

УДК 631.879.42

UDC 631.879.42

03.00.00 Биологические науки

Biological sciences

ВЛИЯНИЕ СЛОЖНОГО КОМПОСТА НА РАЗВИТИЕ МИКРООРГАНИЗМОВ В ВЕРХНЕМ СЛОЕ ЧЕРНОЗЕМА ОБЫКНОВЕННОГО**INFLUENCE OF COMPLEX COMPOSTS ON DEVELOPMENT OF LIVING ORGANISMS IN TOP LAYERS OF ORDINARY CHERNOZEM**Белюченко Иван Степанович
д. б. н., профессорРИНЦ SPIN-код=[3768-8950](#)

ФГБОУ «Кубанский государственный аграрный университет», Краснодар, Россия

Belyuchenko Ivan Stepanovich,
Dr.Sci.Biol., professor

RSCI SPIN-code = 3768-8950

Kuban State Agrarian University, Krasnodar, Russia

Сложный компост, образующийся в процессе объединения органических и минеральных коллоидов, формирует новые круговороты биогенов, усиливает ферментативную активность и дыхание живых организмов, способствует образованию газообразных соединений, увеличению числа экологических ниш и рекультивации почв. Применение сложного компоста представляет собой новое направление в практической экологии, земледелии и почвоведении, основанное на использовании комплексных смесей различных отходов быта, промышленного и сельскохозяйственного производства для обогащения почв органическими и минеральными дисперсными и коллоидными системами с целью совершенствования их физико-химических и биолого-экологических функций. Формирование сложного компоста обеспечивается обогащением субстрата органическим веществом, комплексным набором минеральных веществ и их смешанным коллоидным составом. Микробные сообщества определяются по уровню трансформации органического вещества и активностью системы жизнеобеспечения и многообразия живых особей. Внешение в верхний слой почвы сложного компоста способствует развитию и расширению экологических ниш. В сложном компосте увеличивается численность актиномицетов, особенно у представителей рода *Streptomyces*, популяции которых накапливаются в верхнем слое почвы в летний период. Наиболее часто в почве после внесения сложного компоста встречались актиномицеты серии *Cinereus*, реже выделялись *Violaceus* и *Aureus*

Complex compost, which is formed in the process of unification of organic and mineral colloids, the formation of new cycles of nutrients, increasing the enzymatic activity of organic matter and respiration of living organisms, the formation of gaseous compounds, increase of ecological niches and land reclamation is a new direction in practical ecology, agriculture and soil science. This line determines of creation and use of complex mixtures of different wastes household, industrial and agricultural production for enrichment soil of organic and mineral dispersed and colloidal systems and improving their physical, chemical and biological and ecological functions. Formation of complex of compost is provided by the enrichment of substrate of organic matter, comprehensive set of mineral substances and their mixed colloidal composition. Microbial communities are determined by the level of transformation of organic matter and activity of life support system and the variety of living species. Entering into the top layer of soil of complex compost contributes to the development and expansion of ecological niches. At the complex compost it is very active increases the number of actinomycetes, especially representatives of the genus *Streptomyces*, the population of which are accumulated in the top layer of soil in the summer. Actinomycetes series of *Cinereus* were encountered most often in the soil after introduction of complex compost, *Violaceus* and *Aureus* were allocated less.

Ключевые слова: СЛОЖНЫЙ КОМПОСТ, ОРГАНИЧЕСКИЕ КОЛЛОИДЫ, МИНЕРАЛЬНЫЕ КОЛЛОИДЫ, КРУГОВОРОТ БИОГЕНОВ, ФЕРМЕНТАТИВНАЯ АКТИВНОСТЬ, ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ НИШИ, ДИСПЕРСНЫЕ СИСТЕМЫ, БИОЛОГИЧЕСКИЕ ФУНКЦИИ, ТРАНСФОРМАЦИЯ ВЕЩЕСТВ, МИКРОБНЫЕ СООБЩЕСТВА

Keywords: COMPLEX COMPOST, ORGANIC COLLOIDS, MINERAL COLLOIDS, CYCLE OF NUTRIENTS, ENZYMATIC ACTIVITY, ECOLOGICAL NICHES, DISPERSE SYSTEMS, BIOLOGICAL FUNCTIONS, TRANSFORMATION OF SUBSTANCES, MICROBIAL COMMUNITIES

Состав сложного компоста зависит от количества ионов Ca^{++} и Mg^{++} и различают их два типа: мелкозернистую, когда минеральные коллоиды разбросаны и не связаны друг с другом, и комковатую – минеральные и органические коллоиды соединены в относительно стойкие агрегаты. Для комковатого компоста характерна хорошая влагоёмкость без застоя воды и лучшее обеспечение кислородом по сравнению с мелкозернистым. Водопотребление сложного компоста определяется в основном ионами Ca^{+2} , которые увеличивают прочность агрегатов, сформированных сочетанием органических и минеральных коллоидов, а также снижают токсическое действие подвижных солей тяжелых металлов. Основным источником Ca^{++} в компосте может быть фосфогипс, мел, известковая мука и другие минералы [12].

Сложные компосты широко используются в некоторых районах Кубани для их изучения по рекультивации почв. Применение сложных компостов является одним из направлений практической экологии, земледелия и почвоведения. Они создаются как искусственные смеси различных отходов быта, промышленного и сельскохозяйственного производства, а также природных материалов, что обогащает формируемый субстрат органическими и минеральными дисперсными коллоидными системами с целью совершенствования физико-химических и эколого-биологических функций. Поэтому важным этапом в создании сложного компоста является подбор основных компонентов из отходов (до 8–10 видов и больше). Биологическую основу развития сложного компоста составляют прокариотные микробоценозы, а физико-химическую – обменные реакции органических и минеральных соединений, формирующих его ППК. В настоящей статье обсуждается формирование и развитие сложного компоста в основном до его внесения в почву [10].

В сложном компосте содержится значительный запас органического вещества, расходуемый в значительной мере живыми организмами и

именно благодаря им достигается определенного уровня минерализации. Органическое вещество обычно концентрируется в верхнем слое сложного компоста и здесь наиболее широко варьируется видовой и популяционный состав микроорганизмов. Органическое вещество активно расходуется и при задержке с внесением сложного компоста в почву сложного компоста, при этом микроорганизмы переходят на использование рассеянных его скоплений. Если поступление в сложный компост (особенно в первый год его формирования) свежего растительного материала недостаточное, то большинство микроорганизмов переходит в состояние покоя.

