколиственными лесами, имеет нейтральную реакцию (pH_{H_2O} 6,8), а в нижней части профиля становится слабокислым, отмечено высокое содержание гу-

муса в верхнем горизонте (4,0–5,5%) и относительно плавное уменьшение его с глубиной почвы [2]. Важным звеном в повышении биологической активности педобионтов является применение органических, минеральных удобрений и фитомассы растительных сидератов [3]. Травосмесь злаковых и бобовых культур при заделке в почву служит как сидератное зеленое удобрение и увеличивает в 1,0–1,5 раза качественный и количественный состав педобионтов [4].

Биосферные заповедники являются эталоном для экосистем Центральной лесостепной зоны Республики Молдова с бурыми и серыми лесными почвами. В структуре почвенного покрова заповедников значительную роль занимают серые лесные почвы. Большие площади земельных угодий с разными типами черноземов расположены в северной лесной и южной степной зонах и в лесостепной центральной зоне Республики Молдова. Гранулометрический состав этих почв соответствует среднесуглинистым черноземам: от порошисто-глыбисто-мелкокомковатой, через глыбисто-мелкокомковатую до комковато-зернистой. Величина рН почвенного раствора меняется от слабощелочного (7,6) до слабокислого (6,6) в лесном массиве [6].

Среди беспозвоночных, облигатно связанных с почвой в течение всего жизненного цикла либо

его активных стадий, имеются много крупных форм, размеры которых значительно превосходят пространство между почвенными частицами. Это – аэробные формы, нуждающиеся в относительно большом воздушном пространстве с достаточно высоким содержанием кислорода [7].

Важная роль принадлежит соломе в увеличении содержания гумуса в почве, т.к. коэффициент гумификации соломы больше, чем у других видов органики [8]. Растения-торфообразователи подвержены максимальному разложению под влиянием различных факторов окружающей среды. Степень разложения осок, хвоща, рогоза, папоротника, листовенного опада составляет 56.2% в среднем, в течение 5-ти лет. Фитомасса ежегодно отмирающей растительности не остается на поверхности почвы, она, частично погребенная в почве, разрушается достаточно быстро, вследствие чего накопление опада в этих условиях бывает незначительным. Мхи, лишайники, древесина относятся к группе трудно разлагающихся растений [9]. Органическое вещество является важнейшим компонентом, выполняющим многочисленные эколого-биосферные и биогеоцено-тические функции в формировании почв и регулировании уровня их плодородия [10].

Педобиота вместе с микробиотой участвует в круговороте веществ и энергии, а также активно ускоряет разложение фитомассы листовой подстилки и растительных остатков. Кроме этого, создаются условия для образования гумуса, т.к. лигнин в кишечнике животных отделяется от усвояемых веществ растительных тканей. Высокая доля гумификаторов-педобионтов (олигохет, микроартропод и почвенных насекомых) находится в составе эдафона сапрофильного комплекса и участвует в деструкции растительных остатков и почвообразовательных процессах. Бактерии, а также актиномицеты – наиболее важная группа почвенных организмов. Многие бактерии способны разлагать более простые углеводы, другие как аэробные, так и анаэробные виды, разлагают клетчатку до дисахаридов, целлюлозы и до глюкозы, наконец, третьи разлагают белки [11]. Автотрофные бактерии окисляют аммиак до нитритов, а затем до нитратов (*Nitrosomonas*, *Nitrobacter*). Известно, что аэробные виды *Azotobacter*, анаэробные виды *Clostridium*, бактерии *Rhizobium*, обитающие в корневых клубеньках бобовых растений, связывают газообразный азот из воздуха. Например, в Дании на суходольных лугах свободноживущие нематоды переваривают за год ≈ 80 кг бактериальной массы, что соответствует 20 кг азота. Сапробионтные виды микроартропод питаются с бактериями и грибами и участвуют в ме-

ханическом измельчении труднодоступного для многих микроорганизмов материала, освобождая целлюлозу и лигнинсодержащие вещества, которыми обогащаются экскременты животных. Большая часть стрептомицетов разлагают хитин, который является составной частью покровов членистоногих и встречается в стенках клеток грибов. Его разложение, наряду с белковым обменом, служит одним из источников аммиака. Биомасса свободно живущих почвенных нематод содержит значительное количество белка, богатого азотом, что определяет значение нематод с позиций их влияния на баланс азота в почве [11]. Для растений это означает благоприятное равномерное распределение азота в почве. Микроартроподы могут переваривать мягкие ткани мезофила отмерших растений. Типичными сапробионтами являются орибатидные клещи, питающиеся в основном бактериями и грибами.

При исследовании пространственного распределения червей в почве саванны в работе [12] предположили, что их распределение также определяется популяционными взаимоотношениями видов. Было показано, что чем меньше размер особей конкретного вида дождевых червей, тем более они агрегированы.

Для питания педобионтов большое функциональное значение имеет постоянное поступление в почву органических остатков, которые влияют на увеличение численности и видового состава эдафического комплекса [13].

