

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего профессионального образования
«КУБАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

И. С. Белюченко

СОВМЕЩЕННЫЕ ПОСЕВЫ
В СЕВООБОРОТЕ АГРОЛАНДШАФТА

Монография

Краснодар
КубГАУ
2016

УДК 631.584.5

ББК 41.41

Б43

Р е ц е н з е н т ы :

Э. А. Сиротюк – доктор биологических наук, профессор
(Майкопский технологический университет);

А. Х. Шеуджен – доктор биологических наук, академик
(Кубанский государственный аграрный университет)

Белюченко И. С.

Б43 Совмещенные посевы в севообороте агроландшафта : монография /
И. С. Белюченко. – Краснодар : КубГАУ, 2016. – 262 с.

ISBN 978-5-00097-054-6

В монографии рассматриваются основные проблемы совмещенных посевов полевых и луговых культур в севообороте агроландшафта, их взаимодействие с почвой и живыми организмами, на расширение экологических ниш с учетом организации технологии их выращивания. Дается краткий обзор развития растительных организмов с учетом их симбиотических отношений и совместного выращивания культур.

Предназначена для студентов-бакалавров, магистрантов и аспирантов, а также практических экологов, работающих над проблемами повышения устойчивости и продуктивности агроландшафтов; может быть полезна при подготовке курсовых и дипломных работ будущими экологами и агрономами по вопросам улучшения аграрных ландшафтов.

УДК 631.584.5

ББК 41.41

ISBN 978-5-00097-054-6

© Белюченко И. С., 2016

© ФГБОУ ВПО «Кубанский
государственный аграрный
университет, 2016

ВВЕДЕНИЕ

Проблемы поддержания экологической устойчивости и продуктивности агросистем еще не достаточно разработаны, хотя некоторые моменты этих проблем уже ясны. Например, показано значение смешанных посевов зерновых и зернобобовых культур в повышении продуктивности при варьировании природных условий. В ряде регионов нашей страны (Ставрополь, Московская и Ростовская область и др.) разработаны эффективные системы повышения урожайности сеяных луговых трав с включением в травосмесь злаковых и бобовых культур. Лесные полосы, высаженные с целью ограждения посевов от засухи, предусматривают формирование сложного растительного сообщества, формирующего разные по продуктивности и ярусам размещения органические вещества, включающего в свои сообщества птиц, насекомых, мелких животных, многие из которых достаточно успешно контролируют численность вредителей посевов.

Упрощая структуру и разнообразие агросистем, поддерживают их продуктивность на достаточно высоком уровне, поскольку поддержание этих систем берет на себе человек и они восстанавливаются за счет дополнительных затрат, которые в искусственных сообществах довольно значительны. Именно в таком совмещении интересов сообщества растений и человека – получение высокой продуктивности урожая – происходит завершение отдельных круговоротов веществ.

В современной системе хозяйства ресурсов отводится определенная стоимость, и их нерациональное использование (внесение удобрений, поливы и т. д.) экономически для хозяйства невыгодно, что должно стимулировать поиск экологически оправданных форм и методов ведения сельского хозяйства. Улучшение ситуации при таком подходе определяется бездефицитным балансом органических веществ в почве и питательных элементов в верхнем слое почвы, что способствует поддержанию замкнутого круговорота отдельных веществ и элементов по типу природных сообществ. Это дает возмож-

ность получать высокий урожай без увеличения площади посевов. Так, в Соединенных Штатах за последние годы выделено до 20 % общей площади пашни под многолетние травы. Поскольку уже сейчас около 1/3 суши используется под сельскохозяйственные посевы, такой подход использования земли имеет большое значение.

Два или больше видов в летней функционально взаимосвязаны по нескольким направлениям – в форме паразитизма, когда связь вредна одному из организмов, или форме мутуализма, если связь успешна для всех участников симбиоза. Основой для возникновения симбиогенного развития видов организмов могут быть трофические (питание одного из организмов за счет выделения отдельных веществ), а также пространственные (существование на поверхности или внутри тела другого), совместное использование нор, раковин и другие типы взаимоотношений. Между видами выделяют несколько типов симбиоза – мутуализм, паразитизм, комменсализм. В аграрных ландшафтах в отношениях между видами яркие проявления симбиогенеза не так уж часты и особенно глубоко не проявляются. Тем не менее многие формы между ними проявляются и достаточно широко изложены в первой главе (Кураков, Белюченко, 1990; Донец и др., 2000).

Направленность в развитии агроландшафтов к диверсификации (разнообразию) является основным ключом к пониманию перспектив создания устойчивых, продуктивных и экономичных систем. Увеличение диверсификации выступает одной из стратегических в экологических и социальных проблемах развития сельского хозяйства. Рассматривается несколько вариантов диверсификации агро-систем, но наиболее перспективным считается введение в практику земледелия совместных посевов, включающих несколько видов культурных растений и имеющих ряд преимуществ перед чистыми посевами – эти вопросы обстоятельно изложены во второй главе (Муравьев и др., 2008).

В агросистемах структурное видовое многообразие может поддерживать многие процессы физики и химии почвы, а также биологическую форму отношений различных видов организмов. Возделывание различных культур в совместных посевах заметно влияет на характер развития отдельных видов растений. Отмечается взаимосвязь между способом посева, агротехникой и видовым и популяционным составом микрофлоры почвы, ее мезофауны, урожаем

сухого вещества растений и продуктивностью их зерна. Чистые посе- вы, в отличие от природных, слабо адаптированы, имеют меньше возможностей трансформации веществ и энергии и потому больше подвержены стрессам. Именно биологическое и структурное разно- образие в совмещенных посевах может поддерживать в агросисте- мах многие процессы, свойственные природным системам, чему и посвящена третья глава нашей работы (Belyuchenko, 2005; 2015).

Условия для саморегулирования аграрных ландшафтов бази- руются на основе взаимодействия между их составляющими. До- биться этого можно при условии, что агросистема по типу природ- ной будет отличаться разнообразием в видовом и трофическом от- ношениях. Иными словами, биологическое и структурное разнооб- разие агросистем и будет поддерживать многие циклические про- цессы, свойственные природным системам. В четвертой главе об- суждаются общие вопросы экологического плана при развертыва- нии совмещенных посевов полевых культур в севообороте (Belyuchenko, 2014).

Аграрный ландшафт, включающий продовольственные культу- ры, лесные полосы и почвенный покров, на основной части которо- го естественная растительность заменена посевами сельскохозяйст- венных растений, без вмешательства человека долгое время сущест- вовать не может в силу отсутствия способности к саморегуляции и высокой продукцией не отличается. Сложный компост, представ- ляющий собой почвоподобное образование с высоким содержанием органического вещества и нейтральной реакцией почвенного рас- твора, включает большое количество полуторных окислов. В его создании участвуют живые организмы, продукты жизнедеятель- ности которых выполняют цементирующую роль в объединении почвенных частиц (Белюченко, Волошина и др., 2006).

Микроскопические грибы и одноклеточные водоросли не толь- ко склеивают различные частицы почвы выделяемыми полисахари- дами, но и укрепляют их механически через переплетение своими гифами и нитевидными талломами. Функциональные роли микро- организмов определены азотфиксаторами, нитрификаторами, де- нитрификаторами, аммонификаторами и другими трофическими группами, которые создают основу питания высших растений и оп- ределяют в основном физико-химические свойства верхнего слоя почвы. Сложный компост, включающий отходы растительности и

животного мира, определяет специфику саморегуляции своего развития и особенности верхнего слоя почвы. Эти и другие особенности физико-химических свойств почвы поддерживают функционирование смешанных посевов растений, основные проблемы которых изложены в пятой главе (Белюченко и др., 2006).

Основную работу по проведению исследований отходов различных производств выполнили доктор сельскохозяйственных наук В. Н. Гукалов, кандидаты сельскохозяйственных наук Д. А. Антоненко и В. В. Гукалов, кандидаты биологических наук О. А. Мельник и Ю. Ю. Никифорова, подготовившие научные работы и защитившие их в различных советах г. Москвы. Многие данные исследований авторов использованы нами при изложении отдельных вопросов в некоторых главах работы. Будем надеяться, что проведение научной конференции и подготовка монографии будут способствовать успешному развитию одного из важных направлений, рассматривающих совмещение посевов, как серьезный способ повышения устойчивости и продуктивности агроландшафта.

Неоценимую помощь в подготовке монографии оказали Л. С. Новопольцева, В. В. Корунчикова, Л. Н. Ткаченко и другие сотрудники кафедры общей биологии и экологии.

Глава 1. ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ СИМБИОГЕННОГО РАЗВИТИЯ ОРГАНИЗМОВ

Проблема прогрессивного развития органического мира (арогенез) сегодня является одной из центральных в эволюционной экологии и биологии. К настоящему времени с достаточной полнотой изучены критерии прогрессивной эволюции, основные ее формы и закономерности, внешние и внутренние условия осуществления, особенности движущих сил и т. д. Особое место в проблеме прогресса принадлежит вопросу об усложнении их организации. Изучение этого феномена, обсуждение причин и факторов, его вызывающих, занимают значительное место в истории эволюционной биологии в последарвиновский период (Белюченко, 1985; 2001; 2005).

Явление симбиогенеза, по всей видимости, имеет давнюю историю и проявилось, очевидно, с возникновением уже в океане разнотипных организмов. Наиболее активно и широко процесс симбиогенеза развивался с выходом растений и животных на сушу (рисунок). С появлением млекопитающих животных и покрытосеменных растений этот процесс усилился и ускорился. Именно этим объясняется тот факт, что и сегодня проявляется зависимость существования одних организмов от других в той или иной степени: примерно 75 % видов высших растений и 90 % видов животных находятся в той или иной симбиогенной зависимости от других таксонов. Достаточно хорошо обосновано представление, что усложнение организации в ходе исторического развития осуществляется путем постепенного накопления мелких, наследственно закрепленных изменений (Белюченко, 1969; 1970). Длительный аккумулятивный процесс идущих шаг за шагом изменений приводит к дифференциации и расчленению ранее единой системы, части которой в дальнейшем все более обособляются друг от друга. Селективным накоплением множества мельчайших наследственных изменений достаточно убедительно объясняется возникновение таких сверхсложных образований, как организмы сверхсложных консортивных образований высших рас-

тений и животных, особенно в агроландшафтных системах (Благовещенский, 1966; Тахтаджян, 1970; Белюченко, 1997).



Рисунок 1 – Динамика симбиогенной эволюции организмов

Однако для теории эволюции важно было бы доказать, что существует более простой и эффективный путь усложнения организации индивида. В течение долгого времени обсуждается возможность эволюции путем внезапных макромутаций или системных мутаций, но реальность этого пути до сих пор не только не доказана, но и становится все менее вероятной (накапливается все больше данных о тяжелом повреждающем действии таких мутаций, делающем их носителей не только мало приспособленными и неконкурентоспособными, но и нежизнеспособными) (Белюченко, 2011; Белюченко и др., 2012).

Иначе обстоит дело с возможностью усложнения организации через объединение уже готовых «блоков» в процессе нарастающей связи и интеграции организмов – компонентов симбиотической системы, т. е. путем симбиогенеза. Своеобразие этого способа эволюции было глубоко проанализировано А. Л. Тахтаджяном (1973) при рассмотрении им происхождения эукариотической клетки как процесса «сборки» сложной системы из уже в значительной степени готовых «деталей».

Мысль о постепенном соединении двух или нескольких симбионтов в единую, но более сложную систему организменного уровня очень заманчива, так как каждый из таких компонентов уже доказал

свою приспособленность в течение всей предшествующей истории. Вопрос заключается в выяснении того, насколько распространен в природе данный способ усложнения: является ли он частным фактором эволюции, действующим при образовании отдельных таксонов (таких, как лишайники), или же имеет значение общего фактора, связанного с возникновением целых стволов эволюции (как, например, эукариоты) (Белюченко и др., 2014; Белюченко, 2015; Антоненко и др., 2015).

Явление соприспособления разнородных организмов и его причинная обусловленность, исследование форм сожительства и распространения их в растительном и животном мире, анализ характера взаимоотношений между компонентами симбиотических ассоциаций и адаптаций в строении и функциях симбионтов давно интересовали и продолжают интересовать представителей самых разных биологических специальностей. В истории изучения симбиоза известны разные подходы к определению биологической сущности этого явления. В рамках небольшой статьи трудно проанализировать все существующие толкования симбиоза. Мы ограничимся лишь самой общей его характеристикой (Белюченко, 1994; 1999).

Прежде всего отметим, что явление симбиоза относится к категории взаимоотношений организмов, складывающихся между представителями разных филогенетических групп. Симбиоз – это такая форма взаимодействия между разнородными организмами, когда совместное существование обеспечивает партнерам значительное селективное преимущество. Адаптивная ценность симбиоза определяется тем, что, вступая в сожительство, организм оказывается лучше приспособленным к среде благодаря использованию особенностей, которые уже имеются у его партнера. Симбиоз представляет собой эффективный способ приспособления организма к окружающей среде. Организм при симбиозе «как бы пополняет отсутствующие у него способности, необходимой для приспособления к данным условиям существования, путем объединения с другим организмом, у которого эти особенности имеются». В одних случаях симбиоз имеет значение для лучшего приспособления к питанию, в других – для обеспечения интенсивного дыхания или для усиления энергетических процессов, передвижения, защиты от врагов и т. п. (Belyuchenko, 1964; 1969; Белюченко, 1969; 1999)

Известны исключительно многообразные формы симбиоза. Вместе с тем для всех случаев симбиотических отношений характерна одна общая черта – наличие определенной связи между партнерами. Сопоставление форм сосуществований по степени связи между партнерами показывает, что может быть выделен ряд основных ступеней объединения организмов. Во-первых, это случаи ассоциаций, характеризующихся относительно малой степенью связи партнеров. Таковы взаимоотношения между муравьями-листорезами и культивируемыми ими кормовыми грибами *Septobasidium*, между цветковыми растениями и насекомыми-опылителями или случаи так называемого очистительного симбиоза у рыб и другие подобного рода связи, складывающиеся между членами одной консорции (Белюченко, 1975; Якушев, Белюченко, 1975; Бондарева, 1989; Каратыгин, 1993).

Наименьшая связь между членами сожительства наблюдается при некоторых случаях синюкии. Все сходные виды объединений организмов представляют собой по существу биоценоотические отношения организмов в их типичной форме. Следующая ступень объединения организмов охватывает сожительства со значительно большей связью между компонентами. Такие симбиозы представляют собой более тесно и прочно связанные ассоциации. Хорошими примерами подобного типа сожительства может быть симбиоз рака-отшельника (*Pagurus arrosor*) и актинии (*Calliactus parasitica*), некоторые виды из многочисленной группы растений-эпифитов, внеклеточный эндосимбиоз колониальной синезеленой водоросли *Woronichinia naegliana*, в слизи которой обитают другие синезеленые водоросли (*Lyngbya endophytica* или *Synechocystis endobiotica*).

У таких симбиозов, несмотря на более тесную связь, отсутствуют еще какие-либо признаки морфофизиологического единства, никак не проявляется организменная целостность симбиотического комплекса и соподчиненность составляющих его компонентов (Белюченко, 1976а, б; 1970; Работнов, 1979; Селиванов, 1981).

Значительно более продвинутыми по степени объединения партнеров являются типы сожительства, в которых один из организмов преобразуется так, что функционально становится звеном в обмене веществ другого организма. Таков, например, симбиоз жгутиконосцев и термитов, в кишечнике которых обитают эти простейшие. Обладая необходимым набором ферментов для расщепле-

ния клетчатки, которой питаются термиты, жгутиконосцы осуществляют важнейшую функцию сожительства с ними организма. Симбиотическая связь поистине становится органической частью единой системы. Важно отметить, что такая связь приводит к образованию специального механизма, поддерживающего существование и непрерывность всей системы. В основе этого лежит особая форма инстинктивного поведения термитов (инстинкт слизывания). Другим примером установления физиологической связи могут служить взаимоотношения между инфузориями из семейства *Ophryoscolecidae* и жвачными животными, в рубце которых обитают эти симбионты (Белюченко, 1978; 1979).

В некоторых случаях один из организмов-симбионтов становится конструктивной частью организации своего партнера (например, цитоплазматические включения простейших, кишечнополостных, ресничных червей и других). Наиболее тесная взаимосвязь организмов характеризует сожительство такого типа, которое создает возможность отнести его к этапам становления нового комплексного организма, жизнь которого регулируется единым физиологическим механизмом и обслуживается вновь возникшими органами (например, представители таксона лишайников). Понимание симбиоморфоза как явления эволюционного образования путем симбиоза замкнутой живой системы, имеющей свою внутреннюю среду с характерным обменом веществ и способной размножаться как единое целое, благоприятствует признанию реальности процесса симбиогенеза (Белюченко, 1979).

Выявление ряда последовательных ступеней перехода от рыхлых ассоциаций, в которых компоненты связаны биоценотическими взаимоотношениями, ко все более глубоко и тесно связанным сожительствам и далее к целостным биологическим системам организменного типа с физиологическими связями между частями-симбионтами позволяет представить эволюцию путем симбиоза (симбиогенез). Такой процесс оказывается возможным потому, что каждая ступень объединения разнородных организмов является формой приспособления к условиям жизни и может быть биологически полезной в борьбе за существование. Движущей силой такой эволюции должен быть признан групповой отбор, идущий на повышение степени связи и интеграции симбиотической системы (Belyuchenko, 1985; Белюченко, Каримов, 1985; Белюченко, 1986).