Методы исследований. Образцы для анализа отбирались в трех вариантах опыта: 1) почва + NP; 2) почва + полуперепревший навоз КРС + NP; 3) почва + сложный компост + NP. Численность микроорганизмов оценивалась методом высева разведений субстрата на питательные среды (ГПД, КАА, ГА Виноградского, Эшби–Гетченсона и Чапека). Определение актиномицетов, которым принадлежит большая роль в круговороте органических и минеральных веществ, проводили на основе морфологических и физиолого-биохимических признаков с использованием определителя Берджи (1997). Для видовой идентификации стрептомицетов использовали определитель Гаузе, а микромицетов – основные подходы отечественных и зарубежных авторов [15,29]. Общую численность микроорганизмов оценивали в КОЕ/г каждого варианта опыта.

Результаты исследований и их обсуждение

1. Специфика разложения отходов. Каждый вид отходов (дефекат, свиной навоз, куриный помет и т. д.) имеет свойственное именно ему содержание органических веществ (белков, сахаров, аминокислот, витаминов, ферментов и т. д.) и неорганических соединений (аммония, подвижного фосфора и других), уровень рН, а также отличается спецификой этих показателей в зависимости от вида субстрата. Добавление в сложный компост растительных отходов (солома озимой пшеницы, ячменя, стебли ку-

курузы, подсолнечника, отходы сахарной свеклы и др.) стимулирует дополнительное включение в разложение других видов микроорганизмов, которые при благоприятных условиях (влага, температура, питательные вещества) доводят состояние растительных остатков до определенного равновесного уровня [12].

По скорости разложения растительные остатки в сложных компостах в осенне-зимне-весенний период располагаются в такой последовательности: отходы сахарной свеклы → озимой пшеницы → кукурузы → подсолнечника → озимого ячменя. Полностью минерализуются остатки сахарной свеклы, и сформированная масса сложного компоста становится однородной. Для других отходов этого типа в опытах визуально отмечается наличие фрагментов неразложившихся стеблей, а в некоторых случаях и полуразложившихся листовых влагалищ, особенно у кукурузы и озимого ячменя. Однако во всех вариантах, в конечном итоге, характерна хорошая агрегированность сформировавшегося сложного компоста с пористой комковатой структурой, сыпучестью и устойчивой влажностью на уровне 15–20 % [8].

Миграция микроорганизмов в субстрате существенно затрудняется адсорбцией различными частицами, особенно органическими веществами, а также глиной. Мелкие поры между частицами сложного компоста также затрудняют их перемещение, особенно в начальный период развития смеси. В сложном компосте развиваются по мере его формирования популяции микроорганизмов, осуществляющие аммонификацию, нитрификацию, азотфиксацию, а также трансформирующие органические вещества, разлагающие целлюлозу и другие труднодоступные соединения [5].

Регуляция механизмов устойчивости сложного компоста является очень важной в формировании плодородия почвы, – качества, определяющего комплекс мероприятий для повышения её продуктивности, как важнейшей составляющей любого агроландшафта. Обилие и разнообразие

микроорганизмов в сложном компосте обеспечивают многообразие химических реакций между органическими и минеральными отходами и превращают их в верхнем слое в единую биогеохимическую систему. Микроорганизмы сложного компоста являются основным источником формирования в нем главных парниковых газов: двуокиси углерода, окислов азота и других соединений. Использование сложного компоста для улучшения верхнего слоя почвы способствует его долговременному (до 5–6 лет и больше) обогащению органическими, минеральными, в том числе азотно-фосфорными соединениями. Благодаря содержанию большого количества органических веществ сложный компост существенно превосходит по набору видов и обилию отдельных популяций микробиоценоза окружающие почвенные частицы. Внесение сложного компоста в почву активно пополняет её верхний слой микроорганизмами, что усиливает обмен энергией и различными веществами между составляющими агроландшафта [3,4,6].

Наибольшее значение в круговороте отдельных элементов и веществ в субстрате сложного компоста, как и в почве, имеют популяции микроорганизмов с высокой активностью. При изучении в сложном компосте круговорота отдельных элементов и потоков веществ были выделены актиномицеты, чья активность связывается с синтезом и распадом гумусовых веществ и частично с их азотным балансом, с трансформацией различных соединений, особенно трудноразлагаемых органических [3]. Численность актиномицетов в сложном компосте варьирует довольно широко и зависит от соотношения и разнообразия различных отходов (табл. 1).

Таблица 1 – Доля распространенных актиномицетов в сложном компосте, % (среднее за 2011–2014 гг.)

Род	Сложные компосты с участием разных отходов		
	Полуперепревший навоз КРС	Отходы очистки семян	Свиной навоз
<i>Micromonospora</i>	12±0,4	15±0,3	10±0,1
<i>Nocardia</i>	25±0,9	31±0,5	22±0,7
<i>Nocardioides</i>	5±0,03	11±0,1	7±0,1
<i>Streptomyces</i>	57±0,3	52±2,1	62±2,0
Основные виды	98±3,8	105±48	35±3,8

В сложных компостах, где значительная доля приходится на отходы однолетних злаков, включая полову, численность актиномицетов по подсчетам основных родовых комплексов в опытах была средней. При значительном количестве свиного навоза общая доля актиномицетов составила около 95% с заметным обилием представителей рода *Streptomyces*. В сложном компосте с органической массой в виде полуперепревшего навоза КРС доля родовых комплексов актиномицетов была сравнимой с другими видами микроорганизмов [7].

Повышенная численность актиномицетов, прежде всего рода *Streptomyces*, характерна для сложного компоста по сравнению с другими вариантами опыта; особенно активно развиваются актиномицеты в летний период. Актиномицетам принадлежит важная роль в круговороте минеральных элементов в трофической цепи в качестве микробов-редуцентов (табл. 2). Было установлено, что на голодном агаре численность и видовое разнообразие актиномицетов, выделенных из крахмально-аммиачного агара, были значительно выше контроля. В исследуемых образцах всегда выделялись представители родов *Streptomyces*, *Nocardia*, *Nocardiosis*, *Micromonospora*, относительно редко встречались представители рода *Streptosporangium* [14].