Цель работы – определение структуры комплексов почвенных беспозвоночных животных в разных типах почв при одновременном определении показателя рН в копролитах дождевых червей и почвы, проведение сравнительного анализа взаимосвязей между влажностью почвы и численностью педобионтов. Особое внимание было уделено комплексу сапрофагов, участвующих в деструкции разных видов фитомассы растительных остатков.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследование почвенных беспозвоночных животных проводили в разные сезоны года в период 1992–2017 гг. и в различных географических зонах на территории Республики Молдова во всех экосистемах с разными типами почв: 1 – северная зона, лесной природный заповедник Пэдура Домнеаскэ, 2 – центральная зона, заповедники Кодры и Плаул Фагулуй, 3 – южная зона Республики Молдова, заповедник Прутул де жос. Дополнительно исследовали почвы различных типов лесов и пойменных лугов малых рек, а также

другие экосистемы как степь, агроэкосистемы, низовые пойменные луга р. Днестр, Прут и дельты р. Дунай и их лесные экосистемы. Педозоологические обследования почв начались в 1990 г. в длительных стационарах, в полевых и природных условиях. Схема опытов имела следующие варианты: 1 – серая лесная почва (заповедник Кодры) с лесным биотопом рода *Quercus*, (фитомасса подстилки рода *Quercus*), 2 – бурая лесная почва (заповедник Кодры) с лесным биотопом рода *Fagus*, 3 – чернозем карбонатный, степь с разными видами спонтанной флоры злаковых и бобовых растений, 4 – чернозем луговой с разными видами луговых растений, 5 – черноземы занятых под пашню пойменно-луговых лесных экосистем. Чернозем обыкновенный – под посевом пшеницы, чернозем типичный – под посевом гороха.

Опыты по изучению интенсивности разложения разных видов фитомассы растительных остатков с участием дождевых червей были заложены в естественных экосистемах в полевых условиях. В специальные микрососуды вносили 1 кг почвы + 100 г фитомассы подстилки + 10 экз. дождевых червей вида *Allobophora rosea*, сосуды закапывали в почву на глубину 40–50 см. Контролем для каждого типа почв и подстилки были сосуды с 1 кг почвы + 100 г растительных остатков, но без дождевых червей. Параллельно и дополнительно эти варианты закладывали в лабораторных условиях, где исследовали скорость разложения разных видов фитомассы растительных остатков с участием дождевых червей.

Для выявления эдафической фауны пробы были собраны в 2-х слоях почвы: на глубине 0–25 см и 25–50 см [5]. Учеты мезофауны почвенных насекомых и жужелиц проводили в ловушках Барбера (банки 0.7 л) [5]. В качестве фиксатора использовали формалин. Для изучения распределения микрофауны и отдельных фаз мезофауны эдафических насекомых в почве, а также выяснения некоторых особенностей фенологии массовых видов был использован метод анализа почвенных проб. Почвенные ямы копали по стандартной методике площадью 0.5 м². Пробы разбирали послойно вручную. Экстракцию микрофауны орибатид и коллембол из почвы проводили с помощью термоэлектратора. В экстракции энхитреид из почвы использовали гидротермоэлектратор в течение 3-х ч. Нематод выделяли вороночным методом [5]. Учеты были проведены в 1992–2017 гг. с марта по ноябрь. Были определены запасы зообиотной биомассы и таксономический состав комплексов почвенных беспозвоночных животных в разных типах почв. Полученные

данные обработаны с помощью методов математической статистики.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Скорость разложения фитомассы растительных остатков зависела от комплекса факторов как биотических (педобиота и микробиота (эдафон)), так и абиотических/физических факторов (географическая зона, характер рельефа, климат и погода), количества осадков и продолжительности солнечных дней, колебаний максимальных и минимальных температур, гидрографической сети, влажности воздуха и запасов почвенной влаги, направлении и скорости ветра, физико-химических свойств типов почв, а также среднего для данной местности содержания гумуса и гранулометрического состава почвы, рН почвенного раствора, биоразнообразия флористического состава разных типов экосистем, структуры севооборотов сельскохозяйственных культур и частоты обработки почв в агроэкосистемах. В разных географических зонах на территории Республики Молдова с различными типами почв и экосистемами эдафический зоокомплекс формируют представители следующих таксономических групп почвенных беспозвоночных животных: Nematoda, Enchytridae, Lumbricidae, Chilopoda, Diplopoda, Symphyla, Pauropoda, Isopoda, Collembola, Oribatida, Carabidae, Scarabaeidae, Staphylinidae, Elateridae, Tenebrionidae, Tardigrada (табл. 1).

Особенно отрицательно из природных факторов на снижение численности особей и видового состава влияли засушливые климатические условия, из других факторов отметили антропогенные, агротехнические, техногенные и некоторые экологические природные факторы, особенно эрозию почв, при которой происходит смыв педобиоты и микробиоты вместе с почвой.

