

УДК 631.879.42

UDC 631.879.42

**РОЛЬ ЖИВЫХ ОРГАНИЗМОВ В РАЗВИТИИ СЛОЖНОГО КОМПоста****IMPORTANCE OF MICROORGANISMS IN THE FORMATION OF COMPOUND COMPOST**

Белюченко Иван Степанович  
д.б.н., профессор  
ФГБОУ «Кубанский государственный аграрный университет», Краснодар,  
Россия

Belyuchenko Ivan Stepanovich  
Dr.Sci.Biol., professor  
Kuban State Agrarian University, Krasnodar, Russia

Формирование сложного компоста идет за счет комплексирования соединений минеральных и органических коллоидов, создания новых круговоротов биогенов, усиления ферментативной активности органического вещества, дыхания живых организмов, возникновения газообразных соединений, особенно азотных, расширения экологических ниш. Численность микробных сообществ оценивает уровень трансформации органического вещества, активность системы жизнеобеспечения живых организмов. Внесение в почву сложного компоста расширяет возможности экологических ниш

Formation of the compound compost is due to compounds of mineral and organic colloids, creating new cycles biogens, enhancing the enzymatic activity of organic matter, respiration of living organisms, the occurrence of gaseous compounds, especially nitrogen, expanding ecological niches. Number of microbial communities evaluates the level transformation of organic matter, the activity life-support systems of living organisms. Introduction of complex compost to the soil enhances of possibilities of ecological niches

Ключевые слова: СЛОЖНЫЙ КОМПост, СООБЩЕСТВА МИКРООРГАНИЗМОВ, КРУГОВОРОТЫ БИОГЕНОВ, ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ НИШИ

Keywords: COMPOUND COMPOST, MICROBIAL COMMUNITIES, CYCLE OF BIOGENIC, ECOLOGICAL NICHES

**Введение.** В сложных (поликомпонентных) компостах всегда формируются сообщества микроорганизмов с самыми разными трофическими функциями. При компоновке различных отходов не все виды микроорганизмов способны обеспечивать изначально систему устойчивости и равновесия в смеси и потому их сообщества на начальном этапе разрознены и не взаимосвязаны в единую систему [1]. Однако к концу третьей-четвертой недели взаимодействие живых организмов ведет к их объединению в функциональные системы по использованию в основном органического вещества в качестве энергетического ресурса и его трансформации в гумус (глинисто-гумусовый комплекс) и другие соединения: органические кислоты, аминокислоты, ферменты, ауксины, а также в простые органические вещества: CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O и т.д. Правильное объединение различных отходов при формировании сложного компоста (например, щелочная среда свиного навоза и кислая среда фосфогипса) благодаря микробиоценозам ускоряет и усиливает развитие органо-минерального комплекса на основе физических и химических реакций органических и минеральных составляющих: навоза (подстилочного и жидкого), куриного помета, осадков сточных вод, фекалий, галита, фосфогипса и других компонентов [2, 31].

Сущность формирования сложных компостов заключается в развитии микробиологических процессов по разложению органических веществ, комплексированию соединений минеральных и органических коллоидов, созданию агрегатов размером до 2,0 мм, формированию новых круговоротов биогенов, усилению дыхания и образованию субстрата за 1,0-1,5 месяца в теплый период года. Эти процессы осуществляются живыми организмами, главным образом одноклеточными – протистами. Сюда относятся прокариоты (группа низших протистов): бактерии, включая цианобактерии (сине-зеленые водоросли), заметно отличающиеся по строению клеток от других организмов,

а также высшие протисты, по строению сходные с растительными и животными клетками и включающие водоросли, грибы, простейшие и ряд других форм.

В сложном компосте параллельно ускоряются и другие химические реакции, минерализующие отмершие организмы животных и растений, превращая их в неорганические соединения, в составе которых видное место занимают такие элементы, как азот, сера, углерод, фосфор и некоторые другие. Важное место в динамике азота в сложном компосте занимает аммиак, образующийся при гниении органических веществ и их разложении под влиянием уреазоактивных анаэробных бактерий, активность которых усиливается при повышении температуры.

В сложном компосте видное место занимает и аммоний, образующийся при разложении белков и аминокислот и под влиянием бактерий *Nitrosomonas* и *Nitrobacter* окисляется до нитратов и нитритов; значительная часть азотных соединений при отсутствии кислорода в результате денитрификации теряется в атмосфере. В массе сложного компоста относительно свободно функционируют свободноживущие бактерии, выполняющие важную роль в круговороте азота.

При включении фосфогипса в сложный компост в сочетании с навозом свиней и КРС, куриным пометом, осадками сточных вод и другими органическими отходами регистрируется протекание реакции  $\text{CaSO}_4 + \text{CO}_2 + \text{NH}_3 (\text{навоз}) \rightarrow \text{CaCO}_3 + (\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ . При создании благоприятных условий указанная химическая реакция протекает достаточно интенсивно и количество доступного растениям азота увеличивается [11, 31, 32, 33]. Кроме того, частичное обновление свежим растительным материалом снижает денитрификацию и замедляет процесс разрушения органического вещества сложного компоста и газообразные потери азота.

Для поддержания активности сложного компоста микроорганизмы осуществляют наиважнейшую работу по поддержанию круговорота углерода – от начала формирования до наступления его «созревания». Минерализуя органический углерод, представленный в компосте в виде различных остатков органических соединений, микроорганизмы нарушают его равновесие. Почвенные живые организмы своей работой – постоянной минерализацией органического вещества – возвращают в атмосферу углерод в основном в форме  $\text{CO}_2$ . Объективно работа, выполняемая фотосинтезирующими растениями, примерно равна работе выполняемой бактериями и грибами, определяющими кооперацию в круговороте углерода (растения синтезируют, а бактерии и грибы минерализуют органические вещества отмерших растений и животных). Формирование органических и минеральных коллоидов в ППК почвы с внесением в неё сложного компоста существенно сокращает их вымывание в грунтовые воды [17].

При формировании сложного компоста относительно мало минерального углерода (около 1%) уходит в атмосферу в форме метана и образуется в недоступных для кислорода воздуха местах, в основном в нижней его части, когда перемешивания отходов не практикуется. При образовании метана в случае отсутствия кислорода принимают участие клостридии (*Clostridium pasteurianum*). Основная роль в органической пище у живых организмов принадлежит сахарам, которые в форме полимеров преобладают в процессах минерализации в природе (до 60-70%); в форме мономеров являются предпочтительными для питания основной части микроорганизмов.

Содержание серы содержится (до 1%) в сухом веществе организмов приходится на серосодержащие аминокислоты – гомоцистеин, метионин и цистеин. Основная часть сероводорода в природе образуются при диссимиляционном восстановлении сульфатов в результате активности сульфатредуцирующих бактерий и при отсутствии молекулярного кислорода в нижних частях объемов сложных компостов до серы и сульфата фототрофными анаэробными бактериями. При наличии  $\text{O}_2$  сероводород окисляется серобактериями до сульфата. Для синтеза серосодержащих аминокислот растения и не-

которые микроорганизмы получают серу путем ассимиляционной сульфатредукции, а животные получают с пищей восстановленные соединения серы.

Соединения фосфора в сложном компосте представлены свободными ионами ортофосфорной кислоты  $H_3PO_4$  в достаточно низкой концентрации с образованием малорастворимых соединений, поскольку основная часть их находится в комплексах с тяжелыми металлами. Фосфаты необходимо в сложном компосте перевести в растворимую форму. Концентрация полуторных окислов, особенно железа, алюминия и других, относительно низкая в почве и особенно в водоемах, и фосфаты остаются в свободной форме, провоцируя эвтрофикацию речных систем и массовое размножение прежде всего азотфиксирующих цианобактерий. В почве образуются нерастворимые соли фосфатов и чаще всего растворимые фосфаты, наиболее доступные растениям.

**Сообщества живых организмов и сложный компост.** Ферментативная активность сложного компоста, разложение в нем органического вещества и усиление дыхания живых организмов приводят к образованию газообразных веществ, особенно азотных (аммиака и других соединений), которые легко инфильтруются в грунтовые воды, а в форме молекулярного азота переходят в атмосферу. В связи с этим численность сообществ живых организмов (бактерии, грибы, актиномицеты, одноклеточные водоросли и др.) в сложных компостах, с одной стороны, указывает на их буферность и реально оценивает уровень трансформации органического вещества, а с другой – на интенсивность комплексования органических и минеральных соединений, формирование активной системы жизнеобеспечения живых организмов, а также объединение всей совокупности физических, химических и биологических особенностей сложного компоста с включением отходов отдельных производств в единую систему высокого плодородия верхнего слоя почвы [13, 14, 16, 19].

Развитие сложного компоста достигает максимума при достижении способности сохранять экологическое неравновесие или близкое к нему состояние в процессе минимального варьирования внешних условий, что достигается нарастанием в целом высокой биологической активности. Реальная активность сложного компоста в процессе его развития оценивается степенью возможности улучшения почвы при его внесении в её верхний слой [21]. Условия развития сложного компоста в каждом сезоне года различны, и поэтому наиболее благоприятный вариант активности трудно определить без оценки его биологической активности, которую логично определять по содержанию и составу в нем органического вещества, кислотному показателю и многообразию видового и популяционного состава микробиоценозов [20].

Общее содержание микробных клеток, по которому можно оценить их биомассу, представляет собой значительное отклонение от минимума, свойственного конкретному сложному компосту (например, минимум, который он способен энергетически обеспечить в самый неблагоприятный период). Мощность сложного компоста не определяется колебаниями температуры, влажности и варьированием органического вещества, а связана с его составом и свойственными ему физическими и химическими характеристиками, которые складываются в процессе его формирования и определяют серьезные изменения за весьма короткий срок в летний период (с апреля до ноября) за счет самых различных реакций в зависимости от загрязнений, сопутствующих технологическим процессам т.д. [17, 18]

Благоприятное развитие биомассы микробных клеток обусловлено трудными для учета факторами среды (выпадением дождей, отсутствием засухи, количеством органического вещества, реальным варьированием температуры, количеством солнечного света и т.д.). Минимальный пул клеток складывается при минимально установленном числе их показателей. В зерновой зоне края для контроля за созреванием сложного

компоста можно использовать время отбора проб и их анализа за семи – десятидневный срок при ежегодных оценках развития сообщества живых организмов. Повышение биологической активности сложных компостов происходит благодаря активному развитию бактерий, грибов, актиномицетов, одноклеточных водорослей и других представителей живых организмов.

По мере формирования и созревания сложного компоста стабилизируется разложение органического вещества при снижении интенсивности процессов нитрификации и денитрификации. Система сложного компоста в силу координирования складывающихся в нем различных процессов достигает высокого взаимодействия различных её составляющих, включая и развитие сообщества живых организмов, активизация которых связана со снижением потерь различных веществ и в первую очередь органических. В сложном компосте живые организмы приурочены в основном к макроорганизмам (в основном к живым), представляющим для них основной источник энергии, и лишь некоторые виды способны использовать в качестве энергетического материала минеральные субстраты [25, 26, 27].

Развитие сложных компостов и их физиологическая и химическая активность определяются микробиологическими механизмами регуляции. В органических отходах, особенно в осадках сточных вод, полуперепревшем навозе, в отходах переработки овощей, фруктов, сахарной свеклы и другой продукции растениеводства, формируется группа микроорганизмов, которые в запасе не имеют всех необходимых им элементов питания, и это сдерживает и весьма существенно развитие их популяций. Среди лимитирующих факторов в развитии живых организмов (бактерий, грибов, актиномицетов, одноклеточных водорослей и др.) в сложном компосте проявляется нехватка органического вещества и особенно разнообразия их биологического состава (углеводов, белков, ферментов и т.д.), а в минеральной структуре – калия, серы, фосфора, марганца. Для развития микроорганизмов в сложном компосте не хватает влаги в летний период, тепла – зимой, а также питательных веществ – во всех случаях нехватки каких-либо соединений, органических или минеральных [3, 5, 6].