Фактическую основу для признания реальности процесса симбиогенеза может дать сравнительный анализ изменений в организации ряда сожителей в пределах определенной группы организмов. В настоящее время еще нет достаточных данных для того, чтобы построить полный ряд переходных форм. Однако в этом отношении положение существенно изменилось за последние 100 лет после начала серьезных исследований в этой области (Белюченко, Каримов, 1987; Дронов, Белюченко, 1987).

Наиболее изученной моделью процесса симбиогенеза, на наш взгляд, может служить эволюция группы слизистых лишайников, которые как объект для исследований путей эволюции показали, что эволюционный переход от взаимоотношений гриба и водоросли как компонентов биоценоза в качественно отличное состояние – организм лишайника – определялся последовательным усилением и совершенствованием связи между этими формами.

Группа слизистых лишайников интересна тем, что включает формы, в разной степени продвинутые по уровню связи между партнерами. На основании сравнительно-морфологического изучения преобразования внешнего облика слоевища и характера взаимоотношений компонентов в пределах этой группы четко прослеживаются последовательные ступени интеграции синезеленых водорослей из семейства *Nostocaceae* с гифами гриба, эндофитирующего в слизи этих водорослей. Очень часто связь между этими организмами носит характер случайного соответствия, случайного внедрения гриба в слизь водорослей, и поэтому бывает затруднительно установить появление настоящего слизистого лишайника. В этих случаях взаимоотношения вступивших в контакт организмов по существу ничем не отличаются от факультативных взаимосвязей между популяциями грибов и водорослей как компонентов экосистемы (Белюченко, 1989; Туманян и др., 1989; Белюченко и др., 1990).

В ряде форм слизистых лишайников, постепенно усложняющихся по степени связи между партнерами, наиболее примитивной формой является лишайник *Leptogium issatschenkoi*, у которого связь между компонентами настолько слаба, что по существу она не влияет на формирование морфологического облика симбиотического слоевища. Таллом этого лишайника сохраняет форму пластинчатых колоний, характерных для некоторых модификационных форм *Nostoc commune*, одна из которых принимает участие в образовании этого лишайника; гриб,

эндофитирующий в слизи ностока, не вызывает существенных изменений в его строении – клетки ностока здесь собраны в цепочковидные трихомы, как у свободно живущих форм этих водорослей. Соредии у этого вида лишайника весьма несовершенны и возникают в толще слоевища путем обособления слизи вокруг нескольких трихом ностока, которые, разрастаясь, образуют изолированные колонии. Частое распадение и восстановление этого лишайника также говорит о его примитивности (Белюченко, 1989).

Несколько продвинутым, но все же еще очень примитивным типом является подводный слизистый лишайник *Collema ramenskii* Elenk. Здесь, несмотря на то, что водоросль (*Nostoc zetterstedtii*) остается преобладающим компонентом в сожительстве, влияние грибного компонента оказывается весьма сильным. Углубление связи между участниками этого симбиоза проявляется во внешней организации слоевища лишайника, которое вместо дольчато-шаровидной формы, характерной для колоний водоросли, приобретает вид глубоко изрезанной на узкие ветвящиеся лопасти пластинки с загнутыми вверх и вниз краями; происходит дезорганизация трихомов: клетки ностока обособлены друг от друга и имеют вид кокков, собранных в конгломераты, особенно типичные по периферии слоевища (Белюченко, 1990; Иванов и др., 1990).

Следующим в ряду постепенно нарастающей интеграции компонентом может служить гомемерный лишайник *Synalissa (Pyrenopsis) conferta*. У этого вида установление более тесной связи происходит благодаря внедрению гиф микобионта в толстые слизистые покровы синезеленых водорослей из рода *Gloeocapsa* и прикрепления их к протопласту. Таким образом, гриб является эндосапрофитом (Белюченко, Кураков, 1990; Белюченко, Подаруева, 1990; Белюченко, 1990).

Продвинутой с точки зрения формирования слоевища, но отличающейся примитивным типом отношений между компонентами является *Saccomorpha arenicola*. Черное накипное слоевище этого лишайника состоит из септированных ветвящихся гиф гриба и плотных темно-коричневых склероциеобразных тел, окружающих нити синезеленой водоросли из рода *Stigonema*. Однако взаимоотношения между компонентами еще весьма примитивны: они далеки от состояния длительного эндопаразитосапрофитизма, поскольку здесь имеет место резко выраженный паразитизм гриба, приводя-

щий к дезорганизации и отмиранию водоросли. Для поддержания своего существования этот лишайник постоянно должен включать новые особи стигонемы.

Более усложнившийся тип отношений между симбионтами наблюдается у лишайника *Pseudoperithea murmanica*, для которого характерна смягченная форма паразитизма, выражающаяся в образовании особых «питающих» очагов, внутри которых водоросли потребляются грибом. За пределами «питающих» очагов дезорганизации и отмирания клеток водоросли не происходит. Здесь осуществляется еще один шаг к установлению наиболее совершенных взаимоотношений между компонентами и к длительному эндопаразитосапрофитизму (Белюченко, Мокрецов, 1991; Мокрецов, Белюченко, 1991).

Таким образом, сравнительное изучение симбиозов в пределах слизистых лишайников хорошо показывает, что возникновение настоящего лишайника – это сложный эволюционный процесс, в котором ведущую роль играет усиление и усложнение взаимосвязи между составляющими компонентами. Этот процесс находит отражение прежде всего в структурных преобразованиях лишайникового слоевища и изменениях характера питания симбионтов.

Хорошо изученным фактом, свидетельствующим о реальности процесса симбиогенеза, является также возникновение новой сложной жизненной единицы – микоризы – через соединение в симбиозе корней высших растений с гифами грибов. О реальности симбиогенеза говорит также факт существования у растений и животных симбиотканей и симбиорганов, т. е. разнообразных по строению и функциям тканей и органов, возникновение которых обусловлено присутствием и жизнедеятельностью организмов-симбионтов.

К числу данных, свидетельствующих в пользу реальности симбиогенеза, но имеющих меньшую степень доказательности, могут быть отнесены результаты исследований морфологических преобразований и функциональной специализации компонентов в ряду таких эндоцианозов, как *Geosiphon pyriforme* – *Glaucozystis nostochinearum* – *Cyanophora paradoxa*. Кроме этого, экспериментальный анализ специфических особенностей важнейших органелл клетки – хлоропластов и митохондрий (автономность поведения, наличие собственной ДНК и белоксинтезирующей системы), а также результаты сравнительного анализа их признаков и свойств с

признаками и свойствами синезеленых водорослей и бактерий подтвердили глубокое сходство между ними.

Для разработки фактической аргументации в пользу симбиогенеза исключительный интерес представляют материалы о природе плазмид и механизмах переноса ими генетической информации в мире прокариот, данные о природе цитоплазматических, генетически контролируемых включений у простейших (каппа-частицы, частицы мю, лямбда и др.). Большое значение имеет изучение функциональной активности хлоропластов в клетках беспозвоночных животных, а также анализ первичной структуры ДНК у представителей разных систематических групп растений и животных (Белюченко, 1991; Белюченко, Подаруева, 1992).

Живые организмы возникали, развивались и совершенствовались при широком взаимоотношении (сопряжено) друг с другом в различных экологических системах (от локальных сообществ до ландшафтов крупных регионов). В результате сопряженного развития организмов формировались, развивались и эволюционировали экосистемы, что отражалось на их видовом составе, динамизме, структуре и функциях. Именно сопряженность организмов из близких и далеких друг от друга (морфологически, экологически, физиологически, генетически, функционально) таксонов обусловила возможность существования весьма разнообразных в зональном и пояском вариантах экологических систем с определенным видовым составом (Кариов, Белюченко, 1988; Дронов, Белюченко, 1988).

В каждой экологической группе обособились виды организмов, включая высшие растения (производители энергии), а также трофически и топически связанные с ними различные группы грибов, бактерий, животных, объединенные в такие функциональные группы, как автотрофы, биотрофы, сапротрофы и эккрисотрофы. Сопряженность развития столь разнообразных группировок обусловила выработку определенной системы взаимоотношений как между таксономически отдаленными организмами, так и между различными таксономически близкими группами (популяциями, видами, родами) в определенных условиях местообитания, что, естественно, не могло не сказаться в целом на структурном разнообразии экологических систем (Белюченко, 1991; 1992; Блевуси, Белюченко, 1992).

Сопряженность в развитии организмов определила не только общие принципы построения тех или иных систем, но и их сезонное

и погодичное развитие. Сопряженность эволюционного развития организмов предопределила в прошлом и определяет сейчас освоение организмами различных экологических ниш и более эффективное использование отдельными видами основных ресурсов (Белюченко, 1991; 1992; Белюченко, Сайко, 1992).

Развитию различных направлений сопряженной эволюции организмов и формированию разнообразных систем способствовали широкие вариации условий на нашей планете (на суше, в воде и воздухе), что выразалось в появлении новых субстратов, выделении поверхностных пресных и слабо засоленных водоемов, равнинных и горных рельефов и т. д. Иными словами, сопряженная эволюция организмов проходила в условиях непрерывных метеорологических, экологических, географических и геологических изменений, происходивших в течение относительно короткого (сукцессии), так и довольно длительного временного периодов (филогенез), что в итоге привело к выделению видов различных таксонов (бактерии, грибы, растения), способных осваивать новые (освободившиеся) экологические ниши. В процессе эволюции степень связи между симбиотирующими организмами может изменяться. В эволюции множества экосистем эти изменения происходят все время на биоценотическом уровне. В отдельных же случаях эволюционные преобразования симбиотических связей заходят столь далеко и интеграция компонентов становится такой глубокой, что биоценотические отношения перерастают в физиологические, а компоненты становятся частями (тканями, органами) нового комплексного индивида, т. е. возникают симбиогенные формы жизни (Белюченко, 1991; 1992; Иванов, Белюченко, 1992).

Симбиоз. Из изученных в РФ и сопредельных государствах 3425 видов сосудистых растений 79,1 % имеет микоризу; образуют микоризу 100 % голосеменных и 77,5 % покрытосеменных. В растительном мире распространена в основном везикулярно-арбускулярная эндомикориза и чехольчатая эктомикориза; два других типа микориз (микориза орхидных и эрикоидно-арбутоидная) распространены сравнительно мало (Белюченко, 1991; 1992; Белюченко, Коростелева, 1993).

Симбиотическая форма взаимоотношений автотрофов с бактериями, грибами и актиномицетами имеет мутуалистическую основу: гетеротрофы снабжают растения азотом (азотфиксаторы), фосфором

и другими веществами (микоризообразователи), а растения обеспечивают гетеротрофные симбионты энергией. Симбиотрофия, как явление, имеет, по-видимому, большое значение в развитии экосистем. Например, микоризные грибы в силу специфики их физиологических особенностей повышают долю растворимых форм фосфора и ряда других веществ как из минеральных соединений этих элементов, так и при разложении органических остатков. Это способствует повышению содержания отдельных элементов в растительных тканях, а также в гетеротрофах, питающихся такими тканями (Белюченко, 1992; Belyuchenko, 1993; Белюченко, Шаталова, 1999).

Повышение содержания отдельных элементов в различных звеньях экосистемы способствует ускорению и усилению круговоротов этих веществ, усиливает разложение органических остатков, существенно влияет на развитие в целом экосистем. Распространение симбиотрофии автотрофов с грибами и бактериями является результатом их сопряженной эволюции, что, по всей видимости, не имело столь глобального размаха в древние времена, когда конкурентные отношения были менее выражены, а вышедшие на сушу организмы, имея мало эффективную трофику, существовали в основном отдельными таксонами. С усилением конкуренции высшие растения находили себе такие формы симбионтов, которые повышали их конкурентоспособность за условия жизни (Белюченко, 1993; 1994; Белюченко, Шаталова, 1994).

Наибольшее распространение получило в природе развитие симбиотических взаимоотношений муталистической формы (между высшими растениями, с одной стороны, бактериями, грибами и актиномицетами, с другой, а также между высшими растениями, копытными животными и насекомыми), на основе которых формируются и развиваются жизненно важные энергетико-вещественные отношения. Роль таких форм отношений и роль функциональных групп организмов и их соотношений оказали немаловажное влияние на становление отдельных ландшафтных систем в прошлом и в их развитии в настоящем (Белюченко, 1993; 1994).

Немало сведений, подтверждающих положительное влияние грибного симбионта (эндо- и экзомикоризообразователя) на характер развития и продуктивность автотрофа через улучшение питания последнего водой, фосфором и другими веществами. К эндомикоризной группе относятся многие многолетние травы, кустарники и

деревья тропиков и субтропиков, где подстилка практически не накапливается в силу ее быстрого разложения (высокая влажность и высокая температура), а к экзомикоризной – лесные породы умеренной зоны, где образуется нередко мощная подстилка, сохраняющаяся в течение длительного периода времени (Кураков, Белюченко, 1994; Kurakov et al, 1994; Белюченко, Погодина, 1998).

Микориза слабо выражена у гидро- и гигрофитов, а также у разных форм осок, что, очевидно, объясняется спецификой их эволюции в определенных условиях среды (обычно переувлажненных, бедных свободным кислородом, мало пригодных для развития микоризообразователей). На примере симбиотически связанных с азотфиксирующими бактериями бобовых растений (*Fabaceae*) можно проследить специфичность у них бактериотрофии: 93 % видов бобовых образуют клубеньки, у мимозовых (*Mimosaceae*) – 87 % видов, у цезальпиниевых – только 22,6 % видов (Белюченко, 1994; 1995; Белюченко, Швыдкая, 1998; Назарько, Белюченко, 2000).

Наиболее архаичной группой порядка бобовых считаются мимозовые, а по выраженности бактериотрофии они приближаются к семейству бобовых. Всего бактериотрофных видов в группе бобовых около 10 тыс. видов. Атмосферный азот воздуха фиксируют также автотрофы, симбиотически связанные с актиномицетами. Сюда относятся 8 семейств: *Betulaceae*, *Casuarinaeae*, *Myricaceae*, *Rhamnaceae*, *Elaeagnaceae*, *Cariaceae*, *Rosaceae*, *Ericaceae*, из которых известно около 140 видов, включая ольху, лох и облепиху, способных фиксировать азот воздуха за счет бактерий-симбиотрофов. Представители этих семейств в природе распространены широко на всех материках, а многие из них являются растениями-пионерами, заселяющими нарушенные территории, вновь отложенные песчаники, галечники и т. д. (Белюченко, 1999; 2000)

Есть немало растений, вступающих в симбиотрофные отношения и с грибами, и с бактериями. Известны случаи симбиоза автотрофов с бактериями, которые не могут фиксировать азот атмосферы. Например, на листьях некоторых *Rubiaceae*, *Myrsinaceae*, *Dioscoreaceae*, *Poaceae* бактерии образуют желвачки, а некоторые виды лисохвостов формируют клубеньки на корнях. Полагают, что в таком симбиозе бактерии индуцируют образование ростовых веществ цитокининов, что благоприятствует развитию автотрофов (Белюченко и др., 2000).

В целом можно полагать, что в процессе эволюции растений наибольшее значение в становлении экосистем имела микотрофия, а затем и бактериотрофия. Большая роль микотрофии, очевидно, обусловлена энергетически более экономным вариантом симбиоза автотрофов с грибами, работающими на себя и на растение, тогда как бактерии работают на себя, на растение и еще обогащают почву азотом, что активизирует работу сапротрофов и усиливает процессы нитрификации.

Микосимбиотрофия – явление более распространенное в сравнении с бактериосимбиотрофией, что объясняется, очевидно, широким присутствием в системах свободноживущих азотфиксаторов. Этим можно объяснить, что только небольшая часть видов сосудистых растений вступила в симбиоз с такими азотфиксаторами, как бактерии и актиномицеты. В природе широко распространен вещественно-энергетический союз: автотроф + бактерия (или актиномицет) + микоризный гриб (Belyuchenko, 2005; Пономарева, Белюченко, 2005).

Микориза, формируя на поверхности поглощающих корней растений гифы, увеличивает поверхность соприкосновения корней высших растений с почвой и повышает активность ионов ортофосфорной кислоты, отличающихся чрезвычайно низкой подвижностью в почве и потому быстро истощающихся в непосредственной близости от корней. Этим, очевидно, можно объяснить причину отсутствия микоризы у большого числа видов (примерно у 20 %). Возникновение микоризы было связано, вероятно, со сложным положением растений на бедных растворимыми фосфатами почвах; только присутствие грибов, способных вегетировать в симбиозе с растениями и активно обеспечивать их фосфором, благоприятствовало освоению растительными видами таких территорий (Belyuchenko, 2005; Белюченко, 2005).

Микосимбиотрофия в мировой флоре свойственна примерно 250 тыс. видов высших растений, а бактериотрофия – только 10 тыс. видов, что объясняется возможностью обеспечения первых фосфором, а вторых – азотом. В результате деятельности свободноживущих азотфиксаторов, входящих в состав всех экосистем суши, высшие растения получают азот. Этим можно объяснить ограниченность симбиоза растений с азотфиксаторами (бактериями и актиномицетами) и использование менее затратной формы взаимосвязей автотрофов с азотфиксаторами. Вполне возможно, что все симбиотически связан-

ные с бактериями или актиномицетами растения формируют свою микоризу. Гриб улучшает питание фосфором (возможно, и другими элементами) автотрофа и бактерий и тем самым усиливает азотфиксацию, что положительно сказывается и на развитии самого гриба (Белюченко, Боташева, 2003; Белюченко, 2003).