В последнее время на изменения и трансформацию педозооценозов эдафического комплекса почвенных беспозвоночных животных отрицательно влияют повышенная аридизация климата, засухи и ксерофитизации экосистем, особенно в южной степной зоне Республики Молдова. В период летне–осенней засухи (июль–сентябрь) популяции комплекса почвенных беспозвоночных уменьшались, и они исчезали из верхнего горизонта, переходя к эстивации в нижних горизонтах почв (табл. 2). Отдельные виды дождевых червей сворачивались клубком, начинали строить защитные капсулы, а затем впадали в диапаузу. В период засухи, особенно когда почвенный термический режим составлял 30–31°C, и почва имела минимальную влажность 15–17%, во всех типах

Таблица 1. Таксономическая структура комплекса почвенных беспозвоночных животных (средние) в периоды 1992–2003 и 2004–2015 гг.

Экологическая группа педобионтов	1992–2003 гг. (n = 12)	2004–2015 гг. (n = 12)	Достоверность
	количество, экз./м ²		
	слой почвы, см		
	0–25	25–50	
Nematoda	$302\,000 \pm 36\,000$ 22100–382 000	$70\,000 \pm 8230$ 51600–87 900	$t_{\text{факт}} = 6.3 > t_{05(12)} = 2.2$
Enchytridae	6060 ± 902 4080–8050	842 ± 110 600–1080	$t_{\text{факт}} = 5.8 > t_{05(11)} = 2.2$
Lumbricidae	53.4 ± 5.4 41.4–65.4	20.3 ± 1.7 16.7–24.0	$t_{\text{факт}} = 5.8 > t_{05(13)} = 2.2$
Chilopoda	18.7 ± 1.4 15.5–21.8	9.42 ± 0.83 7.59–11.3	$t_{\text{факт}} = 5.6 > t_{05(19)} = 2.1$
Diplopoda	20.3 ± 1.4 17.2–23.3	10.8 ± 0.9 8.8–12.9	$t_{\text{факт}} = 5.4 > t_{05(22)} = 2.1$
Symphyla	19.7 ± 1.5 16.3–23.0	9.83 ± 1.12 7.36–12.3	$t_{\text{факт}} = 5.0 > t_{05(22)} = 2.1$
Paupoda	23.0 ± 1.4 20.0–26.0	10.0 ± 1.4 6.8–13.2	$t_{\text{факт}} = 6.3 > t_{05(22)} = 2.1$
Isopoda	21.9 ± 2.0 17.5–26.3	11.7 ± 1.3 8.9–14.4	$t_{\text{факт}} = 4.8 > t_{05(22)} = 2.1$
Collembola	5930 ± 527 4770–7091	3010 ± 209 2550–3470	$t_{\text{факт}} = 5.2 > t_{0.05(137)} = 2.0$
Oribatida	$13\,700 \pm 460$ 12 700–14 700	$10\,900 \pm 1020$ 8620–13 100	$t_{\text{факт}} = 0.00003 < t_{05(16)} = 2.1$
Carabidae	22.3 ± 1.5 19.03–25.63	18.4 ± 1.2 15.7–21.1	$t_{\text{факт}} = 0.5 < t_{05(22)} = 2.1$
Scarabaeidae	17.7 ± 0.7 16.1–19.2	11.3 ± 0.8 9.53–12.7	$t_{\text{ф}} = 5.8 > t_{05(22)} = 2.1$
Staphylinidae	20.8 ± 1.0 18.7–23.0	11.8 ± 1.4 8.6–14.9	$t_{\text{факт}} = 5.0 > t_{05(22)} = 2.1$
Elateridae	22.0 ± 2.2 7.2–26.8	13.6 ± 0.7 12.0–15.2	$t_{\text{факт}} = 3.7 > t_{05(14)} = 2.2$
Tenebrionidae	23.7 ± 1.5 20.4–26.6	14.7 ± 0.8 12.9–16.4	$t_{\text{ф}} = 5.4 > t_{05(18)} = 2.1$
Tardigrada	1810 ± 725 213–3400	905 ± 52 791–1020	$t_{\text{факт}} = 0.002 > t_{05(11)} = 2.2$

Примечания. 1. Над чертой – среднее \pm ошибка среднего, под чертой – размах показаний. 2. В скобках (n) – количество лет наблюдений. 3. Определение существенности различий средней проводили, используя *t*-критерий Стьюдента. 4. Учитывали все экологические группы нематод по характеру питания: настоящие сапробионты, гемисапробионты, параризобионты, фитопаразиты, хищники, которые обитают в эдафической среде.

Таблица 2. Среднее многолетнее относительное обилие (численность, экз./м²) педобионтов в различных горизонтах почв в весеннем сезоне (1992–2017 гг.)

Тип почвы	Глубина, см	Биомасса, г/м ²	Численность мезофауны, экз./м ²	Численность сем. Lumbricidae, экз./м ²	Количество копролитов, г/м ²	Количество ходов/м ²
Бурая лесная почва (заповедник Кодры)	Ad (0–10)	19.7	78	67	228–254	778
	A1 (10–25)	6.6	52	19		
	A2 (25–35)	3.2	8	10		
Серая лесная почва (заповедник Кодры)	Ad (0–11)	28.6	97	82	286–300	987
	A1 (11–28)	7.8	64	26		
	A2 (28–38)	4.3	12	10		
Чернозем карбонатный	Ad (0–8)	14.9	175	37	157–166	690
	A1 (8–25)	13.0	126	69		
	B (23–30)	3.9	12	19		
Чернозем обыкновенный	Ad (0–10)	20.9	164	73	133–145	586
	A1 (10–21)	11.8	72	40		
	A2 (21–47)	3.7	22	18		
	B1 (47–65)	1.2	3.6	3.9		
Чернозем типичный	Ad (0–22)	19.8	352	224	120–123	430
	A1 (22–45)	11.0	14	6		

почв экосистем отмечали минимальную численность педобионтов.