В период «созревания» сложного компоста его развитие поддерживается нарастанием числа видов живых организмов и численности их популяций, нарабатывающих энергетическую массу. В полевых условиях масса живых организмов в сложном компосте колеблется в весьма широких пределах. Например, в 1 г сложного компоста на основе свиного навоза содержится от 200 до 1000 млн бактериальных клеток; кроме того, насчитывается значительное обилие грибных гифов, клеток актиномицетов, а также одноклеточных водорослей, организмов микро- и мезофауны. На 1 м<sup>3</sup> сложного компоста приходится до 40-60 кг массы живых организмов [27, 28].

**Мезофауна и развитие сложного компоста.** Важным фактором почвообразования является активность почвенных животных. В посевах кукурузы через полгода после внесения сложного компоста отмечено увеличение популяций дождевых червей с 37.5 до 300 особей/м<sup>3</sup> в июле 2008 г. Дождевые черви нередко выступают доминантами на изучаемой территории и выполняют весьма важную работу при выполнении второго этапа трансформации отчужденной массы по перемешиванию и разрушению органического вещества на пути его трансформации в гумус. Отмечается увеличение в почве энхитреидов после внесения сложного компоста на сахарной свекле, после озимой пшеницы увеличились популяции кивсяков и т.д.[54].

Объективно почвообразование немислимо без живых организмов, особенно мезофауны, которая выполняет очень большую работу по измельчению органической массы и постепенному её трансформированию в гумус, представляющей органоминеральный комплекс коллоидного типа. В случае сокращения численности живых организмов, в основном мезофауны (дождевые черви, энхитреиды), почва постепенно

омертвляется, теряется органическое вещество, падает урожайность растений, снижается его качество, снижается численность микроорганизмов, идет накопление токсинов, вредителей, болезней, усиливаются эрозионные процессы, чему способствует непродуманное использование химических веществ (удобрений, пестицидов). Почвенная мезофауна – очень важный фактор почвообразования и влияет на все свойства почвенного плодородия: структуру почвы, её плотность, существенно улучшая физические, химические и биологические свойства. Особый интерес в этом плане представляют кивсяки, дождевые черви, энхитреиды и другие беспозвоночные организмы (табл. 1).

Таблица 1. Содержание некоторых представителей мезофауны (шт./м<sup>2</sup>) в летний период ( полевой опыт 2008-2012 гг.)

Мезофауна	2008 Озимая пшеница		2009 Озимая пшеница		2010 Кукуруза на зерно		2011 Озимая пшеница		2012 Подсолнечник	
	контроль (NP)	NP + сложный компост	контроль (NP)	сложный компост	контроль (NP)	сложный компост	контроль (NP)	сложный компост	контроль (NP)	сложный компост
Кивсяки	8	15	12	35	10	27	7	23	17	27
Энхитреиды	123	197	34	84	31	95	54	84	36	74
Дождевые черви	24	30	16	49	10	31	22	56	24	57

В первый год после внесения сложного компоста обозначились личиночные стадии жуличиц, шелкоунов и других видов. Начиная со второго года (2009 г.) в почве под озимой пшеницей заметно увеличилось количество популяций кивсяков и дождевых червей; энхитреиды заметно сократили свою численность. Популяции всех представителей мезофауны сократились в посевах озимой пшеницы после выращивания кукурузы на зерно. Еще сильнее сократились популяции изучаемой мезофауны при посеве подсолнечника после озимой пшеницы.

Численный состав дождевых червей и энхитреидов в течение годичной вегетации – ноябрь 2008 г. – апрель 2009 г. – июль 2009 г. – заметно варьирует. Так, при внесении сложного компоста в ноябре 2008 г. популяции дождевых червей составили 30 и энхитреидов 97 особей на 1 м<sup>2</sup>, а на контроле их количество варьировало в пределах 24 (дождевые черви) и 23 (энхитреиды) особей. В конце марта и до июня у обоих видов численность популяций сократилось, что, очевидно, явилось результатом пестицидных обработок. В посевах на сахарной свекле внесение сложного компоста способствовало нарастанию популяций дождевых червей на посевах озимой пшеницы, высеянной по сахарной свёкле.

В полевых опытах в ОАО «Заветы Ильича» Ленинградского района Краснодарского края было установлено, что численность представителей почвенной мезофауны, особенно кивсяков, дождевых червей и энхитреидов, даже на пятом году выращивания кукурузы на зерно превышала на 75-250% контрольный вариант [12].

В 2011 г. изучали влияние органического вещества (полуперепревший навоз КРС) и сложного компоста, внесенных осенью 2010 г., по сравнению с минеральными удобрениями (табл. 2.). Внесение сложного компоста благоприятно сказалось на урожайности зерна кукурузы (до 95 ц/га) в сравнении с контролем (70 ц/га).

Таблица 2. Численность почвенной мезофауны (шт/м<sup>2</sup>) в посевах кукурузы (2011 г.) в период её уборки на зерно

Вариант	Кивсяки	Дождевые черви	Энхитреиды	Урожайность, ц/га
NP (контроль)	7	8	14	70
NP + полуперепревший навоз КРС	10	16	40	78
NP + сложный компост	28	45	73	95

Изучение в различных вариантах опыта количества нор мышевидных грызунов в посевах озимой пшеницы по кукурузе и сахарной свёкле показало, что сложный компост в осенний период роста злака снизил их количество до 12-19 шт., а на фоне минеральных удобрений доходит до 80 шт./га; в весенний период число нор с внесением сложного компоста составило 5-10 на 1 га, а на контроле превысило 80. Вполне допустимо, что подкисление серой молодых растений вызывает неприятие этого корма мышами. Большой интерес представляет аналогичное действие сложного компоста на сокращение числа семей мышевидных грызунов и на второй год посева озимой пшеницы.

Живые организмы в «созревающих» сложных компостах в основном гетеротрофы, и значительная часть получаемой ими энергии при минерализации органического вещества расходуется на поддержание их биомассы (табл. 3). Осуществляя в сложном компосте процессы трансформации органических веществ, особенно свежего материала, живые организмы используют на свой рост и размножение до трети и больше энергетического материала [17, 22, 23].

Таблица 3. Численность популяций основных групп мезофауны в почве перед внесением полуперепревшего навоза и сложного компоста

Вариант опыта	Мезофауна, шт/10 г образца		
	Кивсяки	Энхитреиды	Дождевые черви
Почва + NP (контроль)	2	3	2
Полуперепревший навоз	3	5	4
Сложный компост	5	9	6

**Особенности развития сложного компоста.** Формирование сложного компоста идет в любой период года, но особенно активно этот процесс проходит в летний сезон, когда для его развития необходимо периодически пополняли биоты потребность в свежем растительном материале. С этой целью при перемешивании сложного компоста в очередной срок (примерно через месяц) в массу сырья сложного компоста добавляется относительно свежая растительная масса, обогащенная белками, ферментами, витаминами и другими активными веществами, включая свежие отходы зеленой кукурузы, зеленой массы трав, смёт использованных кормов, очистки зерна и других отходов, пригодных для использования в этот период из расчета 3-5 т/га. При нехватке относительно свежих кормов живые организмы используют органическую массу сложного компоста и значительная часть микроорганизмов переходит в покой из-за нехватки свежего корма. В первый год подготовки сложного компоста следует иметь в виду вероятность такой ситуации. В последующие годы такой необходимости нет, поскольку объединение сложного компоста и верхнего слоя почвы поддерживает необходимый уровень различных веществ и его стабильность для энергетического обеспечения жизнедеятельности живых организмов.

Анализируя структуру сложного компоста, следует обратить внимание на то, что его живые организмы обладают определенным запасом органического вещества, которое на первых порах развития смеси расходуется в достаточной степени живыми организмами и достигает определенного уровня минерализации. Верхний слой почвы обычно отличается рассеянным распределением органического вещества и широким варьированием численности видов и популяций различных организмов. При запоздании с внесением в почву сложного компоста из растительного материала органическое вещество в нем расходуется, а микроорганизмы усваивают рассеянные вещества и используют минеральные ресурсы, а затем в силу обстоятельств переходят в состояние покоя.

Весьма важно определить активность микробного пула, который для почвы считается определяющим показателем её гомеостатичности, что выражается в поддержании определенного постоянства видового состава и численности их популяций. Является ли это свойство постоянным для сложного компоста, требует изучения. Для каждого типа отхода (дефеката, свиного навоза, птичьего помета и т.д.) характерно свойственное ему содержание растворимых органических (белки, сахара, аминокислоты, витамины, ферменты и др.) и неорганических соединений (аммиака, аммония, нитратов, подвижного фосфора и других), а также уровень рН и расхождение этих показателей по географическим зонам.

При добавлении в сложный компост растительных отходов (солома, стебли кукурузы, шляпки подсолнечника или отходы сахарной свеклы и др.) в их систему включаются микроорганизмы, которые при благоприятных условиях (влаги, температура, питательные вещества) доводят постепенно состояние всего субстрата до равновесного уровня [15]. Передвижение живых организмов в разных направлениях от места концентрации существенно затрудняется адсорбцией их различными почвенными частицами, особенно органическими веществами и глиной. Кроме того, мелкие поры между частицами почвы также вызывают затруднения в их передвижении. В отдельных местах возникают условия либо аэробные, либо анаэробные с резко меняющимися температурами, увлажнением, значениями рН и т.д. [24, 34, 35]. Сообщества живых организмов при разных условиях формирования сложного компоста должны иметь широкий спектр популяций, осуществляющих аммонификацию, нитрификацию, азотфиксацию, а также трансформировать органические и минеральные вещества, разлагать целлюлозу и другие труднодоступные соединения [29, 30].

*Передвижение различных живых организмов в сложном компосте.* Живые организмы в сложных компостах свободно мигрируют по определенным направлениям. Например, при наличии легкоразлагающихся органических веществ в сложном компосте отличаются быстрым нарастанием своих популяций и их значительным экологическим разнообразием. Сформированный сложный компост выделяется огромным разнообразием многих видов организмов, включая в первую очередь бактерии и грибы, способные продуцировать различные активизирующие разложение соединения: аминокислоты, витамины, ферменты и другие вещества [36, 43].

Сложные компосты при их подготовке в буртах в определенной степени дублируют процессы развития микроорганизмов верхнего слоя почвы и нередко являются благоприятной средой для расширения в нем экологических ниш и разнообразия популяций живых организмов. В процессе компостирования в условиях достаточной обеспеченности пищей количество клеток (популяций) живых организмов в сложном компосте достигает значительной величины, но их видовой набор обычно снижается; при развитии в менее благоприятных условиях численность клеток микроорганизмов уменьшается, но их видовой состав весьма значителен, и при изменении условий они заметно активизируют процессы минерализации органического вещества [38].

С началом формирования сложного компоста в нем преобладают доступные органические вещества, трансформация которых протекает быстро, а с завершением этого процесса значительная часть живых организмов переходит в покоящееся состояние в виде спор бактерий, грибов, актиномицетов, и одноклеточных водорослей. Образование комплекса органических и минеральных отходов, составляющих основу сложного компоста, сдерживается развитием микроорганизмов, поскольку в отходы обычно не поступает свежих растительных материалов. На различных стадиях преобразования отходов в них формируется относительно много органических соединений, включая сахара, органические кислоты и другие питательные соединения, которые поддерживают жизнедеятельность живых организмов в течение всего периода развития сложного компоста, особенно в случае отсутствия свежего растительного материала [39, 46].