Таблица 2 – Численность микроорганизмов на крахмально-аммиачном и голодном агаре (2011 г.)

Вариант опыта	Микроорганизмы			
	Амилолитические, 10^{-6} КОЕ/г		Олиготрофные, 10^{-4} КОЕ/г	
	общее количество	из них актиномицетов	общее количество	из них актиномицетов
Сложный компост	74±3,2	5±0,01	81±3,7	53±2,2
Полуперепревший навоз КРС	41±1,8	4±0,01	52±2,1	41±2,0
Почва	35±0,3	3±0,01	38±1,2	36±1,7

Анализ таксономического разнообразия микроорганизмов в верхнем слое сложного компоста установил наличие представителей родов *Streptomyces*, *Micromonospora*, *Nocardia* и др. Наиболее многочисленным в исследуемой смеси верхнего слоя сложного компоста оказался род *Streptomyces*, виды которого осуществляют процесс разложения сложных органических веществ и отличаются достаточно широким спектром. Полученные данные показали, что наиболее часто выделялись актиномицеты секции *Cinereus*, реже встречались представители серий *Chromogenes*, *Violaceus*, *Aureus* [4,13].

Исходя из анализа данных, можно заключить, что вовсе не обязательно определять в сложном компосте все виды актиномицетов. Достаточно в нём установить наличие доминирующих видов, определяющих протекание конкретных процессов. Часто принимается условный критерий численности живых организмов (так, на 1 г сложного компоста приходится около 1 млн бактериальных клеток). Для грибов и актиномицетов взяты другие экологические критерии учета их численности, а также особенностей метаболизма. Обычно их численность составляет порядка 10 тыс. клеток на 1 г почвенного субстрата с внесенным сложным компостом [3].

В дальнейших исследованиях нуждаются важные для развития микроорганизмов биологически активные вещества (аминокислоты, антибиотики, стимуляторы и ингибиторы роста, витамины, токсины и т.д.). Изуче-

ние функциональной роли микроорганизмов в формировании сложных компостов имеет практическое и теоретическое значение, но количество имеющихся данных еще недостаточное. Сдерживание минерализации органического вещества и трансформации минерального азота, а также другие проблемы при формировании сложного компоста возникают именно по мере превращения сложных соединений, формирующихся при объединении многих отходов в общий субстрат. Прохождение основных процессов трансформации не возможно без активности различных групп микроорганизмов, и в первую очередь к таким процессам относится переработка ряда отходов и их превращение в источник энергии для других организмов, а также их дальнейшее преобразование [1].

Сложный компост по своей структуре представляет собой трехфазную систему, способную к созданию среды обитания для различных групп организмов: бактерий, грибов, актиномицетов, микро- и мезофауны и других таксонов. Субстрат сложного компоста аналогичен высокопродуктивной почве, но отличается от неё некоторыми улучшенными условиями для жизни отдельных популяций живых организмов, образующих микросообщества из различных таксонов. Развитие таких колоний микроорганизмов в разных типах сложных компостов имеет важное значение, поскольку активирование их развития во времени и в пространстве благодаря повышенной концентрации органического вещества и широкого спектра таких соединений, как аминокислоты, белки, крахмал, липиды, нуклеиновые кислоты, ферменты, антибиотики, витамины, целлюлоза, лигнин, хитин, а также направленность таких важных процессов, как аммонификация, азотфиксация, гидролиз органофосфатов, трансформация многих органических и минеральных веществ, находятся в тесной взаимосвязи [7].

Верхний слой сложного компоста характеризуется значительным разнообразием физических, химических и биологических свойств и потому способствует сосуществованию различных по функциям популяций живых

организмов, которые находят десятки новых экологических ниш с различным химизмом, физическим составом, содержанием питательных веществ и реакцией среды. Многие виды живых организмов сложного компоста – бактерии, грибы, одноклеточные водоросли и актиномицеты – находят здесь подходящие экологические ниши для своего функционирования и размножения. В сложных компостах встречаются также и временные виды микроорганизмов, особенно фитопатогены ризо- и филлопланы, которые способны легко осваивать растительные остатки большинства растительных организмов [12,13,24,26].

Наиболее важны в образовании сложного компоста биохимические процессы разложения труднорастворимых растительных остатков – кочерыжки кукурузы, её корни, стебли, однолетние побеги кустарников и т. д. Их осуществляют различающиеся по своей природе и экологической функции микроорганизмы: молочнокислые, фотосинтезирующие, азотфиксирующие и ферментирующие бактерии, грибы, дрожжи, почвенные актиномицеты и другие группы. Большинство из этих таксонов в меньшем или большем количестве встречается практически во всех органических отходах; их мало в растительных остатках, но много концентрируется во всех видах навоза, осадках сточных вод, курином помете и других субстратах. Азотфиксацию, например осуществляют многие прокариоты: автотрофы и гетеротрофы, фотосинтезирующие и клубеньковые бактерии, в частности представители родов *Azotobacter*, *Clostridium*, и многие другие [17,18].

Микроорганизмы по мере «созревания» сложного компоста по своему функциональному значению классифицируются на азотфиксаторов, нитрификаторов, денитрификаторов, аммонификаторов и различают также целлюлозолитические, пектинолитические и другие эколого-трофические группы. Нитрификация осуществляется группой хемолитотрофных бактерий, а гетеротрофная нитрификация – рядом гетеротрофных бактерий и грибов. Гидролиз труднорастворимых фосфатов в фосфогипсе сложного

компоста, окисление в его составе железа и марганца и их восстановление также осуществляются функционально разными микроорганизмами [19,20].

Отдельные микробиологические процессы в сложном компосте являются особенно важными. К примеру, *Azotobacter* относится к группе основных азотфиксаторов. Среди денитрификаторов выделяются *Pseudomonas denitrificans* и другие виды. Сходные процессы осуществляются также другими экологическими группами микроорганизмов в зависимости от условий среды их обитания. Например, если в сложном компосте отсутствует связанный азот, азотфиксация идёт за счет работы других микроорганизмов; при недостатке кислорода и наличии связанного азота усиливаются процессы нитрификации и денитрификации. Соотношение азотфиксации и денитрификации при определённом режиме развития сложного компоста регулирует наличие кислорода [21,27].