Педобиота в зависимости от стратификации горизонтов почв имеет следующее распределение: *L* – подстилка, *F* – гумусный слой растительных остатков относительно насыщенный гуминовыми веществами, *H* – гумус Брута, (микоген), *A1* – почва минеральная с зоогенным гумусом, *A2* и *A3* – почва минеральная с минимальным гумусом, элювиальная, *B1*, *B2*, *B3* – подгоризонты с минеральными иллювиальными почвами, *C1* – материнская порода измельченная.

В зависимости от горизонта почвы, наибольшее количество почвенных беспозвоночных животных выявили в обыкновенном и карбонатном черноземах и относительно наименьшее – в типичном черноземе (табл. 2). В лесных экосистемах максимальную плотность педобионтов в зависимости от горизонта почвы (численность, биомасса, количество копролитов и ходов), включая и сем. Lumbricidae, выявили в серой лесной почве (заповедник Кодры), после нее следовала бурая лесная почва (заповедник Кодры). Эдафические сапрофаги – беспозвоночные животные, включая почвенных олигохет, пробуравливают почву, поглощая частицы почвы вместе с пищей, перемешивая в кишечнике органические и минеральные вещества почвы и выделяют их в виде экскрементов (копролитов), способствуя

образованию глинисто-перегнойных комплексов.

Дождевой червь в сутки обычно потребляет 200–300 мг сухой массы почвы на 1 г собственной массы в зависимости от вида. Пища через кишечник проходит не более чем за 22–24 ч. За 1 сут он может перерабатывать в среднем 10 мг сухой массы почвы, смешанной с остатками листьев и растений на 1 г массы тела. О количестве потребляемой червями пищи дают представление следующие результаты. Во влажном бурой лесной почве в термостате при 17°C вид *Lumbricus rubellus* потреблял 200–250 мг сухой массы в сутки на 1 г собственной массы (табл. 3). В кишечнике дождевых червей происходило ускорение разложения веществ из растительных остатков. Экскременты олигохет и почвенных насекомых являются одним из субстратов целлюлозоразрушающих микроорганизмов: например, 12 мг экскрементов обеспечивают активность 7.8 млн этих деструкторов. Копролиты удерживают больше воды, чем окружающая почва: воды в них было больше на 44%, чем в суглинистых почвах, и на 98.7% больше, чем во влажных луговых почвах.

Количество ходов зависело от экологических показателей почвы, ее плотности, численности и диаметра дождевых червей. Некоторые виды из родов *Allolobophora* и *Lumbricus* являются довольно крупными, имеют толщину до 1 см и отлича-

Таблица 3. Почвенно-биологические средние многолетние показатели активности педобионтов в различных типах почв в осеннем сезоне (1992–2017 гг.)

Тип почвы	Глубина, см	Количество беспозвоночных сапробионтов нематод, экз./м ²	Биомасса, г/м ²	Численность сем. Lumbricidae, экз./м ²	Биомасса сем. Lumbricidae, г/м ²	Фитомасса подстилки, г/м ²	Время разложения фитомассы, лет	Содержание гумуса с учетом разложившейся органики, %
Серая лесная почва (заповедник Кодры)	0–50	189	40.9	67.8	79.9	0.3	2.8–3.0	3.8–4.0
Бурая лесная почва (заповедник Кодры)	0–50	161	34.1	57.4	62.5	0.5	3.5–4.0	2.7–3.6
Чернозем карбонатный (степь)	0–50	133	27.4	45.2	49.9	0.22	1.2–1.5 (2014–2015 гг.)	3.4–4.7
Чернозем пойменно-луговых лесов	0–50	240	45.0	88.9	90.5	0.37	1.7–2.0 (2014–2016 гг.)	3.9–4.3
Чернозем обыкновенный (посев пшеницы)	0–50	86.9	18.7	12.0	2.0	0.99	1.0–1.4 (2014–2015 гг.)	1.2–1.8

Примечание. Учитывали по характеру питания только экологические группы нематод, относящиеся к настоящим сапробионтам, гемисапробионтам, которые участвуют в почвообразовательных процессах в эдафической среде.

ются расширенным и уплощенным задним концом тела.

В теплом вегетационном периоде популяция из 25 особей дождевых червей на 1 м² проделывали в почвы 800 шт./м² ходов с диаметром 7–8 мм, что создавало благоприятные условия для воздушного и водного режимов почвы (проникновения воды и аэрации).