В сложном компосте обычно образуется определенный запас энергетических ресурсов для обеспечения живых организмов, включая различные органические вещества. При благоприятных условиях развития сложные компосты перерабатывают за весьма короткое летнее время столько органических веществ, сколько при естественных условиях их не поступает в почву за год. Весьма 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).

Высокая активность органических и минеральных коллоидов в составе сложного компоста характерна при их смешивании в условиях хорошего увлажнения (60-75%) и высокой температуры (27-32°C); при низких показателях указанных факторов ферментативная активность сложного компоста резко снижается. Кроме того, разобченность субстрата и органических веществ сложного компоста не менее важна при развитии процессов, если они содержат минеральные соединения кремния, алюминия, железа, свинца и ряда других элементов. Поэтому обязательным условием формирования сложного компоста еще в самом начале его образования является тщательное перемешивание всех составных частей с целью равномерного распределения органических и минеральных соединений, а также формирования его поглощающего комплекса при достаточном обеспечении водой – от 40 до 55% [39, 40].

*Влияние условий среды на развитие сложного компоста.* Микробиологический анализ почв, отобранных с изучаемых полей под различными сельскохозяйственными культурами, выявил, что доминирующее положение при внесении подготовленного сложного компоста занимает прокариотный комплекс, который значительно превышает численность микроскопических грибов [42]. Общая численность бактерий в почвах при выращивании сельхозкультур варьирует в широких пределах (от 4 до 73 млн клеток), среди бактерий наблюдается доминирование аммонифицирующих микроорганизмов (табл. 4).

Таблица 4. Изменение численности эколого-трофических групп микроорганизмов в год внесения в почву сложного компоста

Вариант опыта	Микроорганизмы				Микромицеты, *10 <sup>-3</sup> КОЕ/г	Уровень рН
	Аммонифицирующие, *10 <sup>6</sup> КОЕ/г	Амилотические, *10 <sup>-6</sup> КОЕ/г	Олиготрофные, *10 <sup>-5</sup> КОЕ/г	Нитрифицирующие, титр		
Сложный компост	73	48	69	<b>10<sup>-4</sup></b>	6	6,8-7,1
Полуперепрев-	58	31	53	<b>10<sup>-5</sup></b>	4	7,9-8,4



ший навоз КРС						
Почва	49	28	45	$10^{-5}$	4	8,4-8,8

Результаты полевых исследований показали, что при внесении сложного компоста в первый год на полях с сельскохозяйственными культурами наблюдается увеличение численности микробного сообщества. Живые организмы чутко реагируют на изменения условий среды: так, снижение рН до 6,8-7,1 и улучшение аэрации способствует активизации развития бактерий и грибов и приводит к увеличению их численности. Установлено, что фосфогипс в количестве 7 т/га, включаемый в состав сложного компоста, снижает количество и титр нитрифицирующих микроорганизмов, которые выделяются высокой численностью в почвах под пшеницей [41].

**Микробные сообщества и развитие сложного компоста.** Основную роль в развитии сложного компоста играет прокариотный комплекс, численность которого существенно превышает другие группы микробных сообществ (табл. 5).

Таблица 5. Численность микроорганизмов эколого-трофических групп

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	90	45	75	$10^{-6}$	6
Почва + NP + фосфогипс	185	75	80	$10^{-5}$	6
Сложный компост	275	120	84	$10^{-4}$	8

Преобладают аммонифицирующие и амилолитические группы организмов – число клеток доходит до 275 млн. Большую роль в круговороте органических и минеральных веществ играют микробы-редуценты. На олиготрофные микроорганизмы приходится до 50% общей численности микробного сообщества; из них были наиболее представлены *Penicillium* (до 40%), *Trichoderma* (до 20%), *Aspergillus* (до 10%) и *Fusarium* (до 10%). Высокий уровень летнего развития почвенных сообществ микроорганизмов объясняется тем, что эта группа способна хорошо развиваться при относительно низкой влажности и высокой температуре. Осенью их численность понижается, что, скорее всего, вызвано повышением влажности в почвах и снижением температуры; зимой, очевидно, это связано с низкой температурой почвы.

Увеличение численности актиномицетов, прежде всего у представителей рода *Streptomyces*, свойственно также актиномицетам в полях, куда внесли сложный компост; особенно активно актиномицеты увеличивают свои популяции в летний период.

Важной таксономической группой микроорганизмов в сложном компосте являются актиномицеты, которым принадлежит значительная роль в круговороте минеральных элементов, осуществляющим в трофической цепи функции микробов-редуцентов (табл. 5). Было установлено, что на голодном агаре численность и видовое разнообразие актиномицетов, выделенных из крахмально-аммиачного агара, были значительно выше контроля. В исследуемых образцах широкое распространение имели представители таких родов, как *Streptomyces*, *Nocardia*, *Nocardiosis*, *Micromonospora*, относительно редко встречались представители рода *Streptosporangium* [37].

Таблица 5. Численность микроорганизмов на крахмально-аммиачном и голодном агаре

Вариант опыта	Микроорганизмы			
	Амилолитические, 10 <sup>-6</sup> КОЕ/г		Олиготрофные, 10 <sup>-4</sup> КОЕ/г	
	общее количество	из них актиномицетов	общее количество	из них актиномицетов
Сложный компост	71	4	75	45
Полуперепревший навоз КРС	38	3	41	38
Почва	34	3	35	31

При изучении таксономического разнообразия живых организмов в вариантах с использованием сложного компоста в посевах пшеницы было установлено наличие представителей таких родов, как *Streptomyces*, *Micromonospora*, *Nocardia* и др. Наиболее многочисленным в исследуемых сложных компостах оказался род *Streptomyces*, входящий в состав микробного комплекса, осуществляющего процесс разложения сложных органических веществ и характеризующегося достаточно широким видовым спектром. Анализ полученных данных показал, что наиболее часто встречались актиномицеты, относящиеся к секции *Cinereus*, реже выделялись серии *Chromogenes*, *Violaceus*, *Aurens* [26, 35].

Необходимо отметить еще одну весьма важную группу живых организмов – это плесневые и дрожжевые грибы, занимающие по численности и биомассе значительное место среди других организмов. Наибольшая встречаемость этих грибов отмечается в вариантах, где много органического вещества на стадии минерализации, поскольку именно эта группа организмов участвует в минерализации органических остатков благодаря наличию в их выделениях разнообразных гидролитических ферментов. Грибы весьма активно участвуют в превращениях многих соединений азота и способствуют улучшению структуры субстрата через агрегацию его частиц [4].

Наиболее широко в разных вариантах распространены представители следующих родов: *Penicillium*, *Trichoderma*, *Aspergillus*, *Fusarium*, *Rhizopus*, *Cladosporium*, *Alternaria*. Среди дрожжевых грибов наиболее часто встречаются представители родов *Lypomyces* и *Candida*. Обычно они отмечены в бактериально-дрожжевом комплексе азотфиксирующих микроорганизмов. При внесении в почву сложного компоста также наблюдается увеличение численности микроскопических грибов. В вариантах сельскохозяйственных культур наиболее часто встречаются микромицеты таких родов, как *Peniculium* и *Aspergillus*. Следует отметить, что на полях озимой пшеницы в варианте со сложным компостом грибы рода *Fusarium* практически не встречаются [13, 14, 17].

**Многообразие сложного компоста.** Живые организмы в сложном компосте осуществляют весьма сложные биохимические процессы распада труднорастворимых

органических веществ (кочерыжки кукурузы, её корни, стебли, однолетние побеги кустарников и т.д.) за счет взаимодействия различных по экологической природе группировок: молочнокислые, фотосинтезирующие и азотфиксирующие, а также ферментирующие бактерии, грибы, дрожжи, почвенные актиномицеты, одноклеточные водоросли. Большинство указанных групп в меньшем или большем соотношении встречаются практически во всех органических отходах; их мало в простых растительных остатках (например, солома ячменя), но много концентрируется во всех видах навоза, осадках сточных вод и в других многокомпонентных составляющих. Азотфиксация ведется разнообразными прокариотными микроорганизмами: автотрофными и гетеротрофными бактериями, различными фотосинтезирующими бактериями, клубеньковыми бактериями, азотобактером, клостридием и т.д. [17, 22].

В сложном компосте микроорганизмы по своей функциональной роли можно разделить на азотфиксаторы, нитрификаторы, денитрификаторы, аммонификаторы, целлюлозолитические, пектинолитические и другие трофические группы. Нитрификация органических соединений осуществляется весьма существенной группой хемолитотрофных бактерий, а гетеротрофная нитрификация выполняется рядом гетеротрофных бактерий и грибов. Гидролиз труднорастворимых фосфатов фосфогипса и других соединений в сложном компосте выполняется разными группами микроорганизмов, которые осуществляют также окисление и восстановление железа и марганца [16, 26].

Различные группы микроорганизмов выполняют очень важные процессы в сложном компосте. Так, к группе основных азотфиксаторов относится *Azotobacter*, а среди денитрификаторов выделяется *Ps. denitrificans* и ряд других видов. Аналогичные процессы свойственны и другим микроорганизмам с учетом условий среды их обитания. При отсутствии связанного азота микроорганизмы осуществляют азотфиксацию из органического вещества, в котором при недостатке кислорода и наличии связанного азота усиливается денитрификация [29].

Многие физиологические реакции бактерий отличаются высокой активностью. Для своего роста бактерии используют белки, выступают в роли аммонификаторов; в других случаях они могут выступать в качестве нитрификаторов и денитрификаторов, что указывает на полифункциональность многих экологических групп микроорганизмов. Определенное сходство в этом плане свойственно и грибам, и актиномицетам.

Многие процессы разложения органических веществ микроорганизмами в сложном компосте дублируются, что ускоряет минерализацию органических соединений. При усилении кислотной основы сложного компоста ускоряется процесс разложения пестицидов, фенолов и других загрязнителей, оказывающих влияние на характер равновесности смеси. Дублирование основных процессов разложения (нитрификация и денитрификация), образование ряда других веществ (ферментов, витаминов и т.д.) в сложном компосте осуществляется различными экологическими группами микроорганизмов, способными занимать сходные экологические ниши, различающиеся в пространстве и времени, в аэробных и анаэробных условиях, при высокой и низкой температурах [30].

Разложение органических веществ различными группами живых организмов связано с образованием в сложном компосте  $\text{CO}_2$  в результате прохождения в нем автотрофного и гетеротрофного процессов: микроорганизмы разрушают одни и формируют другие органические вещества (например, типа белков, сахаров и других соединений при разложении целлюлозы, пектинов и др.). В случае развития процессов азотфиксации или денитрификации в сложном компосте происходит окисление и восстановление соединений азота, и параллельно с ними окисляются и восстанавливаются отдельные химические элементы с переменной валентностью – марганец, железо, сера и т.д. Разные процессы в сложном компосте совершаются как специальными группами живых

организмов, так и случайными, что составляет основу важного свойства этих экологических групп выполнять роль стабилизирующего фактора в течение весьма короткого промежутка времени: при формировании новых условий развития (за 4-6 месяцев) образуются новые экологические ниши, возникают новые соединения органического и органоминерального комплексов [35, 36].