Для оценки микробиологических процессов в сложном компосте в целом, достаточно выделить в микробоценозах доминирующие виды – индикаторы конкретных процессов. В равнинных ландшафтах важную роль играют лесные системы, оказывающие существенное влияние на соотношение различных групп экологических микроорганизмов [9,16].

Важное место в многофазной системе компостов принадлежит газообразным веществам, которые быстро перемещаются и существенно влияют в целом на газообмен во всей системе, а при правильной компоновке могут формировать соли отдельных удобрений (азотных, фосфорных и т. д.). Не менее важное место в отходах занимают жидкие вещества, которые по сравнению с газообразными перемещаются существенно меньше, но заметно влияют на водный обмен и при удачном соотношении его составляющих формируют различные соли, улучшающие пищевой режим как для животных, так и для высших растений. Третье место принадлежит твердым веществам, определяющим активность и газообразных, и жидких ве-

ществ, поддерживая тем самым относительную стабильность их соотношения [22,25].

2. *Эколого-трофические группы микроорганизмов.* Микробиологический анализ проб субстрата до внесения сложного компоста в почву, что при его внесении доминирует прокариотный комплекс организмов, который значительно превышает численность микроскопических грибов [16,17,18]. Общая численность бактерий в почвах при внесении сложного компоста при выращивании сельхозкультур варьирует в широких пределах – от 4 до 73 млн клеток, при преобладании аммонифицирующих микроорганизмов (табл. 3).

Таблица 3 – Изменение численности эколого-трофических групп микроорганизмов в год внесения в почву сложного компоста (2010–2012 гг.)

Вариант опыта	Микроорганизмы				Микромицеты, *10 ⁻³ КОЕ/г	Уровень рН
	Аммонифицирующие, *10 ⁻⁶ КОЕ/г	Амилотические, *10 ⁻⁶ КОЕ/г	Олиготрофные, *10 ⁻⁵ КОЕ/г	Нитрифицирующие, титр		
Сложный компост + NP	73±3,8	47±2,2	68±3,2	10 ⁻⁴	7±0,01	6,8–7,2
Полуперепревший навоз КРС + NP	65±2,7	34±1,2	57±2,8	10 ⁻⁵	5±0,01	7,8–8,3
Почва + NP	52±2,4	31±1,3	46±2,1	10 ⁻⁶	4±0,01	8,3–8,8

В первый год при внесении в почву сложного компоста, как показали результаты полевых исследований, на полях с сельскохозяйственными культурами наблюдается увеличение популяций микробного сообщества. Микроорганизмы очень быстро реагируют на изменения условий окружающей среды. Так, увеличение показателя рН в среднем до 7,0 (снижение кислотности) и улучшение аэрации способствует активизации развития бактерий и грибов и приводит к увеличению их видовой и популяционной численности. Установлено, что включение в сложный компост фосфогипса из расчета 7 т/га снижается количество и титр нитрифицирующих микро-

организмов, которые отличаются особенно высокой численностью в почвах под пшеницей [16,17].

Наибольшей активностью отличаются микроорганизмы в вариантах опыта со сложным компостом в сравнении с внесением азота и фосфора. Доля аммонифицирующих микроорганизмов доходит в среднем до $73 \cdot 10^{-6}$ КОЕ/г. Достаточно высокий уровень аммонификаторов отмечен также в варианте с полуперепревшим навозом КРС – до $58 \cdot 10^{-6}$ КОЕ/г. В варианте с внесением только азота и фосфора концентрация микроорганизмов снизилась на $2/3$ по сравнению со сложным компостом, существенно снизившим уровень рН до 7,0, а в почве на контроле этот показатель остался в среднем на уровне рН 8,6. Второе место по численности принадлежит популяциям амилитических бактерий. Из остальных групп выделяются нитрифицирующие бактерии, доля которых существенно уступила другим эколого-трофическим сообществам, а микромицеты в этом варианте слегка превзошли другие группы микроорганизмов [23,28].

Живые организмы сложного компоста при внесении его в почву свободно мигрируют по разным направлениям, подбирая наиболее подходящие каналы своего перемещения. Наличие легкоразлагающихся органических веществ в сложном компосте приводит к быстрому увеличению популяций микроорганизмов при их значительном экологическом разнообразии. Сформированный сложный компост выделяется широким видовым варьированием организмов, в первую очередь бактерий и грибов, которые способны продуцировать различные биологически активные вещества, активизирующие разложение многих органических соединений и других веществ [13,16,17].

При подготовке сложных компостов в буртах соломы дублируются процессы развития микроорганизмов верхнего слоя почвы, и это является благоприятным условием для расширения экологических ниш и увеличения разнообразия популяций живых организмов. В условиях достаточного

количества питательных веществ количество клеток живых организмов в сложном компосте достигает значительной величины, но видовой набор обычно снижается; при развитии в менее благоприятных условиях численность клеток микроорганизмов уменьшается, но их видовой состав весьма значителен, и при изменении условий среды они заметно активизируют процессы минерализации органического вещества [14,18].

При смешивании и в начале формирования сложного компоста в нем преобладают доступные органические вещества, редукция которых протекает быстро, после чего значительная часть живых организмов переходит в состояние покоя и существует в виде спор или других неактивных форм. Образование комплекса органических и минеральных веществ, как основы сложного компоста, сдерживается активное развитие микроорганизмов, не способных разлагать свежие растительные отходы. На различных стадиях созревания сложного компоста в нём формируется довольно много легкодоступных органических веществ – сахара, органические кислоты и другие соединения, которые поддерживают жизнедеятельность большой массы живых организмов в течение всего периода формирования компоста [17,18,23].

Определенный запас энергетических ресурсов, который обычно создается в сложном компосте, включает в первую очередь различные органические углероды. Если условия развития компоста благоприятные, микроорганизмы перерабатывают за короткое летнее время столько органических веществ, сколько при естественных условиях их не поступает в почву за год. Очень активная трансформация органического вещества характерна для отходов щелочного типа – например, свиной навоз или куриный помет в контакте с кислой средой фосфогипса, золы или других минеральных материалов, обогащенных кальцием, серой, фосфором, кремнием, а также многими микроэлементами.