По нашим многолетним наблюдениям, повышенная активность педобионтов в серых лесных почвах природных экосистем (заповедник Кодры) со средней биомассой 40.9 г/м² и плотности заселения беспозвоночными 189 экз./м², включая и сем. Lumbricidae с численностью 67.8 экз./м², способствовала процессам полной трансформации органических веществ фитомассы в течение 2.8–3.0 лет, и увеличению содержания гумуса до 3.8–4.0%, что поддерживало качественное состояние структуры почвы. Биомасса разных эколого-фаунистических групп почвенных животных в серых лесных почвах (заповедник Кодры) в среднем составляла 40.9 г/м², а зоомасса сем. Lumbricidae – 79.9 г/м². Соответственно в бурой лесной почве содержалось педобионтов 34.1 г/м², сем. Lumbricidae – 62.5 г/м² и всего общая средняя биомасса составляла 217 г/м². В вегетационный период, длящийся 216 сут, разные эколого-таксономические группы почвенных животных совместно с семейством Lumbricidae за 1 сут в серых и бурых лесных почвах перерабатывали 905 г поч-

вы/м² вместе с растительными остатками, что в перерасчете на всю площадь заповедника “Кодры” составило 906 т почвы/сут или 196000 т почвы, смешанной с фитомассой подстилки и растительных остатков/в год.

Значительную скорость разложения фитомассы растительных остатков с участием дождевых червей наблюдали на микроделянках с типичным черноземом и растительными остатками гороха и с черноземом карбонатным с фитомассой степных злаковых растительных остатков (табл. 4). Время разложения разных видов фитомассы с участием дождевых червей в варианте с серой лесной почвой составляло 1.6 года, в контроле без червей – 2.1 года, в опытном варианте с бурой лесной почвой – 2.4 года и в контроле – 3.2 года.

В период 2014–2015 гг. разложение фитомассы в черноземе карбонатном (степь) длилось от 1.2 до 1.5 лет, в черноземе пойменно-луговых лесов – 1.7–2.0 года, в 2014–2016 гг. черноземе обыкновенном под посевом пшеницы – 1.0–1.4 года.

Сравнение скорости разложения фитомассы в зависимости от типа растительных остатков и от времени полного ее разложения показало, что максимальная скорость разложения фитомассы была характерна для варианта с черноземом типичным, растительными остатками гороха + червями вида *A. Rosea*, минимальная – в контроле без червей. Для педобионтов-сапрофагов мерой биологической продуктивности служит количество

Таблица 4. Интенсивность разложения разных видов фитомассы растительных остатков при участии дождевых червей

Вариант	Вид дождевых червей (количество особей, экз./сосуд)	Время полного разложения фитомассы, лет	Содержание гумуса, %	Размер частиц в комочках копролитов, мкм
Серая лесная почва				
1 кг почвы + 100 г фитомассы подстилки + черви рода <i>Quercus</i>	<i>Allobophora rosea</i> (10 экз.)	1.6	3.3	1700
1 кг почвы + 100 г фитомассы подстилки без червей (контроль)	Без дождевых червей	2.1	2.6	1200
Бурая лесная почва				
1 кг почвы + 100 г фитомассы подстилки + черви рода <i>Fagus</i>	<i>Allobophora rosea</i> (10 экз.)	2.4	2.7	1600
1 кг почвы + 100 г фитомассы подстилки без червей (контроль)	Без дождевых червей	3.2	1.5	1100
Чернозем карбонатный				
1 кг почвы + 100 г фитомассы степных злаковых растительных остатков + черви рода <i>Fagus</i>	<i>Allobophora rosea</i> (10 экз.)	1.2	3.8	1900
1 кг почвы + 100 г фитомассы степных злаковых растительных остатков без червей (контроль)	Без дождевых червей	1.8	2.4	1400
Чернозем пойменно-луговой				
1 кг почвы + 100 г фитомассы разных видов луговых растительных остатков + черви рода <i>Fagus</i>	<i>Allobophora rosea</i> (10 экз.)	1.7	3.2	1800
1 кг почвы + 100 г фитомассы разных видов луговых растительных остатков без червей (контроль)	Без дождевых червей	2.2	2.0	1300
Чернозем типичный				
1 кг почвы + 100 г растительных остатков гороха + черви рода <i>Fagus</i>	<i>Allobophora rosea</i> (10 экз.)	1.0	1.5	1100
1 кг почвы + 100 г растительных остатков гороха без червей (контроль)	Без дождевых червей	1.4	1.0	1000
Чернозем обыкновенный				
1 кг почвы + 100 г растительных остатков пшеницы + черви рода <i>Fagus</i>	<i>Allobophora rosea</i> (10 экз.)	1.4	1.8	1200
1 кг почвы + 100 г растительных остатков пшеницы без червей (контроль)	Без дождевых червей	1.7	1.2	1100

переработанной ими фитомассы органических веществ листовного покрова и растительных остатков. Время и скорость разложения мертвых растительных остатков, листовного покрова и животного вещества зависит от характера ландшафта, времени года и от глубины и типа почвы, в которых находятся эти остатки. В разных типах стационарных экосистем (лесные экосистемы, луг, степь, агробиоценозы) проводили опыты, но не с мертвыми растительными остатками и лист-

венным покровом (подстилкой), а с зеленой фитомассой растений и зелеными листьями различных видов деревьев, которую закапывали в почву на глубину до 30 см на микроделянках площадью 1 м², без почвенных беспозвоночных животных. Максимальное число особей почвенных беспозвоночных, посетившее фитомассу полуразложившихся растений и листьев, отмечено в луговых почвах, после них следовали лесные и степные почвы, минимальное количество было