В начале образования сложного компоста могут формироваться участки с различным содержанием отдельных элементов (фосфора, кальция, серы и др.), включая и органические соединения. Использование в сложном компосте отходов типа осадков сточных вод, куриного помета, свиного навоза, фосфогипса и некоторых других будет расширять его экологические ниши и способствовать увеличению как численности популяций отдельных организмов, так и их видового разнообразия [7, 8, 9, 10].

Формирование сложных компостов в зависимости от природно-хозяйственных условий способствует развитию различных сообществ живых организмов. Естественно, что во всех отходах встречаются весьма активные живые организмы, осуществляющие фиксацию азота, такие как клубеньковые бактерии, азотобактер, некоторые актиномицеты; их определение осуществляется из расчета минимум сотен тысяч клеток на 1 г образующегося сложного компоста. Для выявления клеток микроорганизмов не всегда мы можем отбирать и анализировать пробы субстрата, особенно на начальных стадиях формирования сложного компоста. Оценка наличия в сложном компосте тех или иных микроорганизмов, учитывая сезонные колебания погоды, адсорбцию почвенными частицами, сукцессионные колебания их состава и обилия, весьма сложна и требует отбора значительного количества образцов, повторения анализа при проращивании их на различных средах, более тщательного исследования в разных типах субстратов [19, 20].

В сложных компостах, отличающихся определенным разбросом условий физических, химических и биологических составляющих, количество любых живых организмов, свойственных данной географической или физической территории, в расчете на 1 г субстрата будет различным. Внедрение в сложный компост органических отходов привносит в него различные виды живых организмов, поскольку далеко не все его экологические ниши заняты, и именно с этим обстоятельством связаны различия в интенсивности минерализации. Иными словами, сложный компост формирует определенную емкость органических веществ, представляющих среду обитания для конкретных групп живых организмов [21].

Таким образом, сложный компост формирует собой многовариантный гранулометрически и химически органоминеральный субстрат и поэтому в связи с этим не представляет собой равновесной среды обитания. Именно многообразие структурированности сложного компоста позволяет анализировать его как субстрат, различающийся условиями формирования сообществ живых организмов, которые найдут свои экологические ниши во множестве возможных сочетаний органических, органоминеральных и минеральных частиц. Живые организмы в сложном компосте 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.

Большое значение в круговороте отдельных элементов и веществ имеют те популяции живых организмов, которые отличаются высокой активностью. Например, при

изучении сложного компоста в его субстрате были выделены актиномицеты, чья активность связывается с распадом гумусовых веществ и частично с азотным балансом [21]. Численность актиномицетов в компосте варьирует весьма широко и зависит от соотношения отходов (табл. 6)

Таблица 6. Доля наиболее распространенных актиномицетов в сложном компосте, %

Род	Сложные компосты с участием разных отходов		
	Полуперепревший навоз КРС	Очистки семян	Свиной навоз
<i>Micromonospora</i>	11	12	9
<i>Nocardia</i>	23	26	19
<i>Nocardioides</i>	6	9	6
<i>Streptomyces</i>	52	47	58
Основные виды	92	94	92

При исследовании сложных компостов, в которых значительное место занимают отходы злаков, включая отходы от очистки их семян, численность актиномицетов по подсчетам основных родовых комплексов была средней. При значительном участии свиного навоза общая доля актиномицетов составила также 92%, но с заметным увеличением представителей рода *Streptomyces*. В сложном компосте, где органическая масса была представлена полуперепревшим навозом КРС, доля родовых комплексов актиномицетов была относительно более выровненной [16].

Исходя из полученных данных можно заключить, что нет необходимости изучать все виды актиномицетов. Объективно в сложном компосте следует изучать доминирующие виды организмов, определяющие развитие отдельных процессов. Мы часто принимаем условный критерий численности живых организмов (например, на 1 г сложного компоста приходится около 1 млн бактериальных клеток). Для грибов и актиномицетов принимаются другие экологические критерии с учетом их численности и размерности, а также особенностей их метаболизма. Обычно их численность составляет порядка 10 000 клеток на 1 г сложного компоста [20].

Весьма важные для развития микроорганизмов биологически активные вещества (аминокислоты, антибиотики, стимуляторы и ингибиторы роста, витамины, токсины и т.д.) требуют серьезных исследований. Первое место занимают газообразные вещества, которые отличаются быстрым перемещением и влиянием на газообмен. Изучение функциональной роли микроорганизмов в строении сложных компостов получило еще недостаточное развитие, хотя оно имеет важное практическое и теоретическое значение. Сдерживание минерализации органического вещества и трансформации минерального азота, а также другие проблемы в процессе развития сложного компоста возникают именно по мере превращения сложных соединений, формирующихся при объединении многих отходов в общий субстрат. Проанализировав основные процессы, прохождение которых немислимо без микроорганизмов, следует отметить в первую очередь переработку ряда отходов и их превращение в источник энергии для различных организмов и дальнейшей их трансформации [5].

Сложный компост по своему составу представляет собой трехфазную систему, способную к созданию среды обитания для различных групп организмов, в том числе

для бактерий, грибов, актиномицетов, микро- и мезофауны и других таксонов. Субстрат сложного компоста по сути аналогичен высокопродуктивной почве; отличается от неё определенными улучшенными условиями для жизни отдельных родов, видов и популяций живых организмов, образующих микроколонии, составленные различными таксонами. Развитие колоний микроорганизмов в разных типах сложных компостов имеет важное значение, поскольку активирование их развития по времени и в пространстве в силу повышенной концентрации органического вещества и широкого спектра органических соединений: аминокислоты, белки, крахмал, липиды, нуклеиновые кислоты, ферменты, антибиотики, витамины, целлюлоза, лигнин, хитин, как и направленность важных процессов (аммонификация, азотфиксация, гидролиз органофосфатов, трансформация многих органических и минеральных веществ) находятся в тесной взаимосвязи [17].

Поверхность субстрата сложного компоста отличается значительным физическим, химическим и биологическим разнообразием и потому способствует сосуществованию различных по функциям популяций живых организмов, которые в сложном компосте находят десятки разнообразных новых экологических ниш, различающихся своим химизмом, составом, содержанием питательных веществ и также реакцией среды. Многие виды живых организмов в сложном компосте находят вполне удобные экологические ниши для своего функционирования и размножения; сюда входят бактерии, грибы, одноклеточные водоросли и актиномицеты. В сложных компостах встречаются виды микроорганизмов, пребывающие в нем временно, особенно фитопатогены ризо- и филопланты, которые способны осваивать растительные остатки [14].

**Структура сложного компоста.** «Зрелый» сложный компост напоминает собой почвоподобное образование, сильно обогащенное органическим веществом (до 20% и выше) с нейтральной реакцией раствора (рН 6,8-7,2), включением значительного количества полуторных окислов, активно сцепляющих друг с другом различные минеральные и органические частицы. В создании подобного почве образования в системе сложного компоста активно участвуют живые организмы, где продукты их жизнедеятельности выполняют цементирующую роль в объединении множества мелких частиц. Например, многие виды бактерий, одноклеточных водорослей и грибов образуют слизи пептидного и углеводного состава и вместе с глинистыми частицами формируют водопрочные образования размером до 1-2 мм. Большую роль в этом выполняют микроскопические грибы и некоторые виды одноклеточных водорослей, которые заметно влияют на оструктуривание субстрата сложного компоста через выделение полисахаридов, склеивающих различные минеральные и органические частицы, укрепляя их механически своими гифами. В основном такая работа выполняется в верхнем слое субстрата от 0 до 10-15 см с перемешиванием сложного компоста каждые 20-25 дней в теплый период года, что ускоряет образование его почвоподобных структур при активном развитии грибов и одноклеточных водорослей [19, 21, 22].

Активную роль в формировании почвоподобных структур в сложном компосте выполняют мелкие одноклеточные водоросли на кислых субстратах (например, фосфогипс и др.), где они, выделяя слизистые вещества, объединяют частицы органоминеральной природы; своими нитями они связывают и уплотняют их, делая такие объединения достаточно устойчивыми к воде. Некоторые живые организмы выделяют весьма активные вещества, разрушающие комковатую структуру сложного компоста и не способствуют её укреплению. В итоге сложные компосты являются хранилищем различных видов живых организмов в определенных условиях и представляют собой широкий спектр их сообществ. Учитывая эти обстоятельства, из такой коллекции можно отбирать пробы субстрата и изучать наиболее ценные виды микроорганизмов: бактерий,

грибов и водорослей для сравнения с природными объектами, какими являются ненарушенные территории [27].

Микроорганизмы, особенно бактерии и микроскопические грибы, способствуют трансформации питательных веществ и протеканию окислительно-восстановительных процессов при формировании сложного компоста. Влияние микроорганизмов на подстилающие слои в сложном компосте осуществляются вначале через органические вещества, которые являются результатом разложения растительных остатков, а также при распаде минералов вследствие экстракции из них фосфора, кремния, железа, марганца и других элементов [28, 29].

Биологические образования в сложном компосте (микроорганизмы, растительные и животные организмы) в процессе разложения органических веществ освобождают прежде всего органический углерод и азот, а затем серу, фосфор и кальций, осуществляя весьма важную системную функцию – накопление наиболее ценных и основополагающих для строительства организма питательных веществ. Особое значение имеют микроорганизмы ризопланы, которые концентрируются на поверхности живых корней, поставляют легкодоступные макроэлементы и многие активные вещества, включая ферменты, ауксины, витамины и другие соединения. Например, в сложном компосте, особенно в его гумусе, азота содержится больше в живых организмах (например, в бактериях) и он находится в форме структурных органических веществ, распадающихся относительно медленно [29].

Фиксация атмосферного молекулярного азота прокариотными организмами в сложном компосте является весьма важным источником его накопления после внесения в почву. Такое обеспечение растений азотом имеет системное значение, и потому проблема его биологической роли с использованием сложного компоста является весьма важной. Азотфиксирующие бактерии – симбиотические и несимбиотические – в сложном компосте развиваются с различной интенсивностью. Несимбиотические бактерии также зависят от комплексных отходов, поскольку получают от них доступный органический углерод, и их роль в фиксации азота весьма значительная [28].

Фосфором обеспечивают эукариотные живые организмы, включая и грибы, формирующие с внесением сложного компоста в почву на корнях растений микоризу. Микоризные растения способны утилизировать труднодоступные соединения фосфора, а не образующие микоризы растения не обеспечены этим элементом. Грибы-микоризообразователи с внесением сложного компоста поставляют для растений из почвы не только кальций и фосфор, но и азот, серу, калий и многие микроэлементы – марганец, медь, цинк, кобальт. Микроорганизмы сложного компоста разнообразят таким образом для растений «рацион» питательных веществ в почве [30, 34].

***Сложный компост и проблемы почвоутомления.*** Большое влияние на развитие живых организмов в сложном компосте оказывают витамины, ферменты, стимуляторы роста и другие биологически активные вещества. Случаи утомления почв, как следствие токсикоза при частом выращивании одной и той же культуры (например, картофеля, подсолнечника и т.д.) связаны с накоплением в почве гриб-токсикообразователей, относящихся к сапротрофам. В простых органических отходах микотоксины выделяются мелкими микроскопическими грибами, представляющими опасность для живых организмов, включая и человека. Использование в таких случаях сложного компоста для удобрения почв действие микотоксинов сглаживает, или их проявление полностью снимается [29].

Токсичность грибов в системе сложного компоста проявляется часто в задержке прорастания семян. Определенную роль играют фитогормоны, которые при низких концентрациях в сложном компосте оказывают влияние на регуляцию отдельных физиологических процессов, например, роста бактерий. К этой группе относится этилен,

который производится некоторыми грибами, в частности дрожжевыми. Микроскопические эукариоты, как источники органического углерода, являются важнейшими продуцентами этилена на средах с гуматами и фульвокислотами. Сапротрофы способны выделять также другие газообразные вещества, оказывающие токсическое воздействие на растения и их микробные сообщества [2,34].