Отсутствие микоризы у отдельных растений объясняется возникновением и развитием их предков в условиях их обеспечения фосфорными веществами, а в настоящее время – ростом на богатых почвах (например, крапива и другие растения); происхождением их предков в обеспеченных влагой почвах с растворенными фосфатами, где растения могли самостоятельно их использовать в достатке; отсутствием подходящих симбионтов или условий для симбиоза и развитием у части растений (например, горчица и гречиха) способности без помощи гриба использовать фосфор из труднорастворимых фосфатов; накоплением у некоторых видов растений алкалоидов или других ядовитых веществ против паразитарных или хищных организмов, что не способствовало микоризообразованию; неблагоприятными для микоризообразователей природными условиями (засуха, низкие температуры, бедные почвы и т. д.) (Белюченко, 2002; Глазунова, Белюченко, 2002).

Козволюция растений и грибов. Независимо от растений и животных, третьим стволom в эволюции эукариот ученые считают появление грибов в раннем докембрии. Некоторые авторы полагают, что указанные стволовые линии (растения, животные и грибы) уже были в памяти предбиологических систем. Появление эукариот с ядром и ядерной оболочкой соотносят с периодом появления в воздухе свободного кислорода в достаточном количестве (это произошло примерно 1,5–2,0 млрд лет назад); первые эукариоты были в составе планктона. Грибы, а также бактерии и цианобактерии (синезеленые водоросли) уже в середине рифея сформировали вполне обособленные направления в развитии органического мира и обусловили их параллельное развитие (Белюченко и др., 2007).

Древнейшим ископаемым из эукариот является дрожжеподобная система с абсорбтивной и гетеротрофной системой питания и гифальными (нитчатыми) структурами, напоминающая некоторых представителей современного рода *Candida*. Грибоподобные организмы обнаружены в докембрийских строматолитах, возраст которых 1,3 млрд лет; они близки к дрожжевым и мукоровым. В биоте

венда были представлены грибы с многоклеточными животными, актиномицетами и первыми споровыми растениями. Пищевые цепи этого периода в складывающихся системах были короткими при слабом развитии разрушителей органического вещества (Дзыбов, Белюченко, 2007).

Объективно доказано развитие грибов по находкам в остатках фауны моллюсков в позднем докембрии. Уже тогда грибы формировали сопряженные с другими организмами ассоциации. Происхождение эукариот по времени совпадает с происхождением прокариот. Наиболее примитивной формой среди эукариот является грибная клетка. Бактериальное происхождение грибов через дрожжеподобную форму рода *Protomyces* имеет как своих сторонников, так и оппонентов (Алифилов и др., 2007; Белюченко, 2007; Белюченко и др., 2007).

Ранние прокариотические системы складывались в период 3,7–2,0 млрд лет назад. Можно предполагать, что еще на ранней стадии формирования грибов между ними и другими организмами возникали сложные связи (трофические, поведенческие и др.) и формировались более сложные системы, чем прокариотические. Вещественно-энергетические цепи в прокариотических системах не совсем ясны, но, по всей видимости, они носили упрощенный характер при небольшом видовом разнообразии. Бактерии, очевидно, отличались широкой физиологической активностью и выраженной полифункциональностью (Белюченко и др., 2007; Белюченко, Волошина, 2007).

Образование эукариотных гетеротрофов с осмотротрофным вариантом питания увеличивало многообразие видового состава существовавших сообществ и способствовало обособлению в системах пищевых цепей сапрофитного, сапробиотрофного и биотрофного типов. Происхождение грибов связывается с их зарождением не в океанах, а во внутриконтинентальных водоемах. Допускается вариант паразитизма или сапротрофизма на почвенных водорослях еще в докембрийский период (по типу современных лишайников). Многообразие способов питания грибов объясняется существованием для них двух разных форм субстрата (живого и неживого), вызвавших формирование у грибов разнообразных ферментных систем, а также широкое расхождение грибов по физиолого-биохимическим характеристикам (Щербина, Белюченко, 2007; Алифилов и др., 2007).

Эукариотическая структура – это эндосимбиотический союз прокариот, между которыми еще на раннем этапе зародились анта-

гонистические (эндопаразитические) отношения. Согласно теории симбиогенеза, первичные грибы, для которых наряду с абсорбтивно-сапротрофным вариантом питания развивался и биотрофный, приобрели самые разносторонние формы отношений с представителями других царств. Поскольку в настоящее время не обнаружены эндосимбиотические отношения между прокариотами, то трудно предполагать, что они были в прошлом. Кроме того, практическое отсутствие свободно живущих форм эукариот (что является базисом симбиотрофизма) в докембрийские эпохи не дает оснований говорить о симбиотрофизме и у прокариот. Что касается симбиотрофизма между грибами и растениями, то их истоки несомненно берут начало еще в докембрии при постепенном обособлении роли грибов в формирующихся экосистемах в качестве редуцентов: сапро- или биотрофов (Чермит, Белюченко и др., 2008; Белюченко, Щербина, 2008; Муравьев, Белюченко, 2008).

Изначальными механизмами, которые определили стратегию сопряженного развития растений и грибов на первых этапах формирования сообществ, явились биохимические: специфичный набор и активность их ферментных систем. В последующие периоды «сотрудничества» грибов и растений, сопровождавшегося сопряженностью эволюции представителей этих двух царств, их отношения совершенствовались, дивергировали и развивались по нескольким направлениям – мутуализму, паразитизму и нейтрализму. Одним из вариантов объяснения такого феномена, как выход и распространение растений по разным экотопам суши, является их сопряженное развитие и расширенное содружество с грибами в освоении новых местообитаний, благодаря, скорее всего, их симбиотической форме взаимоотношений (Муравьев и др., 2008; Белюченко, 2008).

Выход растений на сушу произошел, очевидно, в ордовике – силуре с последующей их экологической и таксономической дивергенцией, что особенно ярко проявилось в девоне. Развитие сосудистых растений приходится на временной период силур – девон, к которому относится формирование около 30 видов, сохранившихся до конца девона и приобретших значительные изменения, особенно в плане усложнения их организации, адаптивности, внутренней и внешней структур. Самым важным приобретением растений этого периода явилось развитие их глубоких связей с субстратом (почвой), что заметно ускорило их эволюционный процесс. К концу де-

вона в царстве живых систем фактически выработались основные таксоны и экологические формы растений (за исключением цветковых). К этому периоду относится также появление лесов и «поход» растений от прибрежных территорий внутрь континента с целью освоения свободных пространств (Белюченко и др., 2007; Щербина, Белюченко, 2007).

Выход растений на сушу и их расселение в девоне многими исследователями связывается с возникновением и закреплением определенных факторов, прежде всего экологического характера. К концу силура физико-химические свойства атмосферы Земли существенно изменились: повысилась в воздухе концентрация O_2 и озона (O_3), изменилась в ней концентрация CO_2 . На поверхности Земли начались почвообразовательные процессы, в основе которых лежали процессы выветривания верхнеслойных пород, их разрушение и распад вплоть до образования пылевой структуры, способствовавшей концентрации органических веществ, которые приходили на Землю с космической пылью. С другой стороны, расширяющееся разнообразие организмов в океане и их активная конкуренция за жизненные условия, а также выработка некоторыми организмами возможности прикрепляться ко дну мелких водоемов и существовать стационарно способствовали расширению биотопов. Все вместе взятые изменения и послужили тем комплексным фактором, который обеспечил возможность выхода растений на сушу (Алифиров и др., 2007; Муравьев, Белюченко, 2007).

Однако основным фактором, обеспечившим выход растений и животных на сушу, многие авторы считают уровень оксигенизации атмосферы (уровень содержания в ней O_2). Выдвинуто немало гипотез объяснения феномена выхода растений на сушу и дальнейшего их развития. Сформировавшиеся еще в океане сообщества морской зеленой водоросли и гриба, в которых гриб снабжал водоросль водой и минеральными веществами, а водоросль снабжала гриб энергией, могли быть в числе первых, осваивавших мелководья, а затем и сушу. В составе таких группировок могли быть зеленые водоросли, близкие современным *Coleochaete*. Ведущая роль в таких ассоциациях отводилась водоросли, которая разрасталась и вместе с тем постепенно дифференцировалась с вычленением проводящей системы и опорно-механических тканей. Грибной участник «сдруже-

ства», очевидно, вещественно поддерживал водоросль, способствуя ее адаптации в новых условиях (Белюченко, 2002; 2005).

В поддержку симбиотического варианта выхода растений на сушу, в частности водорослей в симбиозе с грибами, могут быть приведены примеры ассоциаций между современными водорослями и грибами, обитающими в воде. Фактически все примеры микофитобиоза в современных условиях присущи увлажненным местообитаниям. Особо следует подчеркнуть, что в настоящее время в сухих местообитаниях как водоросли, так и грибы раздельно или в симбиозе встречаются чрезвычайно редко (Муравьев и др., 2008). Этому феномену возможны два варианта объяснений:

1) на сушу вышли эукариоты более высокой организации, чем грибы, предварительно самостоятельно «освоив оседлый образ жизни» через прикрепление своего рода «присосками» к камням и грунту мелководий, оставшись и приспособившись к новой жизни после ухода моря и подъема суши;

2) растения вышли на сушу вместе с грибами, т. е. в симбиозе с ними; в качестве симбионта предполагаются представители водоросли *Charophyta* и грибы оомицетной группы.

Наиболее близкими к сосудистым растениям по целому ряду цитологических и биохимических признаков были представители харовых водорослей, которым свойственно наличие хлорофилла «а» и «b», образование запасного продукта крахмала, наличие гликолактоксидазы, хорошо развитых целлюлозных клеточных стенок, формирование фрагмопласта и т. д. У харофитов развита паренхима с гомойогидридными свойствами, оказывающими влияние на регуляцию скорости потери воды. Каждый из «участников содружества» был не способен существовать в условиях суши, но их совместное проживание было вполне возможно, поскольку партнерство представляло больше возможности выжить в столь необычной для каждого из них среде. В качестве примера можно привести симбиотическую ассоциацию нитчатой зеленой водоросли *Spirogyra* с патогенным оомицетом рода *Pythium*, встречающуюся в настоящее время в мелководных или полуводных местах (Белюченко, 2007; Белюченко и др., 2007).

Выход растений и животных на сушу представляет собой очень сложный функциональный и вещественно-энергетический процесс экосистемного уровня. Он послужил этапным событием в развитии биосферы в целом, которая в результате этого перестала быть одно-

полярной (односторонней) и перешла в ранг многовекторного варианта эволюции всего органического мира. По всей видимости, растения выходили на сушу и обосновывались несколькими путями, среди которых наибольшее значение могли иметь следующие (Белюченко и др., 2007; Муравьев, Белюченко, 2008):

1) симбиоз растений с представителями весьма пластичных групп отдаленных таксонов – например, с грибами (водоросли), с бактериями;

2) несимбиотический выход на сушу отдельных растительных видов, которые отличались весьма широким экологическим потенциалом, в частности автотрофным или хемотрофным типами питания, преобладанием аэробного типа клеточного дыхания над анаэробным, что способствовало освоению ими шельфовых водоемов, различающихся по глубине, солености, типам грунта (бентосные группы) и т. д.

Среди симбионтов были, очевидно, и сапротрофы, и эндофитные формы, переведшие затем свои отношения с другими организмами на уровень симбиотических или паразитических. Естественно, что бактерии, использовавшие выделения и грибов, и растений, вместе со своими «хозяевами» также вышли из океана на широкие наземные пространства, освоив различные горизонты вновь организующихся сообществ живых организмов, в которых постепенно шла специализация и выделение разных по трофике экологических групп – продуцентов, консументов и редуцентов. Нет сомнения, что на сушу вышли далеко не все организмы, в том числе и растительные. Некоторые формы бактерий освоили почвенный субстрат, а другие приспособились к аэробному типу питания и заняли ниши на поверхности почвы и на растениях (Алифиров и др., 2008; Белюченко, Щербина, 2008; Белюченко, 2008).

Из животного мира на сушу вышли представители типа членистоногих и первичнотрахейных, в меньшей степени – малощетинковых кольчатых червей. Подавляющая часть фауны осталась в океане. Из грибов могли выйти на сушу вместе с растениями аскомицеты, дейтеромицеты, жгутиковые и дрожжевые (и, менее вероятно, зигомицеты). Например, останки оомицетов найдены еще в силуре и кембрии; они обитали, очевидно, на растительных остатках прибрежных систем. Особого внимания заслуживает группа дрожжевых грибов, поскольку предположительно первой, хотя и примитивной,

эукариотной клеткой была именно аэробная дрожжеподобная клетка абсорбтивно-гетеротрофного способа питания без центриолей и жгутиков, но, очевидно, бактериального происхождения. Вышли на сушу также оомицеты и зигомицеты. Совершенно бесспорен тот факт, что в составе грибной флоры на сушу сумели выйти все экологические группы: паразиты, некрофиты и, конечно же, сапротрофы. Последние, кстати, могли выйти на сушу самостоятельно, без использования покровов тканей сосудистых растений или животных (Муравьев и др., 2008; Белюченко и др., 2008).

Многополярность средовых условий на Земле послужила мощным фактором естественного отбора и заселения развивавшихся и совершенствовавшихся форм, что затронуло практически все стороны жизнедеятельности биологических тел и выработку ими вариантов полифункциональности. Важным событием в развитии и грибов, и растений на рубеже ордовика и силура явился выход последних на сушу. Это обстоятельство существенно упрочило связи между грибами и растениями и в значительной степени определило и усилило зависимость их друг от друга. Предполагается, что на первых этапах развития растений на суше при значительном избытке ультрафиолета они испытывали заметную нехватку воды, минерального питания, углекислого газа и не имели еще тех широких адаптаций, какими владеют современные представители флоры (Белюченко и др., 2008; Белюченко, Муравьев, 2009; Белюченко, 2009).

Возможность успешного развития растений в таких условиях в значительной степени поддерживалась грибной флорой, которая оказала влияние на обособление формы и определенную специализацию в пределах общего габитуса растений, их проводящих и опорных структур. Предполагается, что лигнификация сосудов наземных растений явилась своего рода их реакцией на инфекционное воздействие грибов и что ранняя дифференциация проводящей системы расценивается как стратегия растений «перерастить» зависимость от гриба через усиление активности транспорта питательных веществ, что и послужило причиной морфологической эволюции растений и их гигантизма. Исследования ксилемных трахеид у разных растений на рубеже силура – девона показало постепенное нарастание диаметра сосудов, что свидетельствует об усилении гидравлического режима растений за счет увеличения доли ксилемы в тканях. Собственный каркас из лигноцеллюлозных структур имели

растения, вышедшие на сушу в позднем силуре, что усиливало их механическую прочность, поддерживало растения в прямостоячем состоянии в отличие от морских организмов, у которых эту функцию выполнял скелет из карбоната кальция или кремнезема (Белюченко и др., 2008; Белюченко, 2009).

Предположительно, выход растений на сушу был поддержан двумя типами изменений в гистологии и биохимии организмов: формированием сосудистой и устьичной систем и включением кутина и лигнина в состав клеточной стенки. По некоторым данным, у предковых форм сосудистых растений предшественником лигнина выступали фенольные соединения, поддерживавшие устойчивость растений к ультрафиолету и к биофагам. Некоторые авторы допускают зачатки преадаптивности к наземному образу жизни еще у водных нематофитов, на что указывают трахеидоподобные трубки и кутикула, которые обнаружены в отложениях верхнего ордовика. Подтверждением этого вывода является также тот факт, что клеточные стенки водорослей и мхов не содержат каких-либо близких по своим свойствам к лигнину компонентов (Белюченко и др., 2009; Белюченко, 2010; Попова и др., 2010).

Бактерии и грибы разрушают лигнин, но бактериальный процесс разрушения лигнина чрезвычайно длителен. Можно предполагать, что эволюция растений от простых, дихотомически ветвящихся лежачих форм к прямостоячим древовидным была ускоренной через совершенствование физиолого-биохимических процессов биосинтеза в направлении превращения первичных метаболитов в целлюлозу и лигнин, что имело огромное значение в становлении растительного царства на Земле, и в период от девона до карбона развитие растений шло в направлении гигантизма, формирования и преобладания деревьев. Следует отметить, что в ходе сопряженной эволюции грибов и растений при выходе на сушу грибы оказали определенное влияние на развитие сосудистых организмов (на их габитус, архитектуру, физиолого-биохимическое развитие и т. д.), включая образование опорных систем и развитие последними всасывающей функции с последующим превращением в корневые системы, что бесспорно способствовало освоению ими еще практически беспочвенной суши (Белюченко и др., 2009; Гукалов и др., 2010).

Выход растений на сушу создал совершенно новую ситуацию в биосфере – образование значительной массы органического веществ-

ва и создание на этой основе почвенного слоя на поверхности суровой минеральной суши, формирование круговоротов отдельных веществ и, что очень важно, энергетических потоков, усиление и расширение которых, естественно, ускоряло эволюционные процессы во всех звеньях формирующейся многовекторной и многосторонней биосферы. Достаточно эффективное накопление энергии на суше привело к огромной ее концентрации в отдельных регионах в виде угля, нефти, газа, торфа, а также гумуса в верхнем слое почвы. В девоне эволюция ускорила появление древесины у многих групп растений; менялась и стратегия грибов – увеличивалось количество лигнофилов, а также, очевидно, и эпифитов (Белюченко и др., 2010; Гукалов и др., 2011).