Таблица 5. Величины показателей pH раствора копролитов дождевых червей вида *Allobophora rosea* и почвенных растворов

Тип почвы	pH раствора копролитов	pH почвенного раствора
Серая лесная почва	7.3	5.5–6.9
Буряя лесная почва	6.6	5.2–5.7
Чернозем	7.9	6.7–7.0

зафиксировано в почве пашни, а также в осеннем сезоне в сентябре. Значительную скорость разложения растительных остатков наблюдали в степной почве, где разложение зеленой фитомассы растений происходило быстрее, чем в других биотопах, после нее следовали луговая и лесная растительная фитомасса и листья. Во всех случаях скорость разложения уменьшалась с глубиной. Показано, что начиная с 50–60 см до 80 см происходило уменьшение числа педобионтов и одновременно было отмечено минимальное разложение фитомассы растений и листьев. Увеличение численности и видового состава педобионтов в зависимости от глубины почвы и одновременно максимальную интенсивность разложения зеленой фитомассы растений и листьев наблюдали во всех типах экосистем (лес, луг, степь, агробиоценозы) в пахотном слое 0–25 см почв.

В опытных лабораторных условиях выявили, что одна особь дождевого червя вида *Allobophora rosea* со средней биомассой 0.9 г, размером 7 см, диаметром 6 мм в течение 24 ч может переработать и трансформировать в копролиты 33.1 мг органического материала. Средняя биомасса копролитов одной особи дождевого червя вида *Allobophora rosea* в течение 1-го года составила 1 кг. В течение 24 ч, при средней численности 25 экз. дождевых червей/м² трансформировалось 82.8 г почвы/м². Например, в течение 24 ч 25 особей дождевых червей/м² с биомассой 22.5 г перерабатывали 22.5 кг почвы/га. За вегетационный период продолжительностью 216 сут со средней численностью дождевых червей 25 экз./м² и соответственно 25000 экз./га перерабатывается до 2.2 т почвы/га. Также популяция дождевых червей за вегетационный период перерабатывает 1.4 т листовой подстилки/га и смешивает 1.3 т почвы/га.

Питаются дождевые черви отмершими частями растений или богатым перегноем почвы. Органические вещества, ее перегной служит пищей, а заглатываемые песчинки способствуют их перетиранию и измельчению. Переработанную таким образом и прошедшую через кишечник пищу черви выбрасывают на поверхность почвы в

виде экскрементов или копролитов. Они представляют собой оформленные комочки, частицы которых по размерам чаще всего не отличаются от частиц почвы, иногда бывают меньше, но их pH более нейтральный, т.к. они подвергались воздействию секрета известковых желез, расположенных в стенках глотки и выделяющих в кишечник конкреции углекислого кальция. Установлено, что величина копролитов червей сем. Lumbricidae зависела от диаметра их задней кишки (тифлостоля). У вида *Lumbricus terrestris* – более крупных форм дождевого червя – величина копролитов составляла 2000–3000 мкм, у вида *Allobophora rosea* – 1200–1700 мкм.

В серой лесной почве показатели pH раствора копролитов дождевых червей вида *Allobophora rosea* составляли 7.3, в бурой лесной почве – 6.6, в черноземе – 7.9 ед. Показатели pH почвенного раствора для серой лесной почвы составляли 5.5–6.9, бурой лесной почвы – 5.2–5.7 и чернозема – 6.7–7.0 (табл. 5).

Активность почвенных беспозвоночных животных зависит от параметров влажности почв, что подтверждается закономерностью пространственного распределения педобионтов в почвах и особенностью их сезонной динамики. Для каждой таксономической группы почвенных беспозвоночных животных существует свой оптимальный климат. Особенно губительны периоды, когда на педобионтов, герпетобионтов, хортобионтов одновременно действуют воздушная и почвенная засуха [14]. На фоне таких значительных флуктуаций структуры основных фитоценозов, рассмотрим соответствующие изменения в динамике почвенных беспозвоночных животных. Влажный и тепловой режим почв во многом определяет качественные и количественные биологические показатели почвенных беспозвоночных животных, от него зависят первичная продуктивность растительного покрова и вторичная биологическая продуктивность, а также продолжительность активности в почве педобионтов в вегетационном периоде [14]. В осеннем сезоне, в ноябре влажный режим почвы оптимальный, но одновременно существует минимальный тепловой режим почв, который влияет отрицательно на динамику численности и снижает плотность и активность почвенных беспозвоночных животных. Причиной снижения численности почвенных беспозвоночных животных рано весной (март) и поздно осенью (ноябрь) является минимальная температура почвы, независимо от того, есть ли достаточное количество влаги в почве. Почва весной медленно нагревается, а осенью ее температура постепенно снижается, и в таких эдафических

Таблица 6. Изменение численности почвенных беспозвоночных животных в зависимости от влажности почвы в течение года, %