Некоторые господствующие в сложном компосте грибы и бактерии образуют ауксины, продуцентами которых в первую очередь выступает азотобактер, вызывающий у некоторых живых организмов снижение их роста. Отдельные микоризообразующие грибы и бактерии выделяют фитогормоны цитокинины, задерживающие старение клеток и выступающие в основном в качестве регуляторов роста [3, 35].

При внесении в почву сложного компоста их микробные сообщества очень быстро начинают взаимодействовать. Их взаимовлияние сказывается на прорастании семян отдельных видов растений, развитии спор микроорганизмов, росте корней высших растений и на других процессах, что зависит также от складывающихся температурных, водных, воздушных и пищевых условий вегетации. Влияние верхнего слоя почвы на эти процессы в жизни растений осуществляется через взаимодействие живых организмов обеих сред – почвы и сложного компоста. Такое влияние на развитие растений проявляется в процессе формирования сложных консорций и объединения биокосных систем [4, 5, 39]. Микотрофные организмы способны к широкой адаптации, и нередко отмечаются корреляции между ростом и развитием растений и микориз, связанных с водно-воздушным режимом в почве и способствующих обогащению их питательными веществами.

Важным условием развития сложных компостов является температура в весенне-осенний период: весной ускоряет их формирование через развитие популяций живых организмов, а осенью весьма заметно их тормозит. Увеличение популяций живых организмов и их активности весной идет параллельно с нарастанием температуры сложного компоста, его увлажнением и усилением емкости пищевого режима. В осенний сезон развитие популяций живых организмов связано с увеличением количества растительных отходов (сахарная свекла, подсолнечник, смет недоразвитых семян и т.д.), с одной стороны, а также увлажнением и сохранением еще не промытых дождями многих биологических выделений, особенно из влажных отходов (ботва свёклы, овощные культуры, капуста, томаты, плодовые и др.), с другой. Весьма большие по численности прокариотные и эукариотные живые организмы еще больше увеличивают своё обилие в развивающихся в этот период сложных компостах, что способствует консервированию их азотной и органической углеродной составляющей [26].

Варьирование числа видов и популяций живых организмов в сложных компостах связано с периодическими изменениями отдельных характеристик – колебаниями количества этилена, варьированием концентрации токсических соединений и др. Наличие в фосфогипсе фосфора, сульфидов, оксидов железа, кремнезема и ряда полуторных окислов способствует минерализации клеток отмерших организмов [25].

**Сложный компост и органические загрязнители.** Важное значение в решении экологических проблем трансформации большинства отходов в верхнем слое почвы принадлежит живым организмам. Применение сложных компостов, в качестве метода очистки почвы от тяжелых металлов, нефтяных загрязнений и т.д. является весьма эффективным способом охраны ландшафтных систем. Одним из вариантов ускорения гумусообразования отходов является использование эффективных живых организмов в сложных компостах, ускоряющих его созревание, увеличивающих содержание в нем азота, фосфора, кальция и органических соединений. При внесении сложного компоста в почву поступают одновременно и органоминеральные удобрения, и разнообразные живые организмы, способствующие восстановлению её плодородия, подавлению раз-



вития патогенных организмов, повышению урожайности сельскохозяйственных культур и их способности переносить неблагоприятные условия [42].

С поступлением в сложный компост относительно свежих растительных (остатки фуража, смёт очистки зерна и т.д.) или минеральных отходов (типа мела, фосфогипса и др.) микроорганизмы достаточно быстро трансформируют их с выходом на равновесный уровень. Этот процесс протекает особенно активно, если в отдельные участки сложного компоста включаются разнообразные в видовом и экологическом плане отходы, способные трансформировать поступившие в него дополнительные органические вещества, особенно загрязняющие. Чем разнообразнее набор живых организмов в сложном компосте, тем больше его способность активнее трансформировать поступающие в него различные загрязненные отходы. Обычно биохимические процессы в сложном компосте дублируются несколькими видами живых организмов, и их видовой и популяционный запас будет способствовать выполнению важных функций в формирующейся экосистеме – её очистки от загрязнителей [31].

Основной функцией живых организмов в сложном компосте является разрушение поступивших в него органических загрязнителей, что выполняется живыми микроорганизмами в сочетании с почвенными животными. Именно эта роль живых организмов в трансформации веществ в сложном компосте нуждается в серьезном исследовании. В последние 20-30 лет в отходы поступают десятки специфических веществ (нефть и пластмасса, тяжелые металлы и гербициды, пыль и сажа, газовые выбросы и т.д.), и наша задача в организации сложных компостов состоит в таком их сочетании, которое способно было бы создать благоприятные условия в развитии будущего качественного субстрата. Трансформация этих отходов с наименьшими затратами для нормального функционирования сложного компоста при его внесении в верхний слой почвы является весьма важной задачей при одновременной утилизации вносимых веществ [35]. Подготовка сложного компоста является важнейшим приемом использования органических и минеральных отходов различных производств, способствующим сохранению питательных соединений при разложении отдельных веществ и увеличению доступности элементов питания растениям.

Внесение в почву «созревшего» сложного компоста повышает в ней биологическое связывание азота и улучшает способы его обезвреживания, которые осуществляются на основе использования способности различных штаммов живых организмов в процессе своей жизнедеятельности разлагать или усваивать в своей биомассе многие органические загрязнители. В процессе биологического обезвреживания происходит вторичное загрязнение атмосферного воздуха органическими продуктами разложения аммиаком, аммонием и сероводородом. Биологическая очистка, как правило, используется для нейтрализации органических токсикантов и тяжелых металлов в сложном компосте, а также азотных и фосфорных соединений с усилением их биodeградации, биопоглощения и перераспределения загрязнителей [43].

При трансформации некоторых отходов могут формироваться весьма вредные вещества и с высокой степенью токсичности. Во избежание такого состояния необходимо вести постоянный мониторинг за процессами преобразования отдельных отходов. В группе исследователей для создания сложных компостов необходимы микробиологи и химики-органики, способные создать банк микроорганизмов и субстратов для конкретной зоны с возможными изменениями их состава, а также с оценкой их развития для предупреждения последующего накопления патогенных для животных и человека организмов. Важное значение имеет очистка от различных загрязнителей, а также отдельных органических отходов, включая тяжелые металлы, нефтяные загрязнения и др. При снижении количества и токсичности органических загрязнителей велика роль живых организмов. Важная функция сложных компостов определяется именно работой

живых организмов при их участии в круговороте отдельных веществ: азота, углерода, кальция, серы и фосфора [36].

Разрушение органических загрязнителей определенными видами или популяциями живых организмов базируется на их разложении и внесении в сложный компост. Разложение органических загрязнителей проходит при достаточно высокой температуре и влажности и используется во всех случаях, когда микробное сообщество сохранило свою жизнеспособность, а также популяционное и видовое разнообразие. В целом этот процесс проходит относительно медленно и в то же время с достаточно высокой эффективностью. С этой целью на загрязненных полях выращивают бобовые, сорго, кормовой горох, люцерну, донник, ячмень, овес и другие культуры [42].

Простейшими способами активизации живых организмов в сложном компосте являются периодическое внесение углеводородных и белковых добавок и механическое перемешивание отходов. Важным условием размножения микроорганизмов в формируемой смеси отходов является создание в ней оптимальной температуры и влажности. Эффект микробиологической деградации загрязняющую среду веществ в отходах достигается за счет активации формирующихся разнообразных биосистем. В принципе возможна деградация любых веществ с разной скоростью. Формирование и внесение сложного компоста в почву является необходимым условием биологической очистки органических загрязнителей. Условия нейтральной среды в основной части отходов является самой подходящей для их биологического разложения [2, 3].

Интродукция специально подобранных видов микроорганизмов создает благоприятный режим для трансформации и разложения органических отходов, что способствует разработке анаэробных технологий их переработки по аналогии с отходами животноводства. Результаты таких исследований подтверждают возможность использования с этой целью сложных комплексов с широким поползновением микробиологических подходов.

Применение отдельных отходов для получения сложных компостов через сочетание в них минеральных и органических соединений, а также кислотных и щелочных свойств способствует распаду токсичных соединений (например, влияние серной и других кислот на распад ПАВов, нефтяных отходов, перевод ТМ в неподвижные формы через их осаждение полуторными окислами и т.д.) и усиливает самоочищающую способность почвы. Прекращение самоочищения почвы в связи с её перегрузкой поллютантами (например, тяжелыми металлами и нефтяными загрязнениями) и без применения сложных компостов превращает такие территории в техногенные пустыни. Непродуманная программа улучшения почв является одной из основных причин непринятия предложенных мероприятий и становится пустой тратой средств и времени [5].

**Сложные компосты и способы переработки отходов.** Во многих странах различные отходы промышленности перерабатывают во вторичное сырье. В России, к сожалению, мусор продолжают складировать, что несомненно ведет в целом к ухудшению экологической ситуации. Переработка отходов – процесс технологический, ведущий к изменению их физического, химического и биологического состояния, направленный на обезвреживание и безопасное их удаление от населения. Технологии переработки различных отходов базируются на механических, химических, биохимических и других процессах с активным участием различных экологических групп почвенных микроорганизмов [6, 7, 8].

В формировании и созревании сложных компостов важную роль в поддержании их устойчивости и функционирования при внесении затем в почву принадлежит живым организмам – бактериям, грибам, актиномицетам, одноклеточным водорослям, микро- и мезофауне. Роль этих организмов на суше в 700-800 раз превосходит их значение в водных системах, а в сложных компостах уровень их метаболизма в 800-1000 раз выше,

чем в почве. Оценивать время массового размножения живых организмов при формировании сложных компостов весьма важно, поскольку именно через этот показатель следует определять сроки их внесения в почву. Значительную часть биомассы сложного компоста составляют микроорганизмы (бактерии, микроскопические грибы, водоросли, простейшие), характерные в основном для почвы. Увеличение численности живых организмов в сложных компостах расширяет экологические ниши почв при их внесении и в перспективе определяет видовое разнообразие высших организмов – растений и животных [29, 55, 56].

Обилие живых организмов в сложных компостах заметно превосходит их почвенный пул. Количество органического вещества и органического углерода, в частности в сложных компостах, существенно превышает их количество в почве, что является энергетическим материалом для жизнедеятельности живых организмов. Следует учитывать, что живые организмы в сложных компостах существенно превышают по биогеохимической и физиологической активности растения и животных через более высокое отношение их поверхности к объему (например, интенсивность дыхания аэробных бактерий на 1 г биомассы в сотни раз выше, чем у человека, а в слое 0-15 см на 1 га плодородной почвы оно равноценно метаболизму тысяч людей), а также через высокую мобильность метаболизма. Они широко используют большое число различных соединений и отдельных веществ, которые недоступны высшим таксонам [34, 36, 40, 41, 42].

У мелких живых организмов границы освоения жизни значительно шире, чем у высших таксонов, и они способны функционировать в весьма больших пределах температур (от -13 до +110°C), осмотического давления – от бидистиллята до концентрированных солевых растворов, уровня pH – от 1 до 13, влажности (от -20 до +90%) и в других экстремальных условиях [37, 48, 50].