Эволюция грибов обусловила значительные морфологические и биохимические вариации, способствовавшие освоению ими суши, – образование мицелиальной формы таллома и появление в клеточных стенках хитина. Это (как и формирование хитино-фосфатного скелета у животных) считается важным биогеохимическим процессом в эволюции органического мира на Земле, который произошел в период от кембрия до силура и заключался в замене пептидогликана в клеточных стенках на хитин, представляющий собой нерастворимую в воде форму запасания и связывания азота. Иными словами, дофанерозойный период явился важным рубежом в развитии биосферы, ознаменовавшись появлением у разнообразных групп животных наружных скелетов – карбонатного, кремниевое и хитино-фосфатного, что могло быть связано либо с появлением хищников и усилением их роли, либо с увеличением размеров организмов и нарастанием механического воздействия моря на них через усиление подвижности воды. Формирование скелетов усилило адаптивную радиацию животных и способствовало ускорению возникновения новых типов, что явилось преадаптивным признаком возможности выхода животных на сушу (Белюченко, 2011; Белюченко и др., 2010; Белюченко, 2011; Белюченко, Гукалов, 2011).

У грибов с возникновением хитина в клеточных стенках также появились возможности освоения наземных территорий более ускоренными темпами. Важнейшей характеристикой прогресса высших растений явилась дифференцировка их клеток и тканей. Возникновение дифференцированных тканей у растений связано, очевидно, с началом развития у них фотосинтеза, а интенсификация формиро-

вания разнокачественных тканей соотносится с периодом их выхода из воды и последующим освоением различных экотопов суши. В этот же период отмечено образование грибами мицелиальной формы таллома, который явился удобной и стабильной формой освоения грибами живых и отмерших тканевых субстратов. Появление мицелиальной формы таллома у грибов и формирование тканевых структур у растений свидетельствует в пользу концепции параллелизма в их развитии как проявление парагенетической связи между этими двумя группами организмов (Белюченко, 2011; Белюченко, Славгородская, 2011; Петренко, Белюченко, 2012).

Мицелиальная форма у грибов представляет собой качественно новое эволюционное образование, облегчающее их развитие в новых условиях в силу апикального роста гиф и накопления в их стенках хитина, что в целом способствовало перемещению и сохранению гриба внутри тканей растений. Формирование мицелия активировало осмотическую способность гриба и ускорение перемещения в нем метаболитов. Эволюция грибного таллома через мицелизацию связана с выходом грибов на сушу (Белюченко, 2012; Белюченко, Никифоренко, 2012).

Микориза – сложное биологическое явление, представляющее структурно оформившийся контакт между грибами и растениями, – оказала глубокое влияние на растительный мир, обеспечила успешное функционирование экосистем в прошлом и обуславливает их жизнедеятельность в настоящее время. Микоризные сообщества характеризуются широким разнообразием морфофункциональных связей между компонентами. В научной литературе рассматриваются микоризы эндотрофные (арбускулярно-везикулярные) и эктотрофные (Белюченко, 2012; Белюченко и др., 2012).

Грибы-сапротрофы – основные микоризообразователи, способны превращать органические питательные вещества в более простые минеральные, которые затем легко поглощаются корнями растений, обеспечивая восходящий (против силы тяжести) поток биогенных элементов. Они направляют и регулируют миграцию биогенов от почвы и отмершей органики к живым растениям, посредством чего и регулируется стабильность и продуктивность сообщества. Микориза ускоряет миграцию биогенов, усиливает их круговорот в экосистеме, что особенно важно при их дефицитности в почве (Белюченко, Бережная, 2012; Белюченко, Петренко, 2012).

Микотрофия среди высших растений распространена достаточно широко (свыше 220 тыс. видов, что намного выше других симбиотических форм, например, в симбиозе с азотфиксаторами – бактериями или актиномицетами – насчитывается всего около 10 тыс. видов). Поставка азота частично осуществляется свободноживущими азотфиксаторами. Многие растения, связанные симбиотически с азотфиксаторами, имеют и свою микоризу. Объем, занимаемый мицелием эктомикоризы грибов, по отношению к объему корневых тканей, составляет 35–45 %, а у эндомикоризных грибов такой показатель не превышает 10–15 %. Установлены сложные синхронные ассоциации, составленные высшими растениями и бактериями (например, образующих у бобовых с бактерией *Rhizobium* sp.), и грибами, в которых эндомикориза стимулирует азотфиксацию бактериями и одновременно выполняет свои функции. Трехчленные ассоциации обуславливаются нехваткой для растений в почвах азота и фосфора одновременно (Белюченко, 2012; Петренко, Белюченко, 2012).

Микориза представляет собой эволюционно сложившуюся между высшими растениями, грибами и прокариотами трофоценоотическую, структурно оформленную систему, в которой все три компонента сосуществуют в физиологически и экологически взаимообусловленном варианте отношений мутуалистического симбиоза. Микориза отличается от паразитарной формы инфицирования корней грибами гистотропной специализацией мицелия к определенным типам клеток и тканей корня, сложившейся при совместной эволюции макро- и микроорганизмов, и потому служит диагностическим признаком для разграничения микоризы и инфекций (Белюченко, 2012; Белюченко, Славгородская, 2013; Попок, Белюченко, 2013).

Мицелий эндомикоризы сосредоточен в основном в эпиблеме и мезодерме первичных корней, а в меристеме, центральном цилиндре и эндодерме он не встречается; мицелий не проникает и в хлорофиллоносные ткани. Невозможность вхождения мицелия микоризы во внутренние ткани растений сдерживается рядом защитных структурных и физиологических препятствий, выработанных у растения-хозяина (Мустафаев и др., 2013; Белюченко, Мустафаев, 2013).

Эктомикоризные грибы формируют чехлы и на молодых растущих, и на дифференцированных по группам тканей корнях взрослых особей. Микориза обеспечивается углеводами растений, а сама поставляет растениям ионы фосфора, калия, кальция, магния и дру-

гих микро- и макроэлементов. Наиболее важна их роль в обеспечении растений фосфором (особенно его труднодоступными формами), который ответственен за энергетику метаболических процессов. Микориза представляет собой основной канал экстрагирования выпавшего из малого круговорота веществ фосфора и его возвращения в пищевой цикл растений. Учитывая слабую подвижность ортофосфорных ионов (основной источник фосфатов для растений), нетрудно представить важную роль микоризы в качестве абсорбента фосфора (Белюченко, 2013; Белюченко, Никифорова, 2013; Белюченко, Славгородская, 2013).

Поглощение грибами минеральных веществ из почвы происходит двумя путями: 1) увеличением зоны охвата почвы сформировавшейся системой мицелия, 2) переводом в растворимое состояние нерастворимых или органических форм, недоступных для использования немикоризными растениями. В последние годы установлена полифункциональная роль микоризы в жизни растений: она усиливает проницаемость мезофилла для углекислого газа, благоприятствует увеличению концентрации хлорофилла в листьях и стимуляции фотосинтеза, улучшению водного режима растений и т. д. Микориза выделяет ряд биоцидных веществ, защищающих корни от патогенов, а также снижает поступление в растения тяжелых металлов, повышает солеустойчивость растений, регулирует структуру и динамику почвенных микроорганизмов, контактирующих с эукариотами (Белюченко, 2013; Белюченко, Славгородская, 2013; Белюченко и др., 2013).

Растения выделяют много веществ, влияющих на рост микоризы (например, цитокинины и ауксины), а микориза выделяет ростовые вещества, обладающие гормоноподобными свойствами и оказывающие стимулирующее воздействие на растения (ИУК, витамины, гиббереллины, органические кислоты и т. д.). Взаимоотношения гриба и растения целесообразно рассматривать на клеточно-тканевом, организменном, популяционном и экосистемном уровнях. На популяционном и экосистемном уровнях микориза, несомненно, играет большую роль, стимулируя биологический прогресс и расширяя адаптивные возможности обоих компонентов (Белюченко, 2013; Белюченко, Славгородская, 2013).

Из многих родов, среди которых наибольшее распространение имеет род *Globus* (примерно 40 видов), основной группой образова-

телей эндомикориз являются грибы класса *Zygomycetes* (около 120 видов). Эктомикоризу образуют представители следующих классов грибов: *Basidiomycetes*, *Ascomycetes*, *Zygomycetes*. Одной из форм эндомикоризы является орхидная микориза, образователями которой выступают несовершенные грибы рода *Rhizoctonia* (порядок *Agonomycetes*) и высшие базидиомицеты из родов *Armillariella*, *Fomes*, *Hymenochaete* (ксилотрофы) (Белюченко, 2013; Белюченко, Мустафаев, 2014).

Предположительно, что высшие растения характеризовались микотрофностью на протяжении всей своей жизни – от самого их возникновения до настоящего времени. Фактически все предковые группы основных линий сосудистых растений в девоне имели в нижних частях осевых структур микобионты. Вероятно, что при практическом отсутствии корней роль эндомикоризы у ранних сосудистых растений была значительно выше, чем у современных форм: ризома и ризоиды у древних форм наряду с физиологической выполняли и механическую функцию – прикрепление к субстрату, а гриб поставлял растению воду и минеральное сырье (Белюченко, 2013; Белюченко, Мельник, 2014).

Формирование микоризных или микоризоподобных блоков в тканях подземных органов растений отмечено в палеозое, мезозое и, конечно же, в кайнозое. В корнях и подземных осях древовидных плаунов и папоротников грибы описаны еще в карбоне. Возникновение у растений специализированных органов запаса – клубней, корневищ и других образований (например, возможность каллусовидного образования у макклеи из семейства маковых) некоторые авторы объясняют симбиогенной коэволюцией микоризных грибов и растений (Белюченко, 2013; 2014; Антоненко и др., 2014; Антоненко, Белюченко, 2014).

Широкое распространение микоризы в растительном царстве является мощным аргументом гипотезы о симбиогенном происхождении растений. Основная масса эукариот является микотрофной. Формируют микоризу около 80 % цветковых растений, 100 % голосеменных и 70 % папоротников в Англии. В СССР микоризу имеют 100 % голосеменных и свыше 77 % цветковых (всего школой Селиванова обследовано 3425 видов). Микотрофными видами считаются все псилотовые и голосеменные, основная часть однодольных (75 %) и двудольных (свыше 80 %); гаметофиты плауновидных яв-

ляются облигатными микотрофами. Микотрофными являются также многие хвощевидные (до 90 % обследованных видов) и спорофиты папоротниковидных (их гаметофиты не образуют мицелий). Мхи, не имеющие своей корневой системы, формируют с грибами микоталии; печеночники также микотрофны (некоторые более продвинутые печеночники лишены микобионтов). Эндомикориза полностью отсутствует только у некоторых цветковых; у многих из них формируется эктомикориза (Белюченко, 2014; Белюченко и др., 2015; Белюченко Антоненко, 2015).

Не установлено микориз у рдестовых и некоторых других видов, приуроченных к переувлажненным местообитаниям. Древесные практически все микотрофны; полностью безмикоризными являются деревья и кустарники семейства *Proteaceae* (до 1 тыс. видов), выделяющиеся формированием мощной корневой системы щетковидной формы. Предположительно, нет микотрофов среди растений-паразитов и полупаразитов. Наибольшее число безмикоризных видов растений обнаружено в семействах *Brassicaceae* (87 %), *Cyperaceae* (74 %), *Chenopodiaceae* (61 %), *Juncaceae* (56 %), *Caryophyllaceae* (50 %) и *Polygonaceae* (37 % от обследованных). Микоризообразование по интенсивности проявления сильно варьирует по видам растений и заметно зависит от условий вегетации (Белюченко, 2014; 2015).

Безмикоризность растений коррелирует с травянистой жизненной формой, а также с мощной корневой системой с обильными корневыми волосками и однолетним типом развития. Древовидные растения с ветвистой корневой системой теснее связаны с грибом микоризой, чем растения с корневыми системами типа злаковых, образующих массу корневых волосков. В переувлажненных местах микориза не образуется из-за нехватки кислорода, необходимого для аэробного существования гриба. Например, рис во влажной почве микоризу не образует, но на сухом участке грибница на корнях этого вида образуется весьма интенсивно. Горчица и горох развиваются без микоризы, поскольку обе культуры способны поглощать фосфор из почти нерастворимых фосфатов. Листостебельные мхи безмикоризны, и их питание, очевидно, идет за счет осадков (Белюченко и др., 2015; Гукалов, 2015; Белюченко, 2015).

На образование микоризы влияет состояние и качество почвы, влажность, наличие питательных веществ в почве, климат и т. д.

Большую роль играет эндомикориза в тропиках, где почвы имеют положительную электростатику и очень прочно удерживают фосфор, который труднодоступен растениям, и потому многие виды сосуществуют с различными видами грибов. В плане выживания растений песчаных дюн большую роль в их жизнедеятельности играет везикулярно-арбускулярная микориза; аналогичная роль эндомикоризы также свойственна растениям литоралей, морских и озерных дюн. Эктомикориза больше распространена в умеренной зоне, где почвы заряжены отрицательно и фосфор не фиксируется так прочно, как в тропиках, и растения способны его использовать самостоятельно (Белюченко, 2014; 2015).

В клетках гифов гриба осмотическое давление значительно выше, чем в корнях растений, и благодаря этому растения в ассоциации с грибами способны существовать на засоленных почвах или в условиях физиологической сухости. Полагают, что отношения между грибом и растением не остаются неизменными и зависят от многих факторов и прежде всего экологических. Считается, что как цветковые, так и высшие споровые растения прогрессируют в развитии в направлении уменьшения или полного ухода из зависимости от гриба. Например, среди споровых сосудистых растений глубина симбиотических связей с грибами снижается и намечается переход от облигатного у гамето- и спорофитных фаз у примитивных групп к факультативному типу микосимбиотрофизма у эволюционно продвинутых (Белюченко, 2014; Белюченко и др., 2015).

Облигатный микосимбиотрофизм наблюдается у примитивных цветковых, а у высокоспециализированных таксонов безмикоризность встречается чаще. Безмикоризность коррелирует с развитием компенсаторных метаболических и структурных свойств (ускорение жизненного цикла, снижение лигнификации тканей, формирование мощной корневой системы). Древесные растения, отличающиеся замедленным ростом и относительно низким метаболизмом (по сравнению с травами), отличаются в основном облигатной эндомикосимбиотрофией. Травянистые виды, имеющие специфический ферментный состав, усиливающий метаболизм и ускоряющий егохождение, отличаются в основном факультативной микотрофией. Эндомикориза представляет собой древний симбиоз морских грибов с морскими водорослями, и она имела, очевидно, большое значение при

освоении суши сосудистыми растениями и в их таксономической и экологической дивергенции (Белюченко, 2015).

Эктомикориза – эволюционно молодой симбиоз, появившийся как дополнительная трофоценотическая структура в экосистемах триаса вместе с голосеменными. Она особенно развилась во второй половине мела, существенно влияя на развитие растительных сообществ. Девонские леса произрастали на бедной почве, в которых эктомикориза развивалась плохо. Предположительно эктотрофия эволюционировала от сапротрофов и некротрофов (Белюченко, 2014).

Эктомикориза трансформирует азотосодержащие органические вещества в усвояемую для растений форму, обеспечивает растения водорастворимыми соединениями фосфора, калия, кальция и других элементов, благоприятствует защите растений от патогенных микроорганизмов, утилизирует целлюлозу и лигнин. В семействах *Pinaceae*, *Cupressaceae*, *Fagaceae*, *Betulaceae*, *Tillaceae*, *Ulmaceae* растения многих видов формируют эктомикоризу и нередко доминируют в лесах умеренной зоны (Белюченко, 2014; Белюченко, Мельник, 2014).

Грибы-эктомикоризообразователи относятся в основном к высшим, относительно молодым формам, известным только со второй половины мезозоя. Около 5000 видов эктомикоризообразователей контактируют примерно с 5000 видов растений (всего 3% от их общего количества). Основная масса эктотрофов – это деревья, формирующие леса и другие сообщества со сходной функциональной структурой. Деревья способны отбирать различные формы грибов в зависимости от своего возраста, состояния, типа и структуры почвы, ее влажности. С одним видом деревьев могут формировать микоризу несколько видов грибов. Наибольшее обилие эктомикоризообразователей обнаружено в хвойно-лиственных лесах умеренной зоны, к северу и югу в связи с сокращением деревьев в сообществах число видов-эктомикоризообразователей и их присутствие в почве заметно сокращается (Belyuchenko, 1964; Белюченко, 2015). Эктомикоризу образуют свыше сотни видов грибов с более чем 200 тыс. видов цветковых; ее возникновение связывается с образованием в основных сообществах подстилки (Belyuchenko, 1971; Infante, Belyuchenko, 1974).