Группа педобионтов	Весна			Лето			Осень		
	март, 3-я декада	апрель	май	июнь, 1–2-я декада	июль	август	сентябрь	октябрь	ноябрь, 1-я декада
	влажность почвы, %								
	64	62	57	31	15	12	16	42	50
Микрофауна	7.9	9.91	9.25	6.61	3.30	2.31	4.6	6.61	5.28
Мезофауна	3.96	5.61	4.6	3.30	1.65	1.15	2.31	3.63	2.64
Макрофауна	1.98	2.97	2.31	1.65	0.826	0.496	1.15	1.81	1.32

условиях наблюдают активность криофильных видов почвенных беспозвоночных животных. Зимой термический режим почв минимальный, поэтому активность почвенной биоты снижена, и в таких климатических условиях замедлены процессы разложения фитомассы растительных остатков со стороны педобиоты. При таких климатических условиях на деструкционные процессы фитомассы растительных остатков влияют больше минимальные температуры и относительно криофильные почвенные микроорганизмы. И наоборот, в теплом периоде максимальное разложение фитомассы растительных остатков обеспечивают разные экологические группы педобионтов в комплексе с абиотическими факторами. Благодаря интенсификации активности почвенной биоты в теплом вегетационном периоде скорость разложения фитомассы растительных остатков бывает максимальной по сравнению с холодным сезоном.

В последнее время из всего комплекса абиотических факторов наиболее отрицательно влияют на численность педобионтов засушливые климатические условия, особенно летом, начиная с 3-й декады июня, включая июль, август, когда наблюдают в различных типах почв уменьшение качественных и количественных биологических показателей почвенных беспозвоночных животных и параллельно – снижение фитомассы растительности. Температуры 32–36°C на большей части территории Республики Молдова уже являются летальными для эдафической фауны. Было показано, что в летний период снижалась численность экологических групп мезофильных и гидрофильных педобионтов.

Исследование корреляции между влажностью почвы и численностью педобионтов выявило наличие связи между этими показателями: при снижении влажности почвы уменьшалась численность почвенных беспозвоночных животных

(табл. 6). Содержание влаги в дерновом горизонте серых лесных почв в лесных биогеофитоценозах весной составляло 27–30%, в нижележащем 20–23%, т.е. было соответственно на 8–11 и 2–4% больше, чем в пахотных аналогах [14].

Во время вегетационного периода гидрологический режим почв на глубине 25 см свидетельствовал о том, что по мере движения с севера от лесных, луговых экосистем на юг к степным биогеоценозам влажность почв имела тенденцию к понижению, а термический режим почв, наоборот, к повышению, и соответственно качественный и количественный состав почвенных беспозвоночных животных сокращался. По мнению [15], в аридных экосистемах пространственное распределение почвенной биоты определяется во многом распределением в пространстве влаги и температурой поверхности почвы.

После осушения влажных (сырых) лугов с целью расширения площади сельскохозяйственных угодий уменьшилась влажность почв, кроме этого, произошло накопление минеральных солей, в основном хлористого натрия в сухих луговых почвах, что привело к их деградации. В результате большие площади луговых земель превратились в солонцовые и солончаковые почвы, особенно в южной степной зоне и на незначительных площадях в некоторых местах центральной лесостепной зоны Республики Молдова. Первыми обитателями солонцовых и солончаковых почв посттехногенных лугов были виды из семейства Carabidae из родов *Pogonus*, *Bembidion*, а также *Dichrotrichus pubescens*. Только в некоторых умеренных увлажненных местах с меньшей концентрацией солей в почве, начинали появляться другие виды педобионтов: (*Pterostichus cupreus* и *Amara*) или коротконадкрылых жуков (*Philonthus fuscipennis*).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, показано, что ежегодное поступление растительного и листового опада от 3–5 т/га в почву и высокая активность почвенных беспозвоночных животных обеспечивало накопление 1.0–1.5% гумуса.

Сравнение времени полного разложения фитомассы (в годах) в зависимости от типа растительных остатков показало, что максимальная скорость разложения фитомассы была в варианте с черноземом типичным и растительными остатками гороха и червями рода *Quercus*: 1.0 год, в контроле – 1.4 года, минимальная в бурой лесной почве с фитомассой подстилки и червями рода *Fagus* – 2.4 года, в контроле – 3.2 года.

В лесных экосистемах численность, биомасса, количество копролитов и ходов педобионтов, включая и сем. Lumbricidae, в зависимости от горизонта почвы были максимальными в серой лесной почве (заповедник Кодры), затем следовала бурая лесная почва (заповедник Кодры).

Переработанную и прошедшую через кишечник пищу черви в виде копролитов выбрасывают на поверхность почвы. Величина рН раствора копролитов более нейтральная, т.к. их материал подвергался воздействию секрета известковых желез, расположенных в стенках глотки и выделяющих в кишечник конкреции углекислого кальция.

Аккумуляция фитомассы растительных остатков и подстилки листовых лесов в разных типах почв является основой воспроизводства комплекса сапрофагов, активное функционирование которого определяет интенсификацию процессов разложения органического материала фитомассы растительного и животного происхождения, обогащает почву макро- и микроэлементами, гумусом, улучшает структуру почвы и повышает ее плодородие.