Многокомпонентный сложный компост представляет собой хорошую среду для развития различных нижнеподстилочных видов мелких живых организмов, продуцирующих ферменты, витамины, аминокислоты и другие активные вещества. По своим химическим и физическим свойствам сложные компосты являются гетерогенными и полидисперсными временными системами и представляют собой богатый комплексный субстрат, обеспечивающий пищевыми ресурсами весьма разнообразный набор живых организмов, активно использующих отходы животных, осадки сточных вод, органические выделения прорастающих семян и спор высших и низших растений [39].

Активность развития живых организмов в сложных компостах увеличивает разнообразие химических реакций между органическими и минеральными отходами и превращение их в единую биогеохимическую систему. Микроорганизмы в сложных компостах являются основными регуляторами формирования в них главных парниковых газов – метана, окислов азота, двуокиси углерода. Использование сложных компостов для улучшения верхнего слоя почвы (0-20 см) способствует его долговременному (на 5-6 лет) обогащению органическими, азотно-фосфорными и кальциево-сернистыми соединениями и сохранению концентрации полуторных окислов минеральных соединений, способствующих экономному расходованию питательных веществ. В связи с накоплением значительного количества органических веществ сложный компост существенно превосходит по набору видов и обилию их отдельных популяций окружающие системы, и потому верхний слой почвы активно пополняется живыми организмами, что активизирует обмен энергией и веществами между различными организмами суши, атмосферы и гидросферы [24, 41].

***Живые организмы и стабильность органического вещества в сложном компосте.*** Микробсообщества в сложном компосте, особенно в начальный период его формирования, весьма разнообразны и характеризуются различными условиями обитания. Они могут и разрушить органическое вещество, и его стабилизировать. В биомассе жи-

вых организмов концентрация органического вещества доходит до 10-14% и больше, а время круговорота органического углерода и азота составляет примерно 6 лет. Если в сложном компосте доля глинистой фракции значительная, то активность и защищенность живых организмов выше и продолжительность их развития существенно повышается [39].

В сложном компосте разложение органического вещества живыми организмами зависит от активности ферментов, функционирующих относительно короткое время (до нескольких суток). Внеклеточные ферменты, использующие свободную энергию, сорбируются твердой фазой и способствуют разложению органических веществ вблизи их источника на расстоянии до 30-50 мкм. Удаление живых организмов от субстрата в результате перемешивания сложного компоста, становится малоэффективным, и органическое вещество сохраняется из-за недоступности воздействия на него внеклеточных ферментов [41].

Глинистые минералы в сложных компостах по-разному связывают метаболиты, снижают рост живых организмов, но не приводят обезвоживанию их клеток. Диаметр бактерий колеблется от 0,15 до 4,0 мкм, а гифов грибов – от 3 до 8 мкм. Гифы грибов редко встречаются в микропорах, тогда как бактерии их заселяют и защищаются от ряда хищников. Грибы по сравнению с бактериями имеют более высокую защищенность от гибели из-за тесного взаимодействия с глинистыми минералами и почвенными агрегатами [11].

Гифы грибов способствуют построению мостиков между внутренними и поверхностными слоями различных отходов и меньше зависят от пространственного их размещения. Мобильность многих живых организмов в сложном компосте обусловлена органическими веществами, при этом в первую очередь используются близко расположенные отходы. Грибы выделяют различные формы ферментов (например, пероксидаз), редуцирующих лигнинные комплексы. Бактерии продуцируют липазы и целлюлазы, столь важные для разложения нелигнинных отходов. Составной частью гуминовых новообразований являются мономеры – производные лигнинных полимеров. Достаточно прочно и долго они сохраняются в сложном компосте, а затем и в почве – в стенках грибных клеток, содержащих меланин и хитин. Весьма активно метаболизируются фосфолипиды, с чем обусловлено слабое соответствие аккумуляции органического углерода приросту органического вещества после отмирания [28, 30, 43, 44].

Роль микоризных грибов в стабилизации органического углерода в сложных компостах весьма существенная, поскольку они являются облигатными симбионтами, что способствует освоению растениями большого объема почвы. Это сказывается на накоплении органического углерода в биомассе самих микоризных грибов (в них содержится примерно до 1000 кг углерода на 1 га). В микоризных грибах углерод содержится также в форме гликопротеина (гломалин), устойчивого к распаду. Микоризные грибы своими гифами вместе с мелкими корнями растений образуют своеобразную сеть, опутывающую и сплетающую почвенные частицы и способствующую стабилизации органического вещества в форме агрегатов.

Роль бактерий также велика в трансформации органического вещества. Например, автотрофная фиксация бактериями  $\text{CO}_2$  доходит до 5% от уровня дыхания почвы, и фиксированный из атмосферы углерод в основном аккумулируется в массе бактерий. Живые организмы в сложных компостах, использующие в качестве источника питания органический углерод, служат основным биотическим агентом трансформации органического вещества, а их биомасса является основой обновления его в почве. Разлагая и окисляя органические субстраты, живые организмы в сложных компостах редуцируют многие соединения в более простые, которые реутилизируются или подвергаются хи-

мической и физико-химической переработке в основном с микробными метаболитами [51, 52, 53, 54].

В заключение следует отметить, что в сообществах живых организмов в сложных компостах большое значение имеет варьирование различных форм и их таксонов, что зависит в основном от соотношения органического углерода и доступного азота. При благоприятных условиях преобладают мелкие живые организмы, которые отличаются высокой скоростью размножения за весьма короткий срок и активно наращивают свой популяционный состав. Численность живых организмов в сложном компосте по сравнению с воздухом, водой и почвой значительно выше (в 1 г сложного компоста количество клеток достигает нескольких миллиардов, длина гиф грибов составляет тысячи метров, а их общая биомасса доходит до 2-3 десятков тысяч тонн в расчете на 1 га почвы). Круговороты всех зольных элементов, а также органического углерода и азота проходят через всю систему развития сложного компоста. Отношение C:N в хорошо подготовленном сложном компосте значительно выше соотношения 25:1, где доминируют грибы и, что указывает на его существенную обеспеченность азотом [21].

В сложном компосте, составленном из различных органических и минеральных отходов, при узком соотношении C:N (20:1 и меньше) доминируют прокариоты (бактерии), за которыми стоят в основном фиксация азота, нитрификация, денитрификация, окисление серы и металлов, образование и использование метана дыхание серное и сульфатное. Круговорот серы и азота в основном контролируется прокариотами, которые в принципе способствуют поддерживать круговороты всех элементов и сохранять биосферу. С такой задачей эукариоты не могли бы справиться и в основном специализируются на фотосинтезе, аэробных условиях существования и противостояния прокариотам. С учетом особенностей использования органического углерода эукариоты и прокариоты различаются по размещению и его стабилизации, а также особенностям метаболизма в накоплении ими биомассы. При высокой эффективности использования органического углерода (нарастание биомассы), меньше расходуется его на дыхание и меньше уходит в форме CO<sub>2</sub> в атмосферный воздух, и лучше сохраняется в сложном компосте. При недостатке азота рост живых организмов (эукариоты и прокариоты) в сложном компосте составляет всего около 20-30%, а при увеличении его количества за счет сульфата аммония заметно повышается ещё на 15-20% [9].

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Алифиров М.Д., Белюченко И.С., Волошина Г.В., Гукалов В.Н., Гукалов В.В., Мельник О.А., Пономарева Ю.В., Фалин А.Г., Стешенко А.Ю. Роль микроорганизмов в функционировании почвенных систем // Экологические проблемы Кубани. – 2007. – № 33. – С. 158-163.
2. Белюченко И.С. Агрегатный состав сложных компостов // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ) [Электронный ресурс]. – Краснодар: КубГАУ, 2013. – №09(093). – IDA [article ID]: 0931309069. – Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2013/09/pdf/69.pdf>, 1,625 у.п.л.
3. Белюченко И.С. Преимущества и недостатки многокомпонентных травосмесей // В сб.: Матер. докл. науч. конф. с.-х. факультета. – М.: Изд-во УДН, 1990. – С. 45-46.
4. Белюченко И.С. Влияние многолетней травосмеси на почвенную биоту в условиях континентальных субтропиков // Материалы научн. конфер. профессорско-препод. состава с.-х. факультета / Ун-т Дружбы Народов. – М., 1991. – С. 87-89.
5. Белюченко И.С. Закономерности индивидуального развития сельскохозяйственных культур // Вестник с.-х. науки. – 1991. – № 2. – С. 65-69.
6. Белюченко И.С. Поиски новых технологий выращивания зерновых культур // Междунар. агропромышл. журнал. – 1991. – № 6. – С. 42-45.

7. Белюченко И.С. Сложные травосмеси круглогодичного использования на юге Таджикистана // Вестник с.-х. науки. – 1991. – № 7. – С. 94-96.
8. Белюченко И.С. Особенности развития многолетних кормовых злаков различного происхождения в южных районах СНГ // Растит. ресурсы. – 1992. – Вып. 4. – Т. 28. – С. 57-74.
9. Белюченко И.С. Введение в общую экологию. Краснодар, 1997. – 544 с.
10. Белюченко И.С. Способ создания полидоминантных пастбищ в континентальных субтропиках // Заявка № 4904119, приоритет изобретения 22 января 1991 г. Патент № 2019947, 1994. Зарегистрирован в Гос. реестре изобретений 30 сентября 1994 г.
11. Белюченко И.С., Перебора Е.А., Гукалов В.Н. Физико-географическая характеристика Ленинградского района // Экологические проблемы Кубани. – 2002. – № 16. – С. 186
12. Белюченко И.С., Боташева Н.Н. Состав основных консортов фито- и энтомофагов озимой пшеницы в засушливой зоне Ставрополя // Экологические проблемы Кубани. – 2003. – № 19. – С. 37-51.
13. Белюченко И.С., Волошина Г.В., Виличку М.В., Гукалов В.Н., Абрамычкина Е.И. Влияние животноводческих комплексов на микробоценозы почв прилегающих территорий (на примере ОАО «Заветы Ильича» Ленинградского района) // Экологические проблемы Кубани. – 2006. – № 32. – С. 180-185.
14. Белюченко И.С., Волошина Г.В. Влияние микроорганизмов на накопление органического вещества в пойменных почвах реки Понура // Экологические проблемы Кубани. – 2007. – № 33. – С. 28-32.
15. Белюченко И.С., Волошина Г.В., Костюк А.Ю., Пономарева Ю.В. Роль биотестирования в комплексной оценке состояния окружающей среды // Экологические проблемы Кубани. – 2005. – № 30. – С. 156-158.
16. Белюченко И.С., Волошина Г.В., Фалин А.Г., Стешенко А.И. К вопросу о процессе нитрификации в агроландшафтах степной зоны Краснодарского края // Экологические проблемы Кубани. – 2006. – № 32. – С. 218-222.
17. 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.
18. Белюченко И.С. Дубенкова Н.С., Пономарева Ю.В. Численность и видовое разнообразие микромицетов степных рек // Экологические проблемы Кубани. – 2005. – № 30. – С. 145-152.
19. Белюченко И.С., Лившиц Ю. П., Таранец Г.С, Стешенко А.И., Фалин. А. Г. Роль процесса азотфиксации в улучшении плодородия почв // Экологические проблемы Кубани. – 2007. – № 33. – С. 33-35.
20. Белюченко И.С., Мокрецов Г.Г. Изменение свойств коричневой карбонатной почвы под влиянием травостоев // Докл. ВАСХНИЛ. – 1991. – № 3. – С. 21-24.
21. 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.
22. 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
23. Белюченко И.С., Назарько М.Д., Гукалов В.Н., Донец М.Ю., Дубровская Е.В., Абрамычкина Е.И. Микробоценозы почв агроландшафта // Экологические проблемы Кубани. – 2001. – № 9. – С. 14-196.
24. Белюченко И.С., Подаруева В.А. Микро- и мезофауна пастбищных агроценозов // В сб.: Интенсив. возделыв. кормов. культур в Яванской долине Таджикистана. – Душанбе, 1990. – С. 17-42.
25. Белюченко И.С. Пономарева Ю.В., Воронкова Т.В., Швидкая Е.А. // Выбор методов биотестирования для определения токсичности отходов // Экологические проблемы Кубани. – 2006. – № 32. – С. 132-134.
26. Белюченко И.С., Подаруева В.И. Микроартроподы в агроценозах многолетних кормовых злаков на юге Таджикистана // Бюл. МОИП, отд. биол. – 1992. – Вып. 6. – Т. 97. – С. 72-81.