Растения большинства видов тропических семейств *Myrtaceae* и *Dipterocarpaceae* также образуют эктомикоризу. В подсемействах бобовых *Mimosoideae* и *Faboideae* эктомикориза отсутствует, что,

очевидно, связано с их симбиозом с клубеньковыми бактериями. Однако в семействе *Fabaceae* у растений двух триб – *Amherstieae* и *Detarieae* из подсемейства *Caesalpinioideae*, часто формирующих монотипные леса, эктомикориза образуется. Не обнаружена эктомикориза у однодольных. В тропиках деревья многих видов образуют эктомикоризу (Belyuchenko, 1976; Белюченко, 1977; Белюченко, Кураков, 1990)

Эктомикориза растений формирует структурные образования (сеть Гартинга), за счет чего механизм их генетической устойчивости обусловлен парасексуальными процессами, связанными с обилием в общей цитоплазме свободных ядер. Такое образование эктомикоризы, по всей видимости, благоприятствует обмену веществ между растением и грибом и способствует ускорению перемещения веществ внутри грибницы. Иными словами, парагенетическая связь между грибом и растением несколько по-другому позволяет воспринимать и оценивать отношения между организмами в системах (Белюченко, 1977; Каримов, Белюченко, 1988).

Если есть безмикоризные виды растений, то не существует безмикоризных систем. Естественно, что одна особь высшего растения может инфицироваться микоризой от многих возбудителей экто- и эндомикориз, и это может благоприятствовать формированию гифальных связей у разных видов. В таком случае в экосистеме растения многих видов, разных возрастов и разных ярусов по-своему связываются мицелием микориз, по которым вполне возможно идет миграция минеральных веществ и воды из почвы, углеводов и других органических веществ из листьев от одного растения к другому, от одного вида к другому. В такой ситуации грибы можно рассматривать не только в качестве поставщиков нужных веществ для отдельных растений, но, в определенной степени, и как распределителей различных биогенов в пределах экосистемы. Иными словами, через грибы растения оказываются связанными в единый сообщающийся комплекс (гифы эндомикориз уходят в почву на глубину до 8 см, а корневые волоски – только на 1–1,5 мм). Подтверждением этого положения является вполне установленный факт, что доминанты лесов через микоризную сеть часть продуктов своего фотосинтеза передают подросту (Белюченко, 1989; Белюченко, Кураков, 1990).

В экосистеме через эктомикоризные чехлы в подземной сфере могут соединяться растения разных пород и ярусов. На одном и том

же корневом апексе эвкалипта сосуществуют эндо- и эктомикориза, весьма заметно конкурируя за отдельные лимитирующие факторы. Эндомикориза в агросистемах вступает во взаимоотношения с паразитическими грибами. Например, в пшенице, пораженной пыльной головней, микотроф встречается в форме везикул, а у здоровых растений – в форме арбускул. Больные растения становятся микотрофными раньше, чем здоровые: проникновение в ткани корней эндомикоризы заметно стимулируется паразитирующим грибом. Иными словами, можно допустить вариант рассмотрения микоризы в сообществах в качестве интегрирующего механизма, определяющего его физиологическую и биогеохимическую целостность. Такой подход дает возможность по-иному взглянуть на конкуренцию за жизненное разделение среды между видами растений, которые как бы объединены в мицеллярный комплекс (Белюченко, 1990; Каримов и др., 1990).

Допускается, что успех конкуренции в значительной степени определяется эффективностью связей растения и гриба и в меньшей – связями растений между собой. В. Р. Вильямс (1922) считал симбиотические отношения между грибами и растениями универсальными, определяющими сочетание разных видов растений в сообществах и оказывающими влияние на смену растительности во времени. Вильямс также считал симбиотрофию грибов и высших растений важным почвообразовательным фактором; теорию дернового процесса он разработал на основе симбиотрофного питания луговых растений. Бесспорно, что отдельные, даже точные исследования, пока не убеждают в определенной роли микоризообразования в эволюции экосистем или фитоценозов, но они служат важным обоснованием необходимости постановки широких и глубоких исследований по этой проблеме (Кураков, Белюченко, 1990; Белюченко, 2015).

Сопряжение развития растений и грибов по типу эндофитизма. Весьма распространенной в природе формой сожителства грибов-эндофитов с фотосинтезирующими органами растений считается эндофитизм, что свидетельствует о длительной коэволюции растений и грибов с весьма давних времен. Грибы-эндофиты размещены в эпидерме под кутикулой или в поверхностных слоях листовой паренхимы (реже стеблей); они не оказывают видимого негативного воздействия на занятые ими органы. Хотя об эндофитной группе грибов знали уже давно, но лишь в последние 25–30 лет обратили

внимание с точки зрения их эволюционной роли и влияния на развитие растений-хозяев (Belyuchenko, 1977; Белюченко, 2015).

По распространенности и своему значению эндофитизм грибов сравним с эндомикоризой. Полагают, что многие эндофиты функционально ближе к комменсалам, хотя они недалеко ушли также и от паразитирующих форм. Известно их положительное влияние на хозяина, и в таком случае они могут рассматриваться как мутуалистические симбионты. Эндофиты разделяются на конститутивных и индуцированных. Конститутивные эндофиты поселяются на семенах, и при прорастании последних мицелий гриба диффузно распространяется во всех наземных органах растений. Индуцированные эндофитные формы распространяются по воздуху без заражения семян (Belyuchenko, 1977; Белюченко, 2015).

Считается, что большинство растений в своих тканях содержат эндофиты, относящиеся к аскомицетам (наиболее распространены эндофиты из классов *Discomycetes*, *Loculoascomycetes*, *Pyrenomycetes*) и несовершенным грибам. Со злаками мутуалистическую форму симбиоза установили эндофиты ряда видов порядка *Clavicipitales*, что объясняет широкую экологическую пластичность растений (Clay, 1988). Эндофиты в симбиозе с растениями выделяют токсины и антибиотические вещества, негативно влияющие на грибных паразитов, фитофагов и даже млекопитающих. Кроме того, выделяемые эндофитами биологически активные вещества благотворно влияют на развитие растений (Belyuchenko, 1981; Белюченко, 2015).

Поедание заселенных эндофитами злаков оказывает на животных наркотическое воздействие, поскольку грибы продуцируют алкалоиды. Растение платит эндофиту поставкой ему энергетического материала. Отмечено, что эндофиты распространяются не только в листьях: выделены эндофиты из ксилемы ствола и коры дуба и ивы, из корней сосны и пшеницы, из семян полевицы (*Acremonium coenophialum*) (грибы не спороносятся, в тканях не формируют ни везикул, ни арбускул, что указывает на его эндофитизм). Инфицированные грибом растения повышали продуктивность на 40 % и были более устойчивы к болезням. Природа гриба, очевидно, базидиальная, а сам гриб обеспечивает растение ростовыми веществами и биоцидами. Возникновение эндофитизма относят ко времени выхода растений на сушу, но само явление остается практически неизученным. Пока что не совсем ясна роль эндофитизма на системном

уровне, а именно: влияние эндофита на формирование растительных сообществ и шире – на развитие экологических систем в их эволюционном плане (Подаруева, Белюченко, 1990; Белюченко, 2015).

Козволюция растений и насекомых. Насекомым, по мнению ряда ученых, отводится особая роль в эволюции цветковых растений. Шишки (стробилы) предков цветковых привлекали к себе обилием пыльцы насекомых, которые ее поедали, усиливали перекрестное опыление, но нередко поедали и их открытые семязачатки, нанося растениям серьезный вред. Изучение ископаемых древних растений показало, что у кордаитов (отдаленных предков современных хвойных) шишки имели заостренные чешуйки, защищавшие спорангии от насекомых с грызущими ротовыми органами. Беннеттитовые не имели эффективной защиты семязачатков от насекомых, и, очевидно, это одна из причин вымирания этого подкласса голосеменных в нижнем меле. Цветковые растения выработали более надежную форму защиты семязачатков от насекомых. Все это говорит о существовании весьма тесных связей между растениями и насекомыми, что наложило свой отпечаток на морфологические особенности как растений, так и насекомых, а также на их видовое разнообразие, что, естественно, обостряло приуроченность определенных фитофагов к отдельным группам растений (Белюченко, Кариомв, 1994; Belyuchenko, 2014; Belyuchenko et al, 2014).

Растение-хозяин и насекомое-фитофаг обычно берут начало из одного региона, где их отношения складываются весьма уравновешенно, поскольку каждый из них сопряженно развивался вместе со своими спутниками. Например, дикий картофель (некоторые виды) и колорадский жук, американский виноград и филлоксера Родом из Северной Америке. В местах их происхождения и совместного обитания у растений выработались защитные механизмы против вредителя, а у вредителя выработались механизмы неполного использования автотрофа. Например, виды дикого картофеля накапливают гликоалкалоид, тормозящий нормальное развитие колорадского жука. Устойчивость этих форм картофеля к колорадскому жуку и к глям обеспечивают также железистые волоски на листьях растений. То же самое можно сказать об устойчивости хлопчатника к хлопковой моли через опушение листьев и черешков растений, об устойчивости сорго к огневке через накопление растением синильной кислоты и т. д. (Belyuchenko, Gorchakova, 2014; Белюченко, 2015).

Таким образом, выраженная устойчивость растений к насекомым вырабатывается как результат их сопряженной эволюции в общих центрах происхождения. При переносе и особенно интродукции растений в другие регионы следует позаботиться об отсутствии сопровождающих этот вид спутников. В противном случае переход вредителя или болезни из одного региона в другой может оказаться роковым для растения-хозяина или его ближайших таксонов, поскольку паразит может остаться без сдерживающих его конкурентов или факторов среды и очень быстро размножиться, нарушив выработанное в процессе коэволюции равновесие между ними (Belyuchenko, 2014; Белюченко, 2015)

Взаимоотношения паразит-хозяин. Тупиковым вариантом оказались отношения растений и животных с паразитирующими формами грибов и бактерий. В процессе их эволюции выработался ряд приспособлений, которые сдерживают паразита и снижают его возможный вред. Цветковых паразитов не так уж много, несколько больше цветковых полупаразитов, но участие и роль тех и других в сложении и функционировании природных и даже агроландшафтных экосистем незначительны. В некоторых случаях (в нарушенных человеком сообществах) цветковые паразиты могут оказывать весьма ощутимое влияние (например, на лугах) через снижение конкурентоспособности автотрофов. Развитию цветковых паразитов (например, заразиха подсолнечника, повилика и т. д.) способствует также засуха. Низкий уровень участия цветковых паразитов и полупаразитов в природных экосистемах свидетельствует о том, что в процессе сопряженной эволюции различных видов и организмов такая форма взаимоотношений в природе не получила широкого распространения и развития. В противном случае (широкое присутствие в системах таких форм) способствовало бы быстрому вымиранию видов-хозяев и снижению их конкурентоспособности (Селиванов, 1981; Belyuchenko, 2014; Белюченко, Антоненко, 2015).

В отношениях автотрофы – паразиты можно выделить следующие направления защиты, выработанные растениями в результате их сопряженной эволюции с паразитирующими формами грибов и бактерий: растения выделяют бактерицидные и фунгицидные вещества (например, слабо поражаются грибами эфирносы), растения выработали некоторые формы наружного покрова (опушение, кутикула, одревеснение), препятствующие проникновению инфекции в их ткани,

растения формируют такой химический состав, который сдерживает распространение инфекции или даже вызывает ее гибель (например, высокое содержание алкалоидов, сапонинов) (Belyuchenko, 2005; Белюченко, 2015).

Воздействие нового паразита на автотроф может быть весьма существенным. Насколько велико может быть влияние паразита на автотроф, если их эволюция шла не сопряженно, можно видеть на следующем примере. Паразит *Endothia parasitica* был завезен в США из Китая, где обитал на местном каштане. В США этот паразит хорошо освоил местный каштан *Castanea dentata*. На родине в Китае паразит, обитая на местном каштане, особого вреда ему не приносил. В восточных районах США этот паразит на местном каштане так хорошо прижился, что за сравнительно короткий срок (около 40 лет) по сути дела вызвал гибель этого вида каштана на больших площадях (Belyuchenko, 2005; Белюченко, 2014).

Паразитизм растений и животных представляет собой явление, очевидно, вторичного эволюционного происхождения. Растительный паразитизм является новым для автотрофов чужеродным способом питания, перерастающим постепенно в новый образ жизни, включая также размножение, расселение и другие жизненные процессы. В мире растений специфический образ жизни приобрели представители примерно 30 семейств, включающих около 1000 родов и 30000 видов. Среди них – растения-паразиты, хищные растения, некоторые таксоны микотрофных (предпочитают симбиоз с грибами) цветковых (орхидные и др.). Растения-паразиты составляют около 5 % всех цветковых (Белюченко, 2014).

Широко известны многообразные формы отношений между растениями и паразитами (грибами, бактериями), освоившими как почвенное, так и воздушное пространство обитания автотрофов. Наиболее широкое распространение паразитарная форма отношений между автотрофами, грибами и бактериями получила: 1) в нарушенных человеком сообществах, 2) в периоды природных стрессовых ситуаций (засуха и недостаток воды и питательных веществ, избыток влаги и недостаток свободного кислорода и т. д.).

Паразитизм обычно приводит к упрощению способов существования и организации чужеродных существ – к редукции отдельных структур. Эта закономерность справедлива и для цветковых паразитов. Упрощению обычно подвергаются лишь некоторые органы и

структуры, а другие, наоборот, усложняются. Растения-паразиты, как правило, теряют листья, корни, их семена не имеют семядолей, корня, верхушки побега, зародыши представлены несколькими клетками и утрачивают саму способность к развитию этих органов. Вместе с тем эволюция паразитов сопровождается и усложнением организации (Шмальгаузен, 1969; Белюченко, 2014).

Паразитные растения имеют очень мелкие семена, но формируют их в огромном количестве – до 200 тыс. семян на одно растение или до 70 тыс. на один плод. Объясняется это тем, что питающий паразита хозяин рассеян в природе, и потому редко происходит встреча паразита с хозяином (Белюченко, 2014).

Эволюционное взаимодействие паразит-хозяин – важнейшая проблема среди частных теорий эволюции, и от ее разработки зависит дальнейшее их развитие. Господствующая и поныне теория сопряженной эволюции хозяина и паразита используется для объяснения причин паразитоустойчивости организмов. Однако фактический экспериментальный материал не подтверждает наличия у растений специфических механизмов активной защиты от многих рас паразитов. Новая гипотеза, оформленная в виде экологического подхода в паразитологии, имеет трофическую основу объяснения факторов и механизмов в развитии отношений хозяин-паразит. В развитие вышеизложенного В. П. Эфроимсон (1971) выдвинул теорию «неполной среды», построенную путем синтеза информации о закономерностях наследования расоспецифической устойчивости у растений (расщепление по менделевской схеме) с моделью один ген – один фермент, и утверждает элементарный биохимический характер фактора устойчивости: пригодность растения в качестве хозяина для специализированных паразитов зависит от уровня удовлетворения их потребности в незаменимых пищевых комплексах (Белюченко, 2014).

Неполноценность тканей хозяина как питательного субстрата сообщает ему устойчивость к определенному паразиту и может возникнуть в результате одноступенчатого мутационного изменения структуры определенной микромолекулы, входящей в состав его среды, что делает ее недоступной для определенного фермента паразита. Появление расоспецифических форм наблюдается при искусственном мутагенезе (Белюченко, 2014; Белюченко, Мельник, 2014).

Паразитизм является широко распространенным явлением в биосфере и представляет собой устойчивое неравновесное сосущество-

вание двух или более организмов, связанных энергетически. В системе паразит-хозяин равновесия не существует: хозяин выполняет работу, чтобы поддержать равновесие, а паразит усиливает метаболизм, подавляя защитные реакции хозяина. В экологии, кроме трех абиотических сред (вода, почва и воздух), выделяется четвертая специфическая биотическая среда – организм, паразиты которого составляют паразитоценоз (Белюченко, 2014; Белюченко, Мельник, 2014).

Трофический подход и соответствующие воззрения на эволюционные отношения хозяин – паразит развивали В. Ф. Куплевич (1973), Н. А. Вилков (1979), Г. В. Самохвалова (1980) и другие исследователи. Ряд аргументов против трактовки эволюционного взаимодействия между насекомыми – фитофагами и их кормовыми растениями в форме коэволюции приводит Т. Жерми (Jermy, 1976), подчеркивавший, что в отношениях хозяин-паразит в эволюционном плане речь может идти только об эволюции фитофагов, следующих за хозяином без специфики обратного влияния на эволюцию растений (Белюченко, 2014).

Консортивные связи. В основе консортивных связей находятся взаимоотношения автотрофов (продуцентов) и гетеротрофов (консументов). Сопряженность эволюции различных видов организмов (бактерий, грибов, растений, животных) обусловила отбор в каждой системе (ландшафте) таких популяций и жизненных форм, которые способны сосуществовать в конкретных средовых условиях. Именно такая сопряженность в развитии организмов определила и определяет видовой состав растений, животных и их консортов (бактерий и грибов) в конкретной эко системе. Иными словами, в определенных экосистемах сконцентрировались такие виды (популяции), которые в основном трофически (реже только топически, например, птицы) связаны друг с другом и объединились в отдельные популяционные консорции, объединяющие различные функциональные группы самых разных по типу и субстрату питания организмов: автотрофов, биотрофов, сапротрофов, эккрисотрофов, копротрофов, групп азотфиксаторов (симбионтов и свободно живущих), а также грибов-микоризообразователей (Белюченко, Мельник, 2014).