Сезонные изменения гидротермического режима почв влияют отрицательно на таксономический состав, численность и биомассу педобионтов, особенно в летнем сезоне, когда в разных типах почв снижаются качественные и количественные биологические показатели педобионтов.

В природных экосистемах при разнообразном таксономическом составе трофических групп педобионтов, которые участвуют в основных биолого-почвенных процессах, отмечена максимальная скорость разложения фитомассы растительных остатков и подстилки в разных типах почв разных агроландшафтов.

Установлено, что природные, техногенные, антропогенные факторы влияют на изменение

качественных и количественных биологических показателей и активность почвенных беспозвоночных животных.

Применение разных агротехнических приемов в агроэкосистемах отрицательно влияет на биоразнообразие таксономического состава и численность почвенной фауны, как компонента трофической цепи и соответственно минимизирует разложение растительных остатков в посевах разных видов сельскохозяйственных культур.

В многолетней динамике в почвах агроэкосистем определены минимальные тренды изменения видового состава, уменьшения биомассы, численности педобионтов и снижение уровня активности почвенных беспозвоночных животных в процессе разложения фитомассы растительных остатков и подстилки в пахотных почвах.

В почве с оптимальной влажностью и с остатками бобовых культур наблюдали увеличение численности ногохвосток, в иссушенных почвах с фитомассой злаковых растений больше размножались панцирные клещи.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Авров О.Е., Мороз З.М. Использование соломы в сельском хозяйстве. Л.: Колос, ЛО, 1979. 200 с.
2. Александрова А.Б., Гордиенко Т.А., Богданов А.В., Кибардина М.Л., Сабанцев Д.Н. Фауна и население дождевых червей почв рекреационной зоны Казани // Проблемы почвенной зоологии. Мат-лы XVI Всерос. совещ. почв. зоологии. 4–7 октября 2011 г., Ростов-на-Дону. М., 2011. С. 3–4.
3. Витион П.Г. Воздействие различных систем удобрения на динамику численности комплекса педобионтов // Агрохимия. 2016. № 9. С. 70–77.
4. Витион П.Г. Использование органо-минеральных удобрений при выращивании сельскохозяйственных культур и зоомелиорация педобионтов // Международный научн.-исслед. журн. Усп. совр. науки. ISSN 2412. 6608. Белгород, 2017. Т. 1. № 9. С. 138–142.
5. Гиляров М.С., Стриганова Б.Р. Количественные методы в почвенной среде. М.: Наука, 1987. 287 с.
6. Русанов А.М. Влияние Бузулукского бора на прилегающие ландшафты и свойства почв // Почвоведение. 2008. № 2. С. 146–152.
7. Стриганова Б.Р. Адаптивные стратегии освоения животными почвенного яруса // Почвоведение. 1996. № 6. С. 714–721.
8. Туев И.Н. Микробиологические процессы гумусообразования. М.: Агропромиздат, 1989. 239 с.
9. Уланов А.Н. Экологические аспекты восстановления болотных агроэкосистем на обработанных торфяных месторождениях южной тайги Кировской области // Сб. научн. тр. Вып. № 18 (66). М., 2018. С. 61–70.

10. Яшин М.А., Авдеева Т.Н., Козут Б.М., Маркина Л.К., Семенов В.М., Тарасов С.И., Фрид. А.С. Агрогенная трансформация лабильных гумусовых веществ и структуры дерново-подзолистой супесчаной почвы // *Агрохимия*. 2015. № 9. С. 3–13.
11. Бабиева И.Б., Зенова Г.М. Биология почв. М.: Изд-во МГУ, 1989. С. 35–36.
12. Rossi J.-P. Short-range structures in earthworm spatial distribution // *Pedobiologia*. 2003. V. 47. P. 582–587.
13. Vition P. Metode de zooameliorare a organismelor nevertebrate pedobionte în agrobiocenoză. Chișinău: Institutul Național de Economie și Informație, Ministerul Economiei, Informație de sinteză, 1994. 36 p.
14. Vition P.G. Influența condițiilor climatice asupra Oligochetelor // *Impactul calamităților naturale asupra mediului înconjurător*. Chișinău: Departamentul Protecția Mediului al Republicii Moldova, (D.P.M.R.M), (I.N.E.C.O), Serviciul “Hidrometeo”, 1995. P. 24–25.
15. Whitford W.G. The importance of the biodiversity of soil biota in arid ecosystems // *Biodiversity and Conservation*. 1996. V. 5. P. 185–195.

Bioecological Significance of Pedobionts in the Transformation of Soil Organic Material

P. G. Vition

*Institute of Genetics, Physiology and Protection of Plants
St. Pădurii 20, Chișinău MD-2002, Republic of Moldova
E-mail: vitionpantelei@yahoo.com*

A review of the research results and literature data on the contribution of soil invertebrates involved in the destructive processes of various types of phytomass and plant residues in different types of soils and ecosystems is presented. Changes in the structure of the complex of communities of soil pedobionts in space (distribution according to the soil profile) and in time (spring–autumn) were studied. A comparative analysis of the relationship between soil moisture and the number of soil invertebrates is given. pH values were also determined in earthworm coprolites and in soils.

Key words: soil, pedobionts, destruction processes, phytomass, ecosystems.