Активное взаимодействие органических и минеральных коллоидов в составе сложного компоста проявляется в наибольшей степени при их смешивании в условиях хорошего увлажнения (60–75 %) и достаточно высокой температуры (27–32°C); при низких показателях указанных факторов ферментативная активность сложного компоста в почве резко снижается. Частичная разобщенность субстратов сложного компоста очень важна при развитии процессов превращения минеральных веществ, если они содержат соединения кремния, алюминия, железа, кобальта, меди, марганца и ряда других элементов. Для равномерного распределения органических и минеральных соединений, а также образования его поглощающего комплекса обязательным условием является перемешивание всех составных частей при достаточном обеспечении водой – от 40 до 55 % и нейтральной среде – от 7,2 до 7,8 [16,26]

3. *Сложный компост и его биологическая эффективность при заделке в почву.* В развитии сложного компоста основную роль играет прокариотный комплекс, численность которого существенно превышает другие экологические группы микробных сообществ (табл. 4).

Таблица 4 – Численность микроорганизмов некоторых эколого-трофических групп через год после внесения сложного компоста (2014 г.)

Вариант опыта	Аммонифицирующие, 10 ⁻⁶ КОЕ/г	Амилолитические, 10 ⁻⁶ КОЕ/г	Олиготрофные, 10 ⁻⁵ КОЕ/г	Нитрифицирующие, титр	Микромицеты, 10 ⁻³ КОЕ/г
Почва + NP	94±5,1	52±2,	695±3,2	10 ⁻⁶	5±0,01
Почва + NP + полуперепревший навоз КРС	185±8,9	68±23,1	84±3,9	10 ⁻⁵	6±0,01
Почва + сложный компост+ NP	275±12,8	125±5,7	90±4,1	10 ⁻⁴	9±0,01

Через год после внесения в почву сложного компоста, как и перед его внесением преобладают аммонифицирующие и амилолитические группы организмов – число клеток доходит до 305 млн на 1 г верхнего слоя почвы,

смешанной со сложным компостом. На олиготрофные микроорганизмы приходится до 50 % общей численности микробного сообщества: *Penicillium* (до 40 %), *Trichoderma* (до 20 %), *Aspergillus* (до 10 %) и *Fusarium* (до 10 %). Высокий уровень развития почвенных сообществ олиготрофных микроорганизмов в летний период объясняется тем, что эта группа способна хорошо развиваться при относительно низкой влажности и высокой температуре; осенью их численность уменьшается, что связано с повышением влажности и снижением температуры в почве; зимой, очевидно, это связано с низкой температурой.

Очень важная группа организмов в сложном компосте – это плесневые и дрожжевые грибы, занимающие значительное место среди других таксонов по численности и биомассе. Наибольшая встречаемость грибов этих таксонов отмечается тогда, когда на стадии минерализации находится много грубых органических остатков, поскольку именно эта группа организмов активно выделяет разнообразные гидролитические ферменты для их минерализации. Грибы также активно участвуют в превращениях многих соединений азота и способствуют улучшению состава субстрата через агрегирование его частиц [1,2,25,26].

При внесении сложного компоста в верхний слой почвы наиболее широкое распространение получили представители родов *Penicillium*, *Trichoderma*, *Aspergillus*, *Fusarium*, *Rhizopus*, *Cladosporium*, *Alternaria*. Среди дрожжевых грибов обычны виды родов *Lypomyces* (до 32 %) и *Candida* (до 27 %). Эти таксоны редуцентов относятся к бактериально-дрожжевому комплексу азотфиксирующих микроорганизмов. При внесении в почву сложного компоста наблюдается также общее увеличение численности микроскопических грибов. В почвах под различными сельскохозяйственными культурами наиболее часто встречаются микромицеты родов *Penicillium* (до 40 %) и *Aspergillus* (до 15 %). Следует отметить, что на полях ози-

мой пшеницы в варианте со сложным компостом грибы рода *Fusarium* встречаются весьма редко [5,13].

Живые организмы, будучи внесенными в верхний слой почвы со сложным компостом, осуществляют и достаточно сложные биохимические процессы распада трудноразлагаемых органических веществ (кочерыжки кукурузы, её корни, стебли, однолетние побеги кустарников и т.д.) за счет взаимодействия различных по экологическим функциям группировок микроорганизмов: молочнокислые, фотосинтезирующие и азотфиксирующие, а также ферментирующие бактерии, грибы, дрожжи, почвенные актиномицеты, одноклеточные водоросли, сообщества микро- и мезофауны почвы. Практически все экологические группы микроорганизмов в различных соотношениях обитают в органических отходах; относительно мало их в грубых растительных остатках (например, солома ячменя), но повышена концентрация во всех видах навоза, осадках сточных вод и в других многокомпонентных органических субстратах. В сложном компосте азотфиксация осуществляется разнообразными прокариотными микроорганизмами: автотрофными и гетеротрофными бактериями, клубеньковыми бактериями, в частности азотобактером, клубеньковым, различными фотосинтезирующими бактериями и другими экологическими группами живых организмов [13,14,23].

Микроорганизмы сложного компоста и почвы по своей функциональной роли выделяются на азотфиксаторы, нитрификаторы, денитрификаторы, аммонификаторы, целлюлозолитические, пектинолитические и другие эколого-трофические группы. Нитрификация осуществляется группой хемолитотрофных бактерий, а также рядом гетеротрофных бактерий и грибов. Гидролиз труднорастворимых фосфатов фосфогипса и других соединений в сложном компосте и в смеси с верхним слоем почвы выполняется разными экологическими группами микроорганизмов, которые осуществляют также окисление и восстановление железа и марганца [4,6,7,11].

К группе основных азотфиксаторов относится *Azotobacter*, среди денитрификаторов выделяется *Pseudomonas denitrificans* и ряд других видов. Аналогичные процессы свойственны и другим микроорганизмам с учетом условий среды их обитания. При отсутствии связанного азота в сложном компосте микроорганизмы осуществляют азотфиксацию из органических веществ, в которых при недостатке кислорода и наличии связанного азота усиливается процесс денитрификации [2,3,6].