Весьма существенное значение в сложении сообществ и организации экосистем имели в прошлом и имеют в настоящее время именно сопряженные отношения в консорциях между автотрофами (высшие растения), с одной стороны, и гетеротрофами (грибы, бак-

терии и актиномицеты), с другой. Гетеротрофные компоненты консорций сформировали различные трофические группы: сапротрофы, биотрофы, симбионты, эккрисотрофы, паразиты, роль которых в функционировании и развитии отдельных консорций, сообществ и в целом экосистем (нередко и ландшафтов) весьма существенна (Белюченко, 2014).

Значительное распространение в консорциях получила форма отношений между автотрофами и насекомыми, опыляющими цветки растений. Сопряженность эволюции растений и насекомых в этом направлении обеспечила первым повышение плодовитости, а вторым дала новый источник энергии (Белюченко, 2014).

Результатом сопряженной эволюции растений и отдельных групп организмов в консорциях является поедание и травмирование различных органов автотрофов. В качестве реакции на такое давление животных у автотрофов выработались различные приспособления, снижающие наносимый им вред. В числе таких приспособлений следует указать на образование колючек, опушений, шипов, одревеснение (морфологические и анатомические приспособления), а также образование и накопление больших количеств эфирных и ядовитых веществ, солей (биохимические приспособления) и таких форм приспособлений, как способность к регенерации и нескольким формам размножения, ускорению или консервации развития в связи с изменившимися условиями вегетации и т. д. (Антоненко, Белюченко, 2014; Белюченко, 2015).

В процессе сопряженной эволюции организмов выработались некоторые формы отношений (прижизненные выделения, микотрофия) и экологических принципов (формирование многочисленных экологических ниш, приуроченность определенных видов организмов к различным климатическим, химическим и физическим средам, разнообразие конкурентных отношений, различие в скорости и интенсивности проявления конкурентной напряженности и т. д.), обеспечивающих снижение конкурентных отношений как в пределах близких систематических групп, так и между отдаленными таксонами (Белюченко, 2014).

Между автотрофами в их совместной и сопряженной эволюции в отдельных экосистемах отработывались все формы взаимоотношений и прежде всего: 1) снижение конкуренции за жизненные условия, 2) прижизненные выделения, безвредные для другого вида и 3) соз-

дание специфической фитосреды, безвредной или даже благоприятной для другого вида. Конкуренция между автотрофами идет в основном за те ресурсы, которых не хватает для удовлетворения потребности в них у всех особей сообщества. Избежать полностью конкуренцию ни одному виду и ни одной особи в сообществе невозможно. Сопряженно эволюционировавшие виды достигали лишь ослабления конкуренции через выработку возможностей, обеспечивающих им использование ресурсов, которые не полностью используются другими членами сообщества.

Конкурентные отношения. Конкуренция – это неперемнная сторона отношений между совместно живущими организмами (растениями, животными, бактериями, грибами), когда имеющихся ресурсных запасов не достаточно для удовлетворения потребности всех участников сообщества. Конкуренция в старых системах выражена слабее, а в молодых сильнее, но никогда не бывает, чтобы конкуренция в сообществе совершенно отсутствовала. Ослабление конкуренции в системе обуславливается сопряженностью развития составляющих эту систему видов в течение длительного времени и экологическими различиями. Например, растительные виды различаются по конкурентоспособности, интенсивности использования ресурсов, освоению территории и т. д. Именно многообразию не только видовое, но и экологическое обеспечивает устойчивость растительного покрова нашей планеты и определяет многообразие животного мира на ней (Белюченко, 2014).

Аллелопатическая устойчивость. Все растения и другие организмы выделяют в окружающую среду различные метаболиты, многие из которых являются токсичными для других видов. При формировании экосистем в их обществе сохраняются только те виды растений, которые устойчивы к выделениям других видов, что может быть достигнуто следующими путями: 1) растения приобретают к ним устойчивость; 2) наличие в ризосфере грибной ассоциации, способной детоксицировать метаболиты различных организмов, включая растения, грибы, бактерии; 3) дезактивация метаболитов высокогумусной почвой путем связи их в нейтральные комплексы; 4) промывной режим (при выпадении осадков) нейтрализует (диссоциирует) метаболиты различных организмов (Белюченко, 2014).

Известные принципы аллелопатического воздействия одних организмов на другие характерны в основном для нарушенных челове-

ком сообществ. В результате сопряженной эволюции сформировались природные системы, составленные разнообразными экоморфами, «психологически» близкими по своим стратегиям, что обеспечивает более полное заселение живыми организмами поверхности нашей планеты. Широкая вариация экоморф усиливается гетерогенностью популяций их многочисленных видов и их консортов, аллелопатически равновесных между собой, что, собственно, и сохраняет устойчивость экосистем (Белюченко, 2014).

Развитие экологических систем. Возникновение видов растений и животных и их эволюция проходили в конкретных экологических системах, в определенных условиях среды, при специфических режимах конкуренции и при других формах взаимодействия различных видов друг с другом; именно сопряженность развития различных видов организмов и в различных условиях определила состав, структуру и уровень продуктивности отдельных экосистем (Белюченко, 2015).

Между автотрофами в экосистемах сложились определенные формы взаимоотношений, которые позволили каждому виду найти свое место и в надземных, и в подземных горизонтах так, что конкуренция между ними за жизненное пространство сведена к минимуму. Этому также способствовало развитие симбиотических (положительных) и антагонистических (отрицательных) отношений между растениями, с одной стороны, и грибами и бактериями, с другой. Немаловажное значение в таком отборе сыграли также внешние факторы: оводненность почвы и ее плодородие, рельеф, ветер и т. д. Все это определенным образом отразилось на составе, структуре и продуктивности экологических систем (ландшафтов) и способности последних изменять свои территориальные параметры в определенных пределах по сезонам, годам и более длительным периодам (Белюченко, 1996; 1997; 1999; 2015).

В перечень эволюционных преобразований экосистем с учетом сопряженного развития составляющих их организмов следует включить следующие признаки: 1) наличие видов (популяций) или образование новых, отличающихся высокой агрессивностью и способных занимать свободные или освобождающиеся пространства; 2) поддержание равновесного соотношения различных жизненных форм; 3) изменение или поддержание продуктивности; 4) развитие разнообразных форм размножения (особенно вегетативного) у основных

компонентов экосистемы; 5) равновесное колебание соотношения возрастных групп в популяциях доминантов; 6) накопление органического вещества в почве и увеличение количества гумуса; 7) естественное расширение границ экосистемы (Белюченко, 1999).

Сопряженная эволюция различных видов в отдельных сообществах проходила в прошлом и проходит в настоящее время на фоне постоянных динамических изменений биокосных систем, растительных, животных, грибных и бактериальных ассоциаций, обуславливающих изменение в целом экосистем в течение продолжительного времени (экогенез) или в течение ограниченных временных периодов (сезон, год) и появление различных новых сукцессий. Формы отношений между отдельными организмами в органическом мире весьма многообразны. Например, в тропиках широко распространены автотрофы (лианы, эпифиты), ставшие консортами других автотрофов, заняв образованные надземными органами последних специфические экологические ниши (Тахтаджян, 1970).

В процессе сопряженного развития различных таксонов экосистемы, когда все организмы нуждаются в связанном азоте при весьма низкой роли его абиотического образования, на первых порах фиксация атмосферного азота идет за счет автотрофных азотфиксаторов (например, зеленых водорослей), которые энергетически этот процесс поддерживают через фотосинтез; гетеротрофные азотфиксаторы энергию получают от автотрофов, включая и их прижизненные выделения, которые используют эккрисотрофы ризо- и филлосферы, и энергию отмерших органов (сапротрофия). Именно автотрофные фиксаторы – синезеленые водоросли, обитающие в воде, в почве, в составе лишайников, на мхах и т. д., играют основную роль в первичных сукцессиях при формировании экосистем. В дальнейшем уже симбиотрофы (актиномицеты, симбионты бобовых и др.) выполняют важную роль в становлении сукцессий.

На последних стадиях сукцессий и в климаксовых сообществах усиливается роль свободноживущих азотфиксаторов – сапротрофов и эккрисотрофов. Сапротрофы оказывают средообразующее воздействие на всю систему, участвуя в разложении отмерших организмов и экскрементов животных, улучшают минеральное питание растений и препятствуют иммобилизации химических элементов. Насколько велико значение сопряженной эволюции различных организмов, включая и сапротрофы, можно оценить по отсутствию в фауне Австралии

животных-копротрофов, которые могли бы перерабатывать экскременты завезенного туда европейского скота, что не могло определенным образом не отразиться на развитии растительности (Работнов).

В состав ризо- и филлосферы растений входит значительная группа эккрисотрофных микроорганизмов, различающихся таксономическим многообразием и функциональной ролью, заключающейся прежде всего в создании биологического фильтра, через который проходят выделения корневые и поступающие в корни, способствуя детоксикации метаболитов автотрофов и сапротрофов, без чего данные группы организмов совместно не могли бы практически существовать. Среди эккрисотрофов обнаружены также азотфиксаторы, что способствует усилению азотного питания автотрофов (Каратыгин, 1993).

Сопряженность эволюции растений и животных в процессе развития экосистем можно четко проследить на примере цветковых и копытных, между которыми возникли взаимовыгодные или одностороннего плана отношения. Например, животные переносят плоды растений, но сами взамен ничего не получают (эпизоохория); наоборот, животные поедают растения, травмируют их, вытаптывают, оказывая в целом отрицательное воздействие, что вызвало формирование у растений различных форм приспособлений для снижения наносимого животными вреда: колючие шипы, опушение, одревеснение (морфологические изменения), накопление ядовитых веществ, концентрация солей, эфирных масел и т. д. (химические изменения). Некоторые животные способны поесть без особого вреда для себя такие растения, включая и те, которые накапливают токсические вещества, что, бесспорно, выработано в ходе их сопряженной эволюции (Бондарева, 1989).

Некоторые группы растений не выработали приспособлений, которые бы сдерживали поедание их фитофагами, что, очевидно, связано с неспособностью их вести столь высокие энергетические затраты на продуцирование защитных средств. У таких растений возникли другие свойства, частично компенсирующие наносимый им фитофагами вред. Среди таких приспособлений следует выделить следующие: регенерация (и нередко быстрая, например, у злаков) отчужденных органов, усиление фотосинтетической активности несъеденных листьев, размещение почек возобновления в почве и на стерневых остатках ниже уровня стравливания животными, образование под-

земных органов с запасами почек возобновления (мощные зоны кущения, корневища, луковицы, клубни, столоны и т. д.). Есть растения, которые не имеют и такой формы самоподдержания. В качестве примера можно назвать лишайники, которые в некоторых районах являются основным кормом для оленей. Сохраняемость лишайниковых сообществ обусловлена другими причинами, среди которых можно назвать ограничение поголовья оленей со стороны хищников, паразитов и человека, а также образование зимой большого слоя снега (Благовещенский, 1966).

Периодичность в некоторых природных зонах плодоношения растений, плоды которых поедаются животными, безусловно ведет к снижению численности их популяций и обуславливает цикличность развития последних. В годы обильного плодоношения, когда численность фитофагов невелика, всходы растений появляются обильно; в неблагоприятные годы появление всходов резко ограничивается. Именно так можно объяснить периодичность в образовании молодых растений отдельных видов. На ритмичность плодоношения влияют и погодные условия, которые опосредованно усиливают или ослабляют давление фитофагов. В тропических лесах, где периодичность плодоношения почти не проявляется и все виды плодоносят ежегодно, наблюдается массовое размножение фитофагов, поедающих основную часть сформированных плодов и семян. Поэтому в таких сообществах возобновления растений вблизи материнских особей практически не отмечается. Возобновление наблюдается вдали от мест скопления фитофагов из унесенных ветром, птицами и водой семян. Этим и объясняется большое скопление местами особей одной породы, что нередко наблюдается в тропических дождевых лесах, а также высокая концентрация многообразия.

В умеренной зоне некоторые растения уходят от поедания фитофагами, перемещаясь из мест концентрации фитофагов туда, где их мало, что свойственно некоторым вегетативно подвижным бобовым (например, *Trifolium repens*), повреждаемых нематодой. Варианты защиты одних растений в экосистемах другими тоже можно рассматривать как результат сопряженности их эволюции: развитие под пологом кустарника, одревесневающего и образующего колючки и т. д. (даже в сухих условиях произрастают травы); предоставление растениями условий для убежища организмам (например, фагам), снижающим численность фитофагов; морфологическое сходство съе-

добных растений с несъедобными, что обуславливает снижение их отчуждения животными (многие тропические бобовые); накопление эфирных веществ растениями отпугивают фитофагов, которые не могут их использовать (например, смешанные травостои паточной травы и других кормовых видов в Западной Африке). По всей видимости, между многими автотрофами и фитофагами в процессе становления ландшафта в результате сопряженной эволюции складываются отношения гомеостатического уровня (если не вмешивается человек). Тем не менее массовая гибель растений (отдельных видов) отмечалась в прошлом, наблюдается и в наше время, что может быть сопряжено с разными факторами: 1) незавершенностью процесса сопряженной эволюции, 2) какими-то природными потрясениями и 3) вмешательством человека (Бондарева, 1989).

В структуре сообщества, по Л. Г. Раменскому (1938), у организмов условно можно выделить 3 стратегии жизни: виоленты, пациенты и эксплеренты. Виоленты очень конкурентоспособны, пациенты (выносливцы) существуют при ограниченных ресурсах, а эксплеренты конкурентоспособны при ослаблении по каким-то причинам первых двух групп и резко увеличивают свою численность (например, резкий недостаток каких-то жизненно важных ресурсов, возникший внезапно, и т. д.). В процессе становления экосистем в результате сопряженной эволюции различных видов таксонов между высшими растениями установились устойчивое конкурентное равновесие: усиление одной стратегической группы организмов является результатом ослабления другой, что способствует поддержанию высокой продуктивности, направленных потоков энергии и круговорота веществ на относительно постоянном уровне (Белюченко, 1999).

Борьба за существование. Растения пустынь борются с окружающей средой, вырабатывая многочисленные приспособления, которые их защищают от чрезмерного перегрева, засухи, заноса песками и т. д. В благоприятных условиях (в лесу, на лугу и т. д.) между растениями возникает соперничество, конкуренция за свет, влагу, пищу; они также борются, защищаясь от негативно действующих на них условий среды. В борьбе с окружающей средой организмы кооперируются, обеспечивая свое существование лучше, чем если бы они тратили усилия еще и на борьбу между собой. Нередко порознь они не могли бы существовать там, где существуют. Изучены коопе-

рации многочисленных одинаковых организмов, образующих семьи, – насекомых, пчел, Муравьёв, термитов и т. д. (Белюченко, 1997).

В мире растений примеры общественной жизни встречаются в форме колоний, хотя и непродолжительное время (например, сообщества свиного, пуэрарии и некоторых других видов на юге нашего края). В растительном мире широко распространено сожительство растений различных видов (природные экосистемы, ландшафты). Встречается кооперация между растениями и животными. Остается недооцененным эволюционное значение исторически обусловленных сопряженных связей между организмами на физиологической основе, не затрагивающей генетической самостоятельности кобионтов (например, лишайники, микориза, эндофитизм и т. д.). Козволюция таких организмов в форме разной плотности связей следует рассматривать в качестве важной общей черты эволюции экосистем.

Благоприятствование в прорастании и начальном росте трав создают отдельно отстоящие кустарники бобовых (улучшается азотное питание, затеняется почва и снижается испарение и т. д.). Например, подрост хвойных пород лучше себя чувствует в березняках и осинниках (осветленность их не мешает росту хвойных).

Групповое произрастание особей одного вида благоприятствует их переопылению, повышает семенную продуктивность через усиление запаха выделяемых веществ и увеличение числа насекомых-опылителей. Иными словами, понимание процесса эволюции сообществ и в целом экосистем только дифференциацией видов по экологическим нишам и их конкуренцией не является полным. Сообщества достаточно четко проявляют также отношения типа сотрудничества, способствуя значительному набору видов со сходными экологическими нишами (Белюченко и др., 2010; Белюченко, 2013).

Сопряженная эволюция (козволюция) представляет собой длительный процесс адаптации друг к другу различных организмов, нередко весьма далеких филогенетически. Результатом козволюции является создание разных по природе организмов единой ассоциации, позволяющее всем участникам такого комплекса получать из внешней среды ресурсы и наиболее целесообразно распределять внутри комплекса. По выражению М. М. Камшилова (1972), эволюционируют не изолированные виды, а вся макросистема видов, организованная в биотическом круговороте.

Таким образом, развитие всех живых организмов сопрягается с условиями среды. Например, многочисленные приспособления для семенного размножения (опыление цветков, распространение плодов и семян, сохранение всхожести семян длительный период и др.) возникли у растений открытых территорий, где четко проявляются сезонные перемещения воздушных масс (ветры), понижение и повышение температуры и т. д. Основные породы лесов в нашей стране (ель, лиственница, сосна, пихта, дуб, бук и др.) и доминанты травянистых сообществ (злаки и осоки, полыни и солянки), расположенные друг от друга на небольшом расстоянии, опыляются ветром.