27. Белюченко И.С., Пономарева Ю.В. Грибные консорты озимой пшеницы в степной зоне Кубани // Экологические проблемы Кубани. – 2005. – № 27. – С. 20-163.
28. Белюченко И.С., Пономарева Ю.В. Использование методов биотестирования и биоиндикации в оценке степени токсичности отходов и компонентов окружающей среды // Экологические проблемы Кубани. – 2006. – № 31. – С. 68-74.
29. Белюченко И.С., Добрыднев Е.П., Муравьев Е.И., Мельник О.А., Славгородская Д.А., Терещенко Е.В. Использование фосфогипса для рекультивации загрязненных нефтью почв // Тр./КубГАУ. – 2008. – № 12. – С. 72-77.
30. Белюченко И.С. Использование фосфогипса для рекультивации чернозема обыкновенного в степной зоне Кубани // В сб.: Проблемы рекультивации отходов быта, промышленного и сельскохозяйственного производства. – Краснодар, 2009. – С. 54-59.
31. Белюченко И.С. К вопросу о формировании и свойствах органоминеральных компостов и реакции растений кукурузы на их внесение // Экол. Вестник Сев. Кавказа. – 2011. – Т. 7. – № 4. – С. 65-74.
32. Белюченко И.С. Сложный компост и его роль в улучшении почв // Экол. Вестник Сев. Кавказа. – 2012. – Т. 8. – № 2. – С. 75-86.
33. Волошина Г.В. Влияние фосфогипса на развитие актиномицетного комплекса чернозема обыкновенного // Экол. Вестник Сев. Кавказа. – 2010. – Т. 6. – № 2. – С. 83-87.
34. Волошина Г.В. Влияние фосфогипса на микробоценоз почв под посевами кукурузы // Экол. Вестник Сев. Кавказа. – 2011. – Т. 7. – № 4. – С. 59-64.
35. Волошина Г.В. Изучение функционирования микробных сообществ в объектах окружающей среды лабораторией микробиологии // Экологические проблемы Кубани. – 2006. – № 31. – С. 74-79.
36. Волошина Г.В., Гукалов В.Н. Микробные сообщества чернозема обыкновенного (на примере агроландшафта ОАО «Заветы Ильича» Ленинградского района) // Экол. Вестник Сев. Кавказа. – 2009. – Т. 5. – № 2. – С. 21-25.
37. Донец М.Ю., Белюченко И.С. Характеристика микоценозов почв агроландшафтных систем северных районов Кубани // Экологические проблемы Кубани. – 2000. – № 8. – С. 67-77.
38. Донец М.Ю., Назарько М.Д., Белюченко И.С. Некоторые особенности развития грибных сообществ в почвах агроландшафтов Кубани // Экологические проблемы Кубани. – 2000. – № 6. – С. 31-38.
39. Кураков А.Г., Белюченко И.С. Микобиота пастбищных агроценозов // В сб.: Интенсив. возделыв. кормов. культур в Яванской долине Таджикистана. – Душанбе, 1990. – С. 57-81.
40. Кураков А.В., Белюченко И.С. Состав микроорганизмов коричневой карбонатной почвы при возделывании многолетних злаков и хлопчатника // Доклады ВАСХНИЛ. – 1990. – № 3. – С. 23-26.
41. Кураков А.В., Белюченко И.С. Микобиота филлосферы злаков тропического происхождения на юге Таджикистана // Изв. АН Тадж. ССР, отд. биол. наук. – 1990. – № 2. – С. 63-67.
42. Кураков А.В., Белюченко И.С. Микроскопические грибы пастбищных и хлопковых агроценозов Южного Таджикистана // Бюл. МОИП, отд. биол. – 1990. – Т. 95. – Вып. 2. – С. 113-131
43. 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.
44. Муравьев Е.И., Попок Л.Б., Попок Е.В., Гукалов В.Н., Белюченко И.С. Закономерности латерального и вертикального распределения тяжелых металлов в почвах агроландшафта (на примере изучения агроландшафта ОАО «Заветы Ильича» Ленинградского района Краснодарского края) // Экол. Вестник Сев. Кавказа. – 2008. – Т. 4. – № 1. – С. 5-24.
45. Муравьев Е.И., Белюченко И.С. Коллоидный состав и коагуляционные свойства дисперсных систем почвы и некоторых отходов промышленности и животноводства // Тр. / КубГАУ. – 2008. – № 11. – С. 177-182.
46. Назарько М.Д., Белюченко И.С. Микробоценозы почв различных ландшафтов края // Экологические проблемы Кубани. – 2000. – № 6. – С. 39-73.
47. Назарько М.Д., Белюченко И.С. Взаимоотношения между полевыми культурами и микробным комплексом почвы // Экологические проблемы Кубани. – 2000. – № 7. – С. 71-88.

48. Назарько М.Д., Белюченко И.С. Микробные сообщества экосистемы реки Кубань в пределах города Краснодара // Экологические проблемы Кубани. – 2001. – № 11. – С. 69-86.
49. Назарько М.Д., Белюченко И.С. Почвенная микрофлора Крымского района // Экологические проблемы Кубани. – 2001. – № 13. – С. 63-67.
50. Назарько М.Д., Белюченко И.С. Почвенная микрофлора Анапского района // Экологические проблемы Кубани. – 2002. – № 14. – С. 51-55.
51. Назарько М.Д., Белюченко И.С. Почвенная микрофлора Темрюкского района // Экологические проблемы Кубани. – 2002. – № 15. – С. 99-107.
52. Назарько М.Д., Белюченко И.С., Гукалов В.Н. Микрофлора почв Ленинградского района // Экологические проблемы Кубани. – 2002. – № 16. – С. 68-73.
53. Никифорова Ю.Ю. Состав почвенной мезофауны в черноземе обыкновенном при внесении сложного компоста // Экол. Вестник Сев. Кавказа. – 2013. – Т. 9. – № 2. – С. 30-39.
54. Пономарева Ю.В., Белюченко И.С. Грибные консорты озимой пшеницы в степной зоне Краснодарского края // Экол. Вестник Сев. Кавказа. – 2005. – Т. 1. – № 2. – С. 128-137.
55. Щербина В.Г., Щербина Ю.Г., Белюченко И.С. Характеристика почвенных беспозвоночных в условиях антропогенной нарушенности почвенного покрова // Регион. пробл. юга России: Докл. научн. конф., Сочи / Соч. фил. Рос. гос. ун-т им. А.И. Герцена. – Сочи, 1995. – Деп. в ВИНТИ № 2811-В95.
56. Kurakov A.V., Than H.T.H., Belyuchenko I.S. Microscopic fungi of soil, rhizosphere, and rhizoplane of cotton and tropical cereals introduced in southern Tajikistan // Микробиология. – 1994. – Т. 63. – № 6. – С. 1101.
57. Белюченко И.С. Основные направления сопряженной эволюции организмов в экосистемах // Экологические проблемы Кубани. – 2000. – № 6. – С. 80-102.

#### References

1. Alifirov M.D., Beljuchenko I.S., Voloshina G.V., Gukalov V.N., Gukalov V.V., Mel'nik O.A., Ponomareva Ju.V., Falin A.G., Steshenko A.Ju. Rol' mikroorganizmov v funkcionirovanii pochvennyh sistem // Jekologicheskie problemy Kubani. – 2007. – № 33. – S. 158-163.
2. Beljuchenko I.S. Agregatnyj sostav slozhnyh kompostov // Politematicheskij setевой jelektronnyj nauchnyj zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta (Nauchnyj zhurnal KubGAU) [Jelektronnyj resurs]. – Krasnodar: KubGAU, 2013. – №09(093). – IDA [article ID]: 0931309069. – Rezhim dostupa: <http://ej.kubagro.ru/2013/09/pdf/69.pdf>, 1,625 u.p.l.
3. Beljuchenko I.S. Preimushhestva i nedostatki mnogokomponentnyh travosmesej // V sb.: Mater. dokl. nauch. konf. s.-h. fakul'teta. – M.: Izd-vo UDN, 1990. – S. 45-46.
4. Beljuchenko I.S. Vlijanie mnogoletnej travosmesi na pochvennuju biotu v uslovijah kontinental'nyh subtropikov // Materialy nauchn. konfer. professorsko-prepod. sostava s.-h. fakul'teta / Un-t Druzhy Narodov. – M., 1991. – S. 87-89.
5. Beljuchenko I.S. Zakonomernosti individual'nogo razvitija sel'skohozjajstvennyh kul'tur // Vestnik s.-h. nauki. – 1991. – № 2. – S. 65-69.
6. Beljuchenko I.S. Poiski novyh tehnologij vyrashhivaniya zernovyh kul'tur // Mezhdunar. agropromyshl. zhurnal. – 1991. – № 6. – S. 42-45.
7. Beljuchenko I.S. Slozhnye travosmesi kruglogodichnogo ispol'zovaniya na juge Tadzhiki-stana // Vestnik s.-h. nauki. – 1991. – № 7. – S. 94-96.
8. Beljuchenko I.S. Osobennosti razvitija mnogoletnih kormovyh zlakov razlichnogo proishozhdenija v juzhnyh rajonah SNG // Rastit. resursy. – 1992. – Vyp. 4. – T. 28. – S. 57-74.
9. Beljuchenko I.S. Vvedenie v obshhiju jekologiju. Krasnodar, 1997. – 544 s.
10. Beljuchenko I.S. Sposob sozdaniya polidominantnyh pastbishh v kontinental'nyh sub-tropikah // Zajavka № 4904119, prioritet izobretenija 22 janvarja 1991 g. Patent № 2019947, 1994. Zaregistrirovano v Gos. reestre izobretenij 30 sentjabrja 1994 g.
11. Beljuchenko I.S., Perebora E.A., Gukalov V.N. Fiziko-geograficheskaja harakteristika Leningradskogo rajona // Jekologicheskie problemy Kubani. – 2002. – № 16. – S. 186
12. Beljuchenko I.S., Botasheva N.N. Sostav osnovnyh konsortov fito- i jentomofagov ozi-moj pshenicy v zasushlivoj zone Stavropol'ja // Jekologicheskie problemy Kubani. – 2003. – № 19. – S. 37-51.