В удобренном сложном компостом верхнем слое почвы для своего роста бактерии используют белки и выступают в роли аммонификаторов; в других случаях они могут выступать в качестве нитрификаторов и денитрификаторов, что указывает на полифункциональность многих экологотрофических групп микроорганизмов; такая же особенность свойственна и грибам, и актиномицетам. Поэтому многие процессы разложения органических углеродов дублируются разнотипными микроорганизмами при объединении сложного компоста с верхним слоем почвы, что ускоряет минерализацию доступных соединений. При усилении кислотности среды сложного компоста ускоряется процесс разложения в почве пестицидов, фенолов и других поллютантов, оказывающих влияние на протекание биохимических процессов в формирующейся смеси. Различные экологические группы микроорганизмов-дублеров занимают сходные экологические ниши в пространстве и времени в аэробных и анаэробных условиях, при высокой и низкой температурах [12,27].

Микробиологическое разложение органических веществ связано с образованием в сложном компосте и в верхнем слое почвы большой массы CO_2 в результате усиления в нем автотрофных и гетеротрофных процессов: микроорганизмы разрушают одни и формируют другие органические вещества (например, белки, сахара и другие соединения при разложении целлюлозы, пектинов и др.). При развитии процессов азотфиксации или денитрификации в комплексе сложного компоста с почвой происходит

окисление и восстановление соединений азота, параллельно с ними окисляются и восстанавливаются также другие химические элементы с переменной валентностью – марганец, железо, сера и т.д.

В верхнем слое почвы со сложным компостом эти процессы совершаются в основном специальными экологическими группами живых организмов, но также и случайными, что выполняет роль стабилизирующего фактора в течение весьма короткого промежутка времени: при формировании новых условий развития (за 5–6 месяцев) образуются новые экологические ниши, возникают новые соединения органического и органоминерального комплексов [12,13].

В начале формирования субстрата из почвы и сложного компоста могут выделяться участки с концентрацией некоторых элементов (органических веществ, азота, фосфора, кальция, серы и др.), включая различные комплексы соединений. Использование отходов типа осадков сточных вод, куриного помета, свиного навоза, фосфогипса и некоторых других веществ за счет расширения экологических ниш будет способствовать увеличению как численности популяций отдельных организмов, так и их видовой разнообразия [1,2,3,4].

Комплекс живых организмов в системе верхнего слоя почвы и сложного компоста в зависимости от природно-хозяйственных условий очень разнообразен. Встречаются, в частности, весьма активные группы живых организмов-азотфиксаторов: клубеньковые бактерии, азотобактер, некоторые актиномицеты, определение которых осуществляется из расчета минимум сотен тысяч клеток на 1 г образующейся смеси почва + сложный компост. Для идентификации микроорганизмов не всегда можно отбирать и анализировать пробы субстрата, особенно на начальных стадиях формирования сложной смеси. Оценка наличия в сложном компосте тех или иных экологических групп микроорганизмов, учитывая сезонные колебания погоды, адсорбцию почвенных частиц, сукцессионные колебания их

состава и обилия, достаточно сложна и требует периодического отбора и повторов значительного количества образцов, проращивания их на различных средах, более тщательного исследования на разных типах субстратов [3,4,6].

Смесь почвы со сложным компостом отличается широким разбросом физических, химических и биологических особенностей, поэтому количество любых живых организмов, свойственных данной географической или физической территории, в расчете на 1 г комбинированного субстрата будет различным. Внесение сложного компоста одновременно обогащает верхний слой почвы различными видами живых организмов, которые занимают свободные экологические ниши, и именно в связи с этим меняется интенсивность минерализации. Таким образом, сложный компост создает определенную емкость органических веществ, представляющих среду обитания для конкретных групп живых организмов [3].

В процессе подготовки сложного компоста и внесения его в верхний слой почвы (20–25 см) формируется многовариантный гранулометрически и химически органоминеральный субстрат, который вследствие этого не представляет для организмов равновесной среды обитания. Но именно поэтому многообразие структур и состава нового варианта верхнего слоя почвы позволяет создать различные условия формирования сообществ живых организмов, которые найдут свои экологические ниши во множестве различных сочетаний органических, органоминеральных и минеральных частиц [13,14].

Живые организмы в верхнем слое почвы при внесении сложного компоста осваивают каждую частицу органического вещества, и их размеры и формы позволяют адаптироваться к самым разным условиям среды. Отличаясь высокой скоростью размножения и различными сроками перехода к покою при неблагоприятных условиях, живые организмы способны быстро осваивать органические вещества, составляя отдельные микроколони

из клеток разных видов, которые могут развиваться относительно изолированно во многих природных условиях [11].

В заключение следует подчеркнуть, что при внесении «зрелого» сложного компоста в верхний слой почвы образуются различные по продолжительности и соотношению фаз развития, которые влияют на состав почвенной системы, а также на разнообразие биоты, существенно изменяют и биологические свойства почв. Сложные компосты заметно меняют систему верхнего слоя почв, ускоряют круговорот азота, фосфора и других элементов, заметно сдвигают фазы развития почвенных процессов, а также соотношение между эколого-трофическими группами живых организмов и, что не менее важно, влияют на развитие верхнего слоя почвы, изменяя её физические, химические и биологические свойства.

ЛИТЕРАТУРА

1. Белюченко И.С. Поиски новых технологий выращивания зерновых культур // Международный агропромышленный журнал. 1991. № 6. С. 42–45.
2. Белюченко И.С. Особенности развития многолетних кормовых злаков различного происхождения в южных районах СНГ // Растительные ресурсы. 1992. Вып. 4. Т. 28. С. 57–74.
3. Белюченко И.С., Мокрецов Г.Г. Особенности развития и формирования урожая кормовых растений в чистых посевах и травосмесях на юге Таджикистана // Растительные ресурсы. 1991. Вып. 3. С. 62–81.
4. Белюченко И.С., Подаруева В.И. Микроартроподы в агроценозах многолетних кормовых злаков на юге Таджикистана // Бюллетень МОИП, отделение биологических наук. 1992. Вып. 6. Т. 97. 72–81.
5. Белюченко И.С., Назарько М.Д. Фоновая оценка состояния микробоценозов в почвах природных и агроландшафтных экосистем северных районов Кубани // Экологические проблемы Кубани. 2000. № 8. С. 29–66.
6. Белюченко И.С., Пономарева Ю.В. Грибные консорты озимой пшеницы в степной зоне Кубани // Экологические проблемы Кубани. 2008. № 27. С. 20–163.
7. Белюченко И.С. Гукалов В. Н., Яковлева О.А. Разнообразие мезо- и микрофауны в почвах агроландшафта (на примере ОАО «Заветы Ильича» Ленинградского р-на) // Экологические проблемы Кубани. 2006. № 32. С. 161–164.
8. Белюченко И.С. Экология Краснодарского края (Региональная экология). Краснодар: Кубанский государственный аграрный университет, 2010. 356 с.
9. Белюченко И.С. К вопросу о роли леса в функциональном восстановлении бассейнов степных рек края // Экологический Вестник Северного Кавказа. 2010. Т. 6. № 3. С. 3–14.
10. Белюченко И.С. Гукалов В.Н. Проблемы развития агроландшафтных систем в богарной зоне Краснодарского края // Экологические проблемы Кубани. 2004. С. 7.