Практически все экосистемы формировались в условиях меняющейся среды (в течение суток, сезонов, лет, периодов) и при воздействии на них ветра, воды, огня (и человека), что, собственно, и обусловило развитие систем устойчивого динамического неравновесия между всеми составными биоты и между биотой и экотопом и формирование в пределах системы большого числа экологических ниш, выделяющихся специфичностью как во времени, так и в пространстве. Изменение условий по сезонам и годам обусловили отбор видового состава растений и животных в экосистемах таким образом, что одни виды способны полнее использовать ресурсы в определенные периоды, а некоторые виды лучше используют эти ресурсы в другие периоды (Белюченко, 1996). Именно результатом такой эволюции является сезонная или флуктуационная смена доминирующих видов по сезонам года и по годам вегетации в саваннах, степях, на лугах и т. д. Естественно, в лесах такая смена во времени потребует десятилетия (по крайней мере, не менее 60–75 лет).

Растительность Земли представлена в основном семенными растениями, характеризующимся различными приспособлениями для семенного размножения: ветроопыление, насекомоопыление, распространение семян различными способами и т. д. Например, в бореальной Евразии преобладает ветроопыление, как среди деревьев, так и среди трав (ель, сосна, дуб, береза, бук, осина, злаки, осоки, полыни, солянки и т. д.). При опылении ветром особи одного вида не должны стоять далеко друг от друга, в противном случае эффективность опыления будет низкой (Белюченко, 1999).

Сообщества, где доминируют энтомофилы (липы, ивы, вишни, яблони и т. д.), распространены меньше (это верещатники, шибляки и т. д.). Энтомофилия распространена в дождливых районах, где рас-

тения удалены друг от друга на большие расстояния. В таких районах в опылении растений определенную роль играет также орнитофилия. Важность опыления как фактора борьбы за существование подчеркивается высокой ролью семенного размножения в формировании растительности.

Совсем мало данных о роли вегетативного размножения растений в существовании отдельных экосистем. Много растений, размноженных семенами, затем продолжают размножаться вегетативно (Белюченко, 1994, 1995). Особое значение имеет вегетативное размножение в уплотненных сообществах в условиях высокой конкуренции. Некоторые виды растений образуют семена, способные сохранять всхожесть в течение длительного времени (многие многолетние бобовые с мелкими семенами, пустынные однолетники и т. д.).

Таким образом, сопряженность в эволюции организмов, представляющих разные природные царства, является той основой, которая определяет и обеспечивает формирование и функционирование экосистем (Clay, 1988). Сопряженность эволюции организмов в разных условиях среды (плодородие почвы, ее аэрация, увлажнение, кислотность и т. д.) проходила и проходит по-разному. Именно эта особенность и определяет, прежде всего, видовой состав отдельных ценозов, их доминанты и биоразнообразие в том или ином регионе.

Глава 2. СОВМЕСТНЫЕ ПОСЕВЫ – СОВРЕМЕННАЯ ПРОБЛЕМА ПРАКТИЧЕСКОЙ ЭКОЛОГИИ

Интенсивное земледелие привело сегодня к значительному росту производства сельскохозяйственной продукции. Практически во всех странах господствуют чистые посевы культур, вызвавшие немало проблем в земледелии. Одновидовые агросистемы высокопродуктивны, но потенциально нестабильны, поскольку полностью зависят от весьма значительных ресурсов извне. В отличие от природных систем они слабо адаптивны, в них меньше возможностей для распределения питательных веществ, трансформации энергии и т. д.; они также больше подвержены стрессам, вызванным изменениями погодных условий. Кроме того, они более уязвимы к воздействию вредных и болезнетворных организмов, сильнее страдают от эрозии и сильно истощают плодородие почв (Алифиоров и др., 2007; Белюченко, 2010).

Создание условий для саморегулирования агроландшафтов строится на основе взаимодействия между их отдельными компонентами. Достигнуть этого можно при условии, что агросистема, подобно природной, будет отличаться разнообразием в видовом и трофическом отношениях. Полагают, что биологическое и структурное разнообразие агросистем и будет поддерживать многие циклические процессы, характерные для природных экосистем (Белюченко, 2001).

Создание совместных посевов – это сложная экологическая и хозяйственная проблема в современном растениеводстве. Для их создания используются культуры, выращиваемые обычно в чистых посевах. Успешное решение этой проблемы невозможно без всестороннего изучения взаимоотношений между разными видами, составляющими комплексное растительное сообщество. В связи с этим изучение биотических отношений, складывающихся в чистых и совместных посевах сельскохозяйственных культур, является весьма важным и своевременным (Белюченко и др., 2007; Белюченко, 2010).

Естественные и искусственные фитоценозы. В отечественной литературе посевы, состоящие из нескольких видов растений, выращиваемых при определенном загущении в сравнении с чистым посевом, известны как уплотненные и разделяются на три группы: 1) уплотненные в пространстве – одноукосные смеси (сюда относятся смешанные и совместные посевы), дающие за вегетационный период один урожай (укос); различие между смешанными и совместными посевами определено ГОСТом 16265–89, согласно которому смешанным называется посев компонентов в один рядок или в одно гнездо, а совместным – размещение компонентов в разных рядках или гнездах; 2) уплотненные во времени – промежуточные посевы, которые размещают в полях севооборота, незанятых основными культурами; 3) уплотненные в пространстве и времени – многоукосные посевы, состоящие из двух или нескольких видов растений, формирующих несколько укосов; такие посевы занимают площадь в течение всего вегетационного периода и позволяют наиболее интенсивно использовать почвенное плодородие. Предметом изучения настоящего раздела монографии являются совместные посевы (Белюченко, Мустафаев, 2013).

Перечисленные виды посевов, несмотря на разницу в технологиях их формирования и различия их функциональных задач, объединяет то, что продукционный процесс в них в значительной степени определяется межвидовыми взаимоотношениями и эколого-биологические принципы их создания основываются на одних и тех же теоретических предпосылках (Бенц, 1996). Классики русской биологической и сельскохозяйственной науки неоднократно обращали внимание на необходимость изучения совместных посевов культурных растений, ссылаясь при этом на более высокую продуктивность фитоценозов, состоящих из многочисленных видов (Белюченко, 2013; Belyuchenko, 2005).

В последние десятилетия широкое развитие получила идея аналогии естественных и искусственных фитоценозов, а отсюда и необходимость применения методов фитоценологии к исследованию полевых сообществ. В настоящее время выращивание сельскохозяйственных культур в большинстве случаев основывается на биологических и физиологических особенностях растений, полученных на уровне организма, а сам посев воспринимается как совмещение суммы особей (Белюченко, Славгородская, 2013; Belyuchenko, 2005).

Между тем фитоценоз нельзя свести к сумме его частей, а сами части нельзя познать вне их взаимодействия с фитоценозом как целым. Отсюда возникает необходимость существования двух взаимодополняющих направлений в изучении популяций культурных растений в совместных посевах: онтогенетического, рассматривающего биологические особенности онтогенеза и механизмы функционирования популяций как систем особей, и ценотического, рассматривающего популяции как элементы фитоценоза, а также механизмы адаптаций их к условиям последних. Основой таких исследований является системный подход (Пономарева, Белюченко, 2005; Белюченко и др., 2006; Белюченко, 2010).

Правомерность применения термина «фитоценоз» к полевым посевам дискутируется, в первую очередь, из-за отсутствия способности агрофитоценозов к самовосстановлению. В настоящее время вошел в обиход термин «культурофитоценоз» и как одна из его разновидностей – «агрофитоценоз». В состав агроценоза, помимо культурных растений, входят сорные растения, микориза на корнях культурных и сорных растений, почвенные микроорганизмы, клубеньковые бактерии и т. д. Агрофитоценоз существует, пока сохраняется один севооборот и одна система технологий выращивания культур: обработка почвы, использование пестицидов, удобрений, орошение (Белюченко и др., 2006; Белюченко, Волошина, 2007).

Рассмотрим взаимоотношения между культурами в совместных посевах. Сопоставляя и анализируя признаки, которые должны быть присущи агрофитоценозу для лучшей реализации им ресурсов плодородия, можно сделать вывод, что их объединяет некое общее свойство, заключающееся в расхождении видов по экологическим нишам. Концепция экологической ниши определяет место вида в биоценотической системе, его отношения с другими членами сообщества и приспособленность к определенным условиям среды. Различия экологических ниш являются отправным организующим элементом стабильности агроэкосистем. Развитие многовидового сообщества сводится к процессу дифференциации экологических ниш. Дифференциация реализуется за счет подбора видов, различных по своим биологическим особенностям, прежде всего отличающихся разным отношением к температуре и влаге – факторам, наиболее подверженным колебаниям по годам и менее всего поддающимся регулированию. Соединение в посевах тепло- и холодостойких, влаголюбивых и засухоус-

тойчивых культур позволяет в разные по погодным условиям годы получать стабильно высокие урожаи вегетативной массы и зерна за счет активизации компонента, для развития которого условия года оказались наиболее подходящими (Белюченко, Подаруева, 1990; 1992; Белюченко и др., 2001).

Подбор видов и сортов, у которых смещены критические фазы роста, позволяет использовать одни и те же факторы среды в определенной последовательности, в результате чего каждый вид в критический период лучше обеспечен необходимыми условиями, а посев в целом более успешно утилизирует доступные ресурсы. Напряженность пищевого режима в совместном посеве также может быть уменьшена за счет подбора компонентов с различным ритмом суточного поглощения питательных веществ (Белюченко, Боташова, 2003).

При прочих равных условиях продуктивность растительной ассоциации тем больше, чем больше в ней ярусов. С увеличением числа ярусов повышается вероятность более полного перехвата растениями солнечной радиации и участия ее в фотосинтезе. Для использования солнечной энергии с максимальной эффективностью ориентация листьев и расположение их по вертикали должны предотвращать взаимное затенение, что может быть достигнуто за счет использования в верхнем ярусе посева культур с вертикально расположенными листьями. Кроме того, в совместных посевах компоненты могут подбираться таким образом, что одни формируют рабочую поверхность листьев в первую половину вегетации, а другие – во вторую. Эффективное использование ФАР в большинстве случаев приводит к повышению урожайности совместных посевов по сравнению с чистыми. Оптимальная площадь листьев составляет 5–6 м² на 1 м² поверхности почвы. Дальнейшее увеличение рабочей фотосинтезирующей поверхности ведет к взаимному затенению и снижению эффективности фотосинтеза (Пономарева, Белюченко, 2005; Белюченко и др., 2007).

В совместных посевах складываются условия, позволяющие более рационально использовать основные условия среды: элементы минерального питания и влагу. Такое положение достигается увеличением суммарной мощности корневой системы в сравнении с чистыми посевами и распределением корневых систем отдельных видов по разным слоям почвы.

В практике сельского хозяйства совместные посевы несут прежде всего функциональную нагрузку. Чаще всего их роль связана с изменением качества урожая. Так, введение в посев бобового компонента преследует в первую очередь повышение содержания протеина в биомассе и увеличение его сбора с единицы площади. Кроме того, культуры с прочным неполегающим стеблем часто вводятся в посев в качестве опоры для полегающих или стелющихся культур.

В процессе отправления физиологических функций, связанных с потреблением питательных веществ и влаги, выделением через надземные и подземные части продуктов метаболизма, растения изменяют окружающую среду и являются, таким образом, экологическим фактором для произрастающих рядом растений и ассоциированных с ними прочих живых организмов. Поэтому в смешанном посеве для каждого компонента создаются условия, отличные от чистого посева. Это отражается на характере поступления питательных веществ и влаги в растения и влияет не только на количество образуемой биомассы, но и на ее химический состав. Установлено, что в бобово-злаковых смесях улучшается фосфорное и калийное питание злакового компонента и ухудшается питание бобового. По данным ряда исследователей, у бобовых снижается активность поглощения фосфора под действием метаболитов злаков. В то же время некоторые бобовые растения способны усваивать фосфор из труднодоступных соединений и улучшать через корневые выделения питание произрастающих с ними компонентов. В совместных посевах наблюдается и прямой обмен метаболитами между растениями через корневые выделения (Селиванов, 1981).

Улучшение азотного питания злаков в смешанных посевах может происходить за счет частичного отмирания клубеньков. Это является одной из причин обогащения, произрастающего совместно с бобовыми небобового компонента протеином в сравнении с чистой культурой (Работнов, 1979). Согласно представлениям других исследователей, не следует переоценивать значение бобовых как источника азота для злаковых в совместных посевах и не всегда участие бобовой культуры в агрофитоценозе влечет за собой обогащение протеином небобового компонента в сравнении с чистым его посевом.

Таким образом, расхождение видов культурных растений по экологическим нишам в совместных посевах дает растительному со-

обществу ряд преимуществ перед чистыми посевами культур. Однако взаимоотношения между растениями в совместных посевах сложны и многообразны, и поэтому не могут быть описаны только дифференциацией экологических ниш. Растения в процессе роста и развития вступают в сложные внутри- и межвидовые взаимоотношения: между сельхозкультурами, между ними и сорными растениями, насекомыми, патогенами и т. д. В целом эти отношения можно разделить на симбиотические и антагонистические. Большинство авторов сходятся во мнении, что основным фактором, определяющим развитие агроценоза, являются конкурентные взаимоотношения.

Конкурентные взаимоотношения. Они возникают прежде всего тогда, когда экологические ниши организмов по каким-либо факторам перекрываются. Внутривидовая и межвидовая конкуренция отрицательно влияет на организменные единицы (приводит к снижению выживаемости, скорости роста и размножения отдельных особей) и оказывает противоположное действие на толерантность популяции. Внутривидовая конкуренция может приводить к увеличению разнообразия используемых ресурсов популяций. Межвидовая конкуренция способствует ограничению диапазона местообитаний и ресурсов, используемых популяцией, поскольку виды, как правило, имеют различную способность осваивать местообитания и по-разному потреблять ресурсы (Благовещенский, 1966; Шмальгаузен, 1969; Бондарева, 1989).

Различают две основные формы конкурентных взаимоотношений: прямая (интерференция) и косвенная (эксплуатация). При прямой конкуренции между видовыми популяциями в фитоценозе складываются направленные антагонистические отношения, выражающиеся в формах взаимного угнетения: перекрытие доступа к ресурсу, химическое подавление конкурента и т. п. Фактически при интерференции реализуются различные формы антибиоза (Вронский, 1996). Косвенная конкуренция выражается в том, что один из видов монополизирует ресурс или местообитание, ухудшая при этом условия существования другого вида, обладающего сходными требованиями к среде и ресурсам. При этом не наблюдается прямых форм влияния видов друг на друга; успех в конкурентной борьбе при этом определяется биологическими особенностями вида: интенсивностью размножения, скоростью роста, интенсивностью использования ресурсов (Каратыгин, 1993; Бенц, 1996; Добровольская и др., 1997).

В двух- или трехвидовом посеве можно вычлени́ть конкуренцию какой-то пары видов. При этом различают конкуренцию симметричную, когда конкурентоспособность видов одинакова, и асимметричную, когда виды по этому показателю неравнозначны. В отношении однолетних совместных посевов основное значение приобретает межвидовая конкуренция в процессе онтогенеза растений. Для этого случая применима трактовка, согласно которой конкуренция – это любое взаимодействие между популяциями двух и более видов, которое неблагоприятно сказывается на их росте и выживаемости. Чем большее число видов произрастает на данной территории, тем более напряженные конкурентные отношения складываются между ними. Причем со стороны группы конкурентов одного вида конкурентное давление может быть сравнительно небольшим, а суммарное влияние нескольких видов может быть таким же сильным или сильнее, чем гораздо более интенсивное удельное конкурентное давление меньшего числа конкурирующих видов. Конкурентные отношения очень лабильны и в значительной степени зависят от природных условий. Малейшее изменение условий местообитания влечет за собой изменение качественных и количественных параметров в пределах конкурирующих видов (Куркин, 1986; Миркин, 1991).

В совместных посевах острые конкурентные отношения складываются при использовании в качестве компонентов культур с одинаковым периодом вегетации и сходными потребностями в основных жизненных факторах. Абсолютно идентичное потребление ресурсов или использование других элементов среды встречается редко. Если же таковой факт имеет место, то в результате либо более конкурентоспособный вид вытеснит (элиминирует) менее конкурентоспособный, либо оба вида будут сосуществовать при неполном использовании общих ресурсов. Наиболее конкурентоспособные виды уже на ранних этапах роста становятся доминантными и к концу вегетации формируют больше биомассы, и урожай их выше. Когда роль компонента-агрессора становится преобладающей, совместный посев может оказаться малочувствительным к различным технологическим приемам и наличие ресурсов начинает оказывать все большее влияние на урожай обоих компонентов. Наиболее напряженные отношения в совместном посеве различных видов складываются при конкуренции за свет, воду и элементы минерального питания (Третьякова и др., 1996).

Конкуренция за свет. В отличие от других факторов среды, таких как вода, элементы минерального питания или углекислый газ, свет не аккумулируется ни в почве, ни в атмосфере, ни в растениях. Световая энергия либо преобразуется в энергию химических соединений, либо рассеивается в виде тепла. Конкуренция за свет влияет на способность культурных и сорных видов растений использовать воду и минеральное питание, снижая производство продуктов фотосинтеза, необходимых для поддержания роста корневых систем. Затененные растения обычно имеют более низкое соотношение корня/крона, чем растения того же генотипа, произрастающие при полной освещенности.

Кроме того, полог растительности изменяет спектральный состав падающего света, в связи с чем изменяется соотношение инфракрасного и красного излучений. Это изменение качества света влияет на затеняемые растения через физиологические процессы, связанные с фитохромом. Изменение количества фитохрома в растениях включает механизм, позволяющий растениям избегать затенения вплоть до отклонения от объекта затенения еще до того, как затенение будет иметь место. Инфракрасное излучение влияет на морфогенез, понижая высоту растений, снижая ветвление, кушение и уменьшая диаметр стебля (Belyuchenko, 1964; Белюченко, 1977; Подаруева, Белюченко, 1990).