13. Beljuchenko I.S., Voloshina G.V., Vilichku M.V., Gukalov V.N., Abramychkina E.I. Vlija-nie zhivotnovodcheskih kompleksov na mikrobocenozy pochv prilegajushhijh territorij (na primere OAO «Zavety Il'icha» Leningradskogo rajona) // Jekologicheskie problemy Kubani. – 2006. – № 32. – S. 180-185.
14. Beljuchenko I.S., Voloshina G.V. Vlijanie mikroorganizmov na nakoplenie organichesko-go veshhestva v pojmyennyh pochvah reki Ponura // Jekologicheskie problemy Kubani. – 2007. – № 33. – S. 28-32.
15. Beljuchenko I.S., Voloshina G.V., Kostjuk A.Ju., Ponomareva Ju.V. Rol' biotestirovanija v kompleksnoj ocenke sostojanija okruzhajushhej sredy // Jekologicheskie problemy Kubani. – 2005. – № 30. – S. 156-158.
16. Beljuchenko I.S., Voloshina G.V., Falin A.G., Steshenko A.I. K voprosu o processe nit-rifikacii v agrolandshaftah stepnoj zony Krasnodarskogo kraja // Jekologicheskie problemy Kubani. – 2006. – № 32. – S. 218-222.
17. Beljuchenko I.S. Gukalov V. N., Jakovleva O.A. Raznoobrazie mezo- i mikrofauny v pochvah agrolandshafta (na primere OAO «Zavety Il'icha» Leningradskogo rajona) // Jekologicheskie problemy Kubani. – 2006. – № 32. – S. 161-164.
18. Beljuchenko I.S. Dubenkova N.S., Ponomareva Ju.V. Chislennost' i vidovoe raznoobrazie mikro-micetov stepnyh rek // Jekologicheskie problemy Kubani. – 2005. – № 30. – S. 145-152.
19. Beljuchenko I.S., Livshic Ju. P., Taranec G.S., Steshenko A.I., Falin. A. G. Rol' proces-sa azot-fiksacii v uluchshenii plodorodija pochv // Jekologicheskie problemy Kubani. – 2007. – № 33. – S. 33-35.
20. Beljuchenko I.S., Mokrecov G.G. Izmenenie svojstv korichnevoj karbonatnoj pochvy pod vlija-niem travostoev // Dokl. VASHNIL. – 1991. – № 3. – S. 21-24.
21. Beljuchenko I.S., Mokrecov G.G. Osobennosti razvitiya i formirovanija urozhaja kormo-vyh rastenij v chistyh posevah i travosmesjah na juge Tadzhikistana // Rastitel'nye re-sursy. – 1991. – Vyp. 3. – S. 62-81.
22. Beljuchenko I.S., Nazar'ko M.D. Fonovaja ocenka sostojanija mikrobocenzov v pochvah prirodnyh i agrolandshaftnyh jekosistem severnyh rajonov Kubani // Jekologicheskie problemy Kubani. – 2000. – № 8. – S. 29-66
23. Beljuchenko I.S., Nazar'ko M.D., Gukalov V.N., Donec M.Ju., Dubrovskaja E.V., Abramychkina E.I. Mikrobocenozy pochv agrolandshafta // Jekologicheskie problemy Kubani. – 2001. – № 9. – S. 14-196.
24. Beljuchenko I.S., Podarueva V.A. Mikro- i mezofauna pastbishhnyh agrocenzov // V sb.: Inten-siv. vozdelev. kormov. kul'tur v Javanskoj doline Tadzhikistana. – Dushanbe, 1990. – S. 17-42.
25. Beljuchenko I.S. Ponomareva Ju.V., Voronkova T.V., Shvidkaja E.A. // Vybor metodov bio-testirovanija dlja opredelenija toksichnosti othodov // Jekologicheskie problemy Kubani. – 2006. – № 32. – S. 132-134.
26. Beljuchenko I.S., Podarueva V.I. Mikroartropody v agrocenzah mnogoletnih kormo-vyh zlakov na juge Tadzhikistana // Bjul. MOIP, otd. biol. – 1992. – Vyp. 6. – T. 97. – S. 72-81.
27. Beljuchenko I.S., Ponomareva Ju.V. Gribnye konsorty ozimoj pshenicy v stepnoj zone Kubani // Jekologicheskie problemy Kubani. – 2005. – № 27. – S. 20-163.
28. Beljuchenko I.S., Ponomareva Ju.V. Ispol'zovanie metodov biotestirovanija i bioindi-kacii v ocenke stepeni toksichnosti othodov i komponentov okruzhajushhej sredy // Jekologicheskie problemy Kubani. – 2006. – № 31. – S. 68-74.
29. Beljuchenko I.S., Dobrydnev E.P., Murav'ev E.I., Mel'nik O.A., Slavgorodskaja D.A., Tereshhenko E.V. Ispol'zovanie fosfogipsa dlja rekul'tivacii zagryznennyh neft'ju pochv // Tr./KubGAU. – 2008. – № 12. – S. 72-77.
30. Beljuchenko I.S. Ispol'zovanie fosfogipsa dlja rekul'tivacii chernozema obyknovennogo v stepnoj zone Kubani // V sb.: Problemy rekul'tivacii othodov byta, promyshlennogo i sel'skohozjajstven-nogo proizvodstva. – Krasnodar, 2009. – S. 54-59.
31. Beljuchenko I.S. K voprosu o formirovanii i svojstvah organomineral'nyh kompostov i reakcii rastenij kukuruzy na ih vnesenie // Jekol. Vestnik Sev. Kavkaza. – 2011. – T. 7. – № 4. – S. 65-74.
32. Beljuchenko I.S. Slozhnyj kompost i ego rol' v uluchshenii pochv // Jekol. Vestnik Sev. Kavkaza. – 2012. – T. 8. – № 2. – S. 75-86.

33. Voloshina G.V. Vlijanie fosfogipsa na razvitie aktinomicetnogo kompleksa chernozema obyknovenного // Jekol. Vestnik Sev. Kavkaza. – 2010. – T. 6. – № 2. – S. 83-87.
34. Voloshina G.V. Vlijanie fosfogipsa na mikrobocenozy pochv pod posevami kukuruzy // Jekol. Vestnik Sev. Kavkaza. – 2011. – T. 7. – № 4. – S. 59-64.
35. Voloshina G.V. Izuchenie funkcionirovanija mikrobnih soobshhestv v ob#ektah okru-zhajushhej sredy laboratoriej mikrobiologii // Jekologicheskie problemy Kubani. – 2006. – № 31. – S. 74-79.
36. Voloshina G.V., Gukalov V.N. Mikrobnye soobshhestva chernozema obyknovenного (na primere agrolandshafta OAO «Zavety Il'icha» Leningradskogo rajona) // Jekol. Vest-nik Sev. Kavkaza. – 2009. – T. 5. – № 2. – S. 21-25.
37. Donec M.Ju., Beljuchenko I.S. Harakteristika mikocenzov pochv agrolandshaftnyh sis-tem severnyh rajonov Kubani // Jekologicheskie problemy Kubani. – 2000. – № 8. – S. 67-77.
38. Donec M.Ju., Nazar'ko M.D., Beljuchenko I.S. Nekotorye osobennosti razvitija gribnyh soobshhestv v pochvah agrolandshaftov Kubani // Jekologicheskie problemy Kubani. – 2000. – № 6. – S. 31-38.
39. Kurakov A.G., Beljuchenko I.S. Mikobiota pastbishhnyh agrocenzov // V sb.: Intensiv. vozde-lyv. kormov. kul'tur v Javanskoj doline Tadzhi-kistana. – Dushanbe, 1990. – S. 57-81.
40. Kurakov A.V., Beljuchenko I.S. Sostav mikroorganizmov korichnevoj karbonatnoj pochvy pri vozde-lyvanii mnogoletnih zlakov i hlochatnika // Doklady VASHNIL. – 1990. – № 3. – S. 23-26.
41. Kurakov A.V., Beljuchenko I.S. Mikobiota fillosfery zlakov tropicheskogo proishozh-denija na juge Tadzhi-kistana // Izv. AN Tadh. SSR, otd. biol. nauk. – 1990. – № 2. – S. 63-67.
42. Kurakov A.V., Beljuchenko I.S. Mikroskopicheskie griby pastbishhnyh i hlopkovyh agrocenzov Juzhnogo Tadzhi-kistana // Bjul. MOIP, otd. biol. – 1990. – T. 95. – Vyp. 2. – S. 113-131
43. Kurakov A.V., Beljuchenko I.S. Mikroskopicheskie griby pochvy, rizosfery i rizo-plany hlochatnika i tropicheskijh zlakov, introducirovannyh na juge Tadzhi-kistana // Mikrobiologija. – 1994. – Vyp. 6. – S. 1101-1109.
44. Murav'ev E.I., Popok L.B., Popok E.V., Gukalov V.N., Beljuchenko I.S. Zakonomernosti lateral'nogo i vertikal'nogo raspredelenija tjazhelyh metallov v pochvah agroland-shafta (na primere izuchenie agrolandshafta OAO «Zavety Il'icha» Leningradskogo rajona Krasnodarskogo kraja) // Jekol. Vestnik Sev. Kavkaza. – 2008. – T. 4.– № 1. – S. 5-24.
45. Murav'ev E.I., Beljuchenko I.S. Kolloidnyj sostav i koaguljacionnye svojstva dis-persnyh sistem pochvy i nekotoryh othodov promyshlennosti i zhivotnovodstva // Tr. / KubGAU. – 2008. – № 11. – S. 177-182.
46. Nazar'ko M.D., Beljuchenko I.S. Mikrobocenozy pochv razlichnyh landshaftov kraja // Jekologicheskie problemy Kubani. – 2000. – № 6. –S. 39-73.
47. Nazar'ko M.D., Beljuchenko I.S. Vzaimootnoshenija mezhdju polevymi kul'turami i mik-robnym kompleksom pochvy // Jekologicheskie problemy Kubani. – 2000. – № 7. – S. 71-88.
48. Nazar'ko M.D., Beljuchenko I.S. Mikrobnye soobshhestva jekosistemy reki Kuban' v pre-delah goroda Krasnodara // Jekologicheskie problemy Kubani. – 2001. – № 11. – S. 69-86.
49. Nazar'ko M.D., Beljuchenko I.S. Pochvennaja mikroflora Krymskogo rajona // Jekologiche-skie problemy Kubani. – 2001. – № 13. – S. 63-67.
50. Nazar'ko M.D., Beljuchenko I.S. Pochvennaja mikroflora Anapskogo rajona // Jekologiche-skie problemy Kubani. – 2002. – № 14. – S. 51-55.
51. Nazar'ko M.D., Beljuchenko I.S. Pochvennaja mikroflora Temrjukskogo rajona // Jekologi-cheskie problemy Kubani. – 2002. – № 15. – S. 99-107.
52. Nazar'ko M.D., Beljuchenko I.S., Gukalov V.N. Mikroflora pochv Leningradskogo raj-ona // Jekologicheskie problemy Kubani. – 2002. – № 16. – S. 68-73.
53. Nikiforenko Ju.Ju. Sostav pochvennoj mezofauny v chernozeme obyknovenном pri vnesenii slozh-nogo komposta // Jekol. Vestnik Sev. Kavkaza. – 2013. – T. 9. – № 2. – S. 30-39.
54. Ponomareva Ju.V.. Beljuchenko I.S. Gribnye konsorty ozimoj pshenicy v stepnoj zone Krasno-darskogo kraja // Jekol. Vestnik Sev. Kavkaza. – 2005. – T. 1. – № 2. – S. 128-137.
55. Shherbina V.G., Shherbina Ju.G., Beljuchenko I.S. Harakteristika pochvennyh bespozvonoch-nyh v uslovijah antropogennoj narushennosti pochvennogo pokrova // Region. probl. juga Rossii:

- Dokl. nauchn. konf., Sochi / Soch. fil. Ros. gos. un-t im. A.I. Gercena. – Sochi, 1995. – Dep. v VINITI № 2811-V95.
56. Kurakov A.V., 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.
57. Beljuchenko I.S. Osnovnye napravlenija soprjazhennoj jevoljucii organizmov v jekosiste-mah// Jekologicheskie problemy Kubani. – 2000. – № 6. – S. 80-102.