11. Белюченко И.С. Применение органических и минеральных отходов для подготовки сложных компостов с целью повышения плодородия почв // Труды Кубанского государственного аграрного университета. Краснодар, 2012. № 39. С. 63–68.
12. Белюченко И.С. Дисперсные и коллоидные системы отходов и их коагуляционные свойства // Экологический Вестник Северного Кавказа. 2013. Т. 9. № 1. С. 13–38.
13. Волошина Г.В., Гукалов В.Н. Микробные сообщества чернозема обыкновенного (на примере агроландшафта ОАО «Заветы Ильича» Ленинградского района) // Экологический Вестник Северного Кавказа. 2009. Т. 5. № 2. С. 21–25.
14. Донец М.Ю., Белюченко И.С. Характеристика микоценозов почв агроландшафтных систем северных районов Кубани // Экологические проблемы Кубани. 2000. № 8. С. 67–77.
15. Кириленко Т.С. Атлас родов почвенных грибов. Киев: Наукова думка, 1977. 128 с.
16. Кураков А.В., Белюченко И.С. Микобиота филлосферы злаков тропического происхождения на юге Таджикистана // Известия АН Таджикской ССР, отделение биологических наук. 1990. № 2. С. 63–67.
17. Кураков А.В., Белюченко И.С. Микроскопические грибы пастбищных и хлопковых агроценозов Южного Таджикистана // Бюллетень МОИП, отделение биологических наук, 1990. Т. 95. Вып. 2. С. 113–131
18. Кураков А.В., Белюченко И.С. Микроскопические грибы почвы, ризосферы и ризопланы хлопчатника и тропических злаков, интродуцированных на юге Таджикистана // Микробиология. 1994. Вып. 6. С. 1101–1109.
19. Муравьев Е.И., Белюченко И.С., Гукалов В.Н. и др. Влияние фосфогипса на развитие и продуктивность растений кукурузы в севообороте // Экологический Вестник Северного Кавказа. 2008. Т. 4. № 4. С. 107–111.
20. Муравьев Е.И., Белюченко И.С. Коллоидный состав и коагуляционные свойства дисперсных систем почвы и некоторых отходов промышленности и животноводства // Труды Кубанского государственного аграрного университета. 2008. № 11. С. 177–182.
21. Муравьев Е.И., Белюченко И.С. Влияние отходов химического производства на загрязнение окружающих ландшафтов // Экологический Вестник Северного Кавказа. 2007. Т. 3. № 4. С. 77–86.
22. Муравьев Е.И., Белюченко И.С., Гукалов В.Н., Мельник О.А. Влияние фосфогипса на развитие растений сахарной свеклы в степной зоне Краснодарского края // Экологический Вестник Северного Кавказа. 2008. Т. 4. № 4. С. 112–114.
23. Назарько М.Д., Белюченко И.С. Микробоценозы почв различных ландшафтов края // Экологические проблемы Кубани. 2000. № 6. С. 39–73.
24. Belyuchenko I.S. Wastes of different production and their properties'in // Ciencia e Tecnica Vitivinicola. – Printed in Portugal. 2014. Vol. 29. № 9. P. 37–50.
25. Belyuchenko I.S. Complex compost and its impact on agrochemical properties of typical chernozem in Krasnodar territory // Bothalia Journal. – Pretoria, South Africa. 2014. Vol. 44. № 12. P. 14–19.
26. Belyuchenko I.S., Gorchakova A.Yu., Slavgorodskaya D.A. Colloidalilty of household and industrial waste and their role in the formation of complex compost // Ciencia e Tecnica Vitivinicola. – Printed in Portugal. 2014. Vol. 29. № 12. P. 110–121.
27. Belyuchenko I.S. Complex compost and soil protection from heavy metals in the agrolandscape system // Bothalia journal. 2014. Vol. 44. № 12. P. 69–79.
28. Kurakov AV., Than H.T.H., Belyuchenko I.S. Microscopic fungi of soil, rhizosphere, and rhizoplane of cotton and tropical cereals introduced in southernTajikistan / Микробиология, 1994. Т. 63. № 6. С. 1101.

29. Pitt J. The genus *Penicillium* and its teleomorphs states *Eupenicillium* and *Talaromyces* – London: Acad. Press. 1979. 633 p.

LITERATURA

1. Beljuchenko I.S. Poiski novykh tehnologij vyrashhivaniya zernovykh kul'tur // *Mezhdunarodnyj agropromyshlennyj zhurnal*. 1991. № 6. S. 42–45.
2. Beljuchenko I.S. Osobennosti razvitija mnogoletnih kormovykh zlakov razlichnogo proishozhdenija v juzhnykh rajonah SNG // *Rastitel'nye resursy*. 1992. Vyp. 4. T. 28. S. 57–74.
3. Beljuchenko I.S., Mokrecov G.G. Osobennosti razvitija i formirovaniya urozhaja kormovykh rastenij v chistykh posevah i travosmesjah na juge Tadzhikestana // *Rastitel'nye resursy*. 1991. Vyp. 3. S. 62–81.
4. Beljuchenko I.S., Podarueva V.I. Mikroartropody v agrocenozah mnogoletnih kormovykh zlakov na juge Tadzhikestana // *Bjulleten' MOIP, otdelenie biologicheskikh nauk*. 1992. Vyp. 6. T. 97. 72–81.
5. Beljuchenko I.S., Nazar'ko M.D. Fonovaja ocenka sostojaniya mikrobocenozov v pochvah prirodnykh i agrolandshaftnykh jekosistem severnykh rajonov Kubani // *Jekologicheskie problemy Kubani*. 2000. № 8. S. 29–66.
6. Beljuchenko I.S., Ponomareva Ju.V. Gribnye konsorty ozimoj pshenicy v stepnoj zone Kubani // *Jekologicheskie problemy Kubani*. 2008. № 27. S. 20–163.
7. Beljuchenko I.S. Gukalov V. N., Jakovleva O.A. Raznoobrazie mezo- i mikrofauny v pochvah agrolandshafta (na primere OAO «Zavety Il'icha» Leningradskogo r-na) // *Jekologicheskie problemy Kubani*. 2006. № 32. S. 161–164.
8. Beljuchenko I.S. *Jekologija Krasnodarskogo kraja (Regional'naja jekologija)*. Krasnodar: Kubanskij gosudarstvennyj agrarnyj universitet, 2010. 356 s.
9. Beljuchenko I.S. K voprosu o roli lesa v funkcional'nom vosstanovlenii bas-sejnov stepnykh rek kraja // *Jekologicheskij Vestnik Severnogo Kavkaza*. 2010. T. 6. № 3. S. 3–14.
10. Beljuchenko I.S. Gukalov V.N. Problemy razvitija agrolandshaftnykh sistem v bogarnoj zone Krasnodarskogo kraja // *Jekologicheskie problemy Kubani*. 2004. S. 7.
11. Beljuchenko I.S. Primenenie organicheskikh i mineral'nykh othodov dlja pod-gotovki slozhnykh kompostov s cel'ju povyshenija plodorodija pochv // *Trudy Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. Krasnodar, 2012. № 39. S. 63–68.
12. Beljuchenko I.S. Dispersnye i kolloidnye sistemy othodov i ih koaguljaci-onnye svojstva // *Jekologicheskij Vestnik Severnogo Kavkaza*. 2013. T. 9. № 1. S. 13–38.
13. Voloshina G.V., Gukalov V.N. Mikrobnye soobshhestva chernozema obyknovenogo (na primere agrolandshafta OAO «Zavety Il'icha» Leningradskogo rajona) // *Jekologicheskij Vestnik Severnogo Kavkaza*. 2009. T. 5. № 2. S. 21–25.
14. Donec M.Ju., Beljuchenko I.S. Harakteristika mikrocenozov pochv agrolandshaftnykh sistem severnykh rajonov Kubani // *Jekologicheskie problemy Kubani*. 2000. № 8. S. 67–77.
15. Kirilenko T.S. *Atlas rodov pochvennykh gribov*. Kiev: Naukova dumka, 1977. 128 s.
16. Kurakov A.V., Beljuchenko I.S. Mikrobiota fillosfery zlakov tropicheskogo proishozhdenija na juge Tadzhikestana // *Izvestija AN Tadzhikskoj SSR, otdelenie biologicheskikh nauk*. 1990. № 2. S. 63–67.
17. Kurakov A.V., Beljuchenko I.S. Mikroskopicheskie griby pastbishhnykh i hlopkovykh agrocenozov Juzhnogo Tadzhikestana // *Bjulleten' MOIP, otdelenie biologicheskikh nauk*, 1990. T. 95. Vyp. 2. S. 113–131
18. Kurakov A.V., Beljuchenko I.S. Mikroskopicheskie griby pochvy, rizosfery i rizoplany hlopkatnika i tropicheskikh zlakov, introducirovannykh na juge Tadzhikestana // *Mikrobiologija*. 1994. Vyp. 6. S. 1101–1109.

19. Murav'ev E.I., Beljuchenko I.S., Gukalov V.N. i dr. Vlijanie fosfogipsa na razvitie i produktivnost' rastenij kukuruzy v sevooborote // Jekologicheskij Vestnik Severnogo Kavkaza. 2008. T. 4. № 4. S. 107–111.

20. Murav'ev E.I., Beljuchenko I.S. Kolloidnyj sostav i koaguljacionnye svojstva dispersnyh sistem pochvy i nekotoryh othodov promyshlennosti i zhivotnovodstva // Trudy Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2008. № 11. S. 177–182.

21. Murav'ev E.I., Beljuchenko I.S. Vlijanie othodov himicheskogo proizvodstva na zagjaznenie okružhajushhijh landshaftov // Jekologicheskij Vestnik Severnogo Kavkaza. 2007. T. 3. № 4. S. 77–86.

22. Murav'ev E.I., Beljuchenko I.S., Gukalov V.N., Mel'nik O.A. Vlijanie fosfo-gipsa na razvitie rastenij saharnoj svekly v stepnoj zone Krasnodarskogo kraja // Jekologicheskij Vestnik Severnogo Kavkaza. 2008. T. 4. № 4. S. 112–114.

23. Nazar'ko M.D., Beljuchenko I.S. Mikrobocenozy pochv razlichnyh landshaftov kraja // Jekologicheskie problemy Kubani. 2000. № 6. S. 39–73.

24. Belyuchenko I.S. Wastes of different production and their properties'in // Ciencia e Technica Vitivinicola. – Printed in Portugal. 2014. Vol. 29. № 9. R. 37–50.

25. Belyuchenko I.S. Complex compost and its impact on agrochemical properties of typical chernozem in Krasnodar territory // Bothalia Journal. – Pretoria, South Africa. 2014. Vol. 44. № 12. R. 14–19.

26. Belyuchenko I.S., Gorchakova A.Yu., Slavgorodskaya D.A. Solloidalidad of household and industrial waste and their role in the formation of complex compost // Ciencia e Technica Vitivinicola. – Printed in Portugal. 2014. Vol. 29. № 12. R. 110–121.

27. Belyuchenko I.S. Complex compost and soil protection from heavy metals in the agrolandscape system // Bothalia journal. 2014. Vol. 44. № 12. R. 69–79.

28. Kurakov AV., Than H.T.H., Belyuchenko I.S. Microscopic fungi of soil, rhizosphere, and rhizoplane of cotton and tropical cereals introduced in southern Tajikistan / Mikrobiologija, 1994. T. 63. № 6. S. 1101.

29. Pitt J. The genus *Penicillium* and its teleomorphis states *Eupenicillium* and *Talaromyces* – London: Acad. Press. 1979. 633 p.