Многочисленные исследования показывают, что высота стебля и расположение листьев на растении на разных стадиях могут определять успех или неуспех в конкуренции за свет. Соотношение между площадью листьев компонентов и высота или ярус расположения основной массы листьев – основные факторы, влияющие на конкуренцию за свет. Угол расположения листьев также очень важен: виды с горизонтально расположенными листьями перехватывают большее количество солнечной радиации по сравнению с видами, у которых листья расположены вертикально, что повышает их конкурентоспособность в борьбе за свет. На исход конкуренции за свет большое влияние оказывают различия в физиологии и особенностях роста растений, носящие характер адаптаций. Эти адаптации включают низкий уровень дыхания и точку световой компенсации, а также большую площадь листьев или относительно большую площадь листового аппарата у затеняемого компонента (Антоненко, Белюченко, 2014; Белюченко, 2014).

При полевых исследованиях установлено, что быстро развивающиеся культуры (например, кукуруза или картофель) могут подавлять другие виды при конкуренции за свет, затеняя их. Так, при совместном возделывании кукурузы и сои в смешанных посевах индекс листовой поверхности сои снижался в среднем на 13,5–17,0 %, коэффициент светопередачи – на 0,5–2,3 %, а уровень чистой ассимиляции на 61–73,1 %.

Затенение может отрицательно сказаться на урожае, если растениям не хватает света для фотосинтеза. Так, при возделывании сои совместно с подсолнечником в результате затенения урожай семян сои снижался с 15,5 до 9,91 ц/га. Обычно в бобово-злаковых смесях бобовый компонент подвергается затенению. Затенение может вести к вытягиванию и ослаблению растений, и они легче подвергаются повреждению со стороны вредителей и болезней. Для других видов затенение может быть благоприятно, поскольку в этих условиях они меньше повреждаются высокими температурами и меньше страдают от недостатка влаги. В этом случае может оказаться, что урожай компонента из нижнего яруса выше, чем его урожай в чистом посеве. В целом высокие и энергично растущие компоненты посева доминируют над медленно растущими и низкорослыми, а вьющиеся над прямостоячими.

Конкуренция за воду. Вода или ее недостаток наиболее часто оказывается фактором, лимитирующим рост и развитие растений даже в областях с достаточным увлажнением. Недостаток воды имеет место, когда ее потери при транспирации превышают всасывание корнями. Снижение тургора уменьшает проницаемость цитоплазмы и захват углекислого газа. Недостаток воды снижает фотосинтез, лимитируя синтез хлорофилла, карбоксильных ферментов и их активность, процесс фосфорилиции и т. д. Рост листьев также чувствителен к недостатку влаги зависит от тургора и транспорта ассимилятов. Виды конкурируют за воду, снижая уровень доступной влаги для соседних видов. Эффективность использования воды, транспирационный коэффициент, устойчивость к затоплению и засухе специфичны для многих видов и влияют на исход межвидовой конкуренции. В большинстве случаев успех в конкуренции за доступную влагу определяется мощностью и глубиной проникновения корневой системы (Белюченко, 2015).

Исследования динамики продуктивности видов с C_3^- и C_4^- типами фотосинтеза показали, что продуктивность C_4 -видов снижается при максимальной доступности почвенной влаги, в то время как C_3 -виды наименее продуктивны в засушливых условиях.

Наиболее напряженные конкурентные отношения складываются при недостатке воды между культурными и сорными растениями. Большинство сорных видов являются «растратчиками» воды из-за того, что их питание меньше зависит от водного потенциала листьев, чем у культур, с которыми они конкурируют. Если к этому еще прибавить более мощную корневую систему или физиологическую устойчивость к засухе, то понятно, что сорные виды быстро осуществляют перехват доступной влаги, лишая культурные растения этого важного ресурса (Гукалов и др., 2005; Белюченко, 2015).

Конкуренция за влагу приводит к снижению урожайности менее конкурентоспособного вида. Если потенциальный урожай культуры уже снижен за счет недостатка воды, то конкуренция за остальные ресурсы (свет и минеральное питание) имеет малый эффект. Недостаток или избыток влаги может влиять на длительность критического по отношению к засорению периода.

Конкуренция за элементы минерального питания. Доступность элементов минерального питания и реакция почвенного раствора также влияют на конкурентные отношения в совместных посевах. Наиболее важными элементами, определяющими исход конкуренции, являются азот, фосфор и калий. Обеспеченность этими элементами в значительной степени определяет отношения между бобовыми и злаками в посевах. Бобовые особенно чувствительны к недостатку калия, но они успешнее, чем злаки, усваивают фосфор из труднодоступных соединений, к тому же за счет симбиотической азотфиксации они не нуждаются в дополнительном обеспечении азотом. Для злаков наиболее важным элементом минерального питания, лимитирующим конкурентоспособность вида, является азот. При внесении азотных удобрений конкурентоспособность злаков сильно возрастает, а конкурентоспособность бобового компонента, напротив, снижается в результате подавления синтеза азота клубеньковыми бактериями. Однако наибольший успех в конкуренции за фосфор злаки имеют при низком уровне азота в почве (Белюченко и др., 2005; Белюченко, 2015).

Некоторые авторы указывают на более высокий потенциал роста злаков с C_4 -типом фотосинтеза в сравнении с бобовыми, имеющими

C₃-тип фотосинтеза, на фоне удобрений; при достаточном азотном питании злаки более успешно усваивают азот из удобрений. Бобовые имеют более интенсивный катионный обмен в зоне корней по сравнению со злаками. Почвенное плодородие влияет на успех конкуренции между культурными и сорными видами. Внесение высоких доз удобрений смещает успех конкуренции в сторону сорных растений, так как в силу биологических причин удобрения стимулируют их рост гораздо интенсивнее, чем рост культурных (Белюченко и др., 2015).

Температурный режим. Помимо обеспеченности растений водой, светом и минеральным питанием, на исход конкуренции в значительной степени влияет температурный режим, являющийся одним из главных факторов, регулирующих сезонное развитие растений и видовой состав растительных сообществ. Температурный фактор регулирует, в частности, отношения между культурными и сорными видами. Например, в Японии низкие температуры в начальный период вегетации благоприятствуют росту культурных растений, причем в большей степени злакам (кукуруза) и в меньшей степени бобовым (соя, арахис), обеспечивая им превосходство над сорными видами; в последующий период повышение температуры усиливает рост сорных и угнетает развитие культурных растений. Было также замечено, что повышение температуры от 15 до 25 °С в 8 раз увеличивает число клубеньков на растении сои, при этом их сухая масса увеличивалась в 4 раза, а сырая в 5 раз, что в определенной степени смещает успех конкуренции в сторону бобового компонента (Belyuchenko, 1981).

Содержание углекислого газа. Углекислый газ в атмосфере также некоторым образом влияет на исход конкурентных отношений. Концентрация углекислого газа влияет на эффективность использования воды растениями, площадь листьев, содержание хлорофилла и активность ряда ферментов. Известно, что растения с C₃-типом фотосинтеза более зависимы от концентрации углекислого газа, чем растения с C₄-типом фотосинтеза. Такое различие – важный фактор в конкуренции между культурными и сорными растениями, так как наиболее распространенные сорные растения имеют C₄-тип фотосинтеза, в то время как большинство культурных имеют C₃-тип фотосинтеза.

Трансбиотические отношения. Помимо вышеперечисленных факторов на конкурентные отношения влияют и так называемые трансбиотические отношения. Эта форма влияния проявляется че-

рез действие третьего организма. Проводниками этих отношений могут быть животные, избирательно выедающие растения, вредители и болезнетворные микроорганизмы, также избирательно поражающие определенные виды растений и человека, которому принадлежит особая роль в регулировании конкурентных отношений (Белюченко, 1977).

В ходе реализации хозяйственной деятельности человек изменяет ряд параметров, изначально присущих обрабатываемым территориям. Это влияние проявляется через применение различных технологических приемов, включающих способы обработки почвы, применение удобрений и средств химической защиты, орошение, а также через регуляцию численности сорных растений на единицу площади путем регулирования норм высева, сроков сева и прямого уничтожения при прополках и прореживании.

Агротехника может повысить доступность ресурсов или обеспечить их приток извне. Например, путем уничтожения сорной растительности человек может высвободить для культурных растений ресурсы, сконцентрированные в нишах, первоначально занятых сорными видами. Однако уничтожение сорняков ради получения высоких урожаев приводит к недополучению почвой органического вещества в количестве 6,6–34,9 т/га в пересчете на сухое вещество.

Сорняки являются обязательным компонентом агроценоза и кроме общеизвестного вреда, причиняемого культурам, оказывают ряд положительных воздействий. При контролируемой численности они не снижают урожая и нормализуют экологическую обстановку в агроценозе. Сорняки, обладая более глубокой корневой системой, интенсифицируют кругооборот минеральных элементов между приповерхностными и более глубокими горизонтами почвы, защищают ее от эрозии в регионах с ливневым характером выпадения осадков, повышают биологическую активность почвы. Минеральные вещества, использованные сорняками для питания, остаются в почве. При заделке в почву их органическое вещество минерализуется, и питательные вещества включаются в общий круговорот. Есть еще несколько аспектов пользы, которую можно получить от сорняков: аллелопатическое ингибирование или угнетение некоторых, особо вредных сорных видов; предоставление крова и пищи полезным организмам, главным образом насекомым; отпугивание или угнетение вредных организмов, а также создание видového и структурного раз-

нообразия агросистем (Белюченко, Кураков, 1990; Кураков, Белюченко, 1990).

При оценке конкурентных отношений внутри сообщества большое значение имеют взаимоотношения на генотипическом уровне. Сорты различаются по конкурентоспособности. Снизить конкуренцию в посевах можно, используя виды и сорта, дополняющие друг друга в плане утилизации ресурсов. Раскрытие механизмов конкуренции необходимо для создания продуктивных и устойчивых систем, в которых заданные параметры будут определять конечный результат в большей степени, чем случайные факторы.

Трудность познания механизмов конкуренции и управления ею состоит в необходимости расчленения сложного многофакторного процесса на элементарные действия за овладение отдельными факторами. С другой стороны, реальную картину можно получить только при целостном рассмотрении процесса на уровне ценоза. Объективно измерить и выразить конкуренцию как особый процесс взаимодействия растений еще никому не удалось. Тем не менее существуют попытки качественной и количественной оценки конкурентных отношений. В таких исследованиях за основу принимаются густота стояния и урожайность видов в чистых и совместных посевах (Подаруева, Белюченко, 1990).

Можно отметить более низкие значения коэффициента вариации у культурного растения по сравнению с сорным в группах с большим числом компонентов. У культурных растений по сравнению с дикорастущими конкуренция в чистых посевах ниже благодаря длительной искусственной селекции на устойчивость к загущению.

Некоторые подходы к оценке конкуренции видов. Один из подходов к оценке конкуренции – это использование индекса Макчилчриста, представляющего эмпирический показатель конкурентного влияния видов друг на друга (Миркин и др., 1989); различают:

1. Показатель преимущества одного вида над другим:

$$I_{ij} = \frac{1}{2} [(a_{ij} - a_{ii}) + (a_j - a_{ij})],$$

2. Показатель подавления одного вида другим:

$$I_{ij} = \frac{1}{2} [(a_{ij} - a_{ii}) + (a_{jj} - a_{ji})],$$

где a_{ij} – урожайность вида i , произрастающего совместно с видом j ;
 a_{ii} , a_{jj} – урожайность видов i и j в чистом посеве.

В этой формуле не учитывается густота стояния растений, от которой в большой степени зависит сила подавления одного вида другим, так как при обилии одного вида в посеве он будет подавлять другой, находящийся в меньшинстве, если даже его конкурентная сила меньше (Бенц, 1996).

Многими исследователями используются следующие формулы для оценки конкурентных взаимоотношений видов в совместных посевах:

1. Относительный коэффициент покрытия (Relativ Crowing Coefficient RCC), (de Witt, 1960).

$$RCC_{ав} = \frac{y_{ав}}{y_{аа} - y_{ав}} \times \frac{П_{ва}}{П_{ав}} \quad \text{и}$$

$$RCC_{ва} = \frac{y_{ва}}{y_{вв} - y_{ва}} \times \frac{П_{ав}}{П_{ва}},$$

где $y_{ав}$ – урожайность культуры «а» в совместном посеве с культурой «в», т/га;

$y_{ва}$ – урожайность культуры «в» в совместном посеве с культурой «а», т/га;

$y_{аа}$ – урожайность культуры «а» в чистом посеве, т/га;

$y_{вв}$ – урожайность культуры «в» в чистом посеве, т/га;

$П_{ав}$ – доля участия культуры «а» в совместном посеве, %;

$П_{ва}$ – доля участия культуры «в» в совместном посеве, %.

2. Коэффициент конкурентоспособности (Competitive Ratio – CR), (Willey и Rao, 1980):

$$CR_a = \frac{y_{ав}}{y_{аа} \times П_{ав}} \times \frac{y_{ва}}{y_{вв} \times П_{ва}} \quad \text{и}$$

$$CR_b = \frac{y_{ва}}{y_{вв} \times П_{ва}} \times \frac{y_{ав}}{y_{аа} \times П_{ав}},$$

где условные обозначения те же, что и в предыдущей формуле.

3. Агрессивность (Agressivity – A), (Willey и Rao, 1980):

$$A_{ав} = \frac{y_{ав}}{y_{аа} \times П_{ав}} \times \frac{y_{ва}}{y_{вв} \times П_{ва}},$$

$$A_{aa} = \frac{y_{sa}}{y_{ss} \times \Pi_{sa}} \times \frac{y_{as}}{y_{aa} \times \Pi_{as}},$$

где $A_{ав}$ – агрессивность вида «а» по отношению к виду «в»;
 $A_{ва}$ – агрессивность вида «в» по отношению к виду «а».

Ряд авторов (Willey, Banic, 1979, Nugroho, 1994, Bagehi, 1996) считает вышеперечисленные показатели частными случаями Коэффициента использования площади посева – LER (Lend Equivalent Ratio).

$$LER = LER_a + LER_b,$$

где LER_a – коэффициент использования площади посева культурой «а»;

LER_b – коэффициент использования площади посева культурой «в».

$$LER_a = \frac{y_{ав}}{y_{aa}}$$

$$LER_a = \frac{y_{ва}}{y_{вв}}$$

(Weil, Mc Faden, 1991, Nugroho, 1994).

Значение LER интерпретируется как площадь, требующаяся чистому посеву культуры для достижения урожайности той же культуры при выращивании ее в совместном посеве (Willey, 1979). Чем выше показатель LER, тем выше эффективность совместного посева. При использовании данного коэффициента объективные результаты могут быть получены только в том случае, если культура в совместном посеве выращивалась при оптимальной густоте, т. е. урожай ее был близок к максимальному.

При вычислении LER используется густота стояния растений, определенная нормой высева. За период вегетации этот показатель может измениться, поэтому Bank и Bagghi предложили использовать такой показатель, как ДПУ – действительные потери/прибавки урожая (Actual yield loss or gain). При этом учитывается норма высева и густота стояния на момент учета:

$$\text{ДПУ} = \left(\frac{Y_{ав}}{P_{ав}} \div \frac{Y_{аа}}{P_{аа}} - 1 \right) + \left(\frac{Y_{ва}}{P_{ва}} \div \frac{Y_{вв}}{P_{вв}} - 1 \right) = \text{ДПУ}_а - \text{ДПУ}_в.$$

ДПУ показывает уменьшение или увеличение урожайности видов «а» и «в» в совместных посевах по сравнению с чистыми посевами тех же видов. ДПУ можно использовать даже при рассмотрении отдельных растений (Bank, Bagghi, 1996).

Nugroho (1994) считает, что конечный урожай является наиболее важным критерием при оценке конкурентоспособности. Но изучение конечных урожаев отдельных культур не дает ничего для понимания процесса формирования конечного результата и поиска способов получения нужного результата. Он считает, что получение необходимых знаний дает двухфакторный графический метод. Этот метод позволяет не только оценивать урожай двух культур как результат воздействия условий выращивания и преимущества одной культуры над другой, как LER (по Willey, 1979), но может быть использован для определения степени доминирования (по урожаю) культур в данном конкретном случае. Этот же метод может быть использован и для изучения влияния на растения не только конкурирующей культуры, но и света, воды, температуры и т.д.:

$$LER_a = \frac{(1 + \lambda)LER_b - \lambda}{(LER_b + 1) - \lambda}$$

$$LER_b = \frac{(1 + \lambda)LER_a - \lambda}{(LER_a + 1) - \lambda},$$

где LER_a – LER для культуры «а»;

LER_b – LER для культуры «в»;

$$\lambda = \frac{Y_{ав}}{Y_{ва}}.$$

Отмечается, что характер зависимости рассматриваемых показателей представляет собой параболу.

Для оценки конкурентных отношений в посевах Зуза (1994) предлагает использовать коэффициент темпов изменения удельного веса компонентов агрофитоценоза – Т.

$$T = \frac{Mi + 1}{n - 1},$$

где M_i – удельный вес (в % или долях единицы) конкретного вида или группы растений в общей биомассе ценоза в определенный момент наблюдения;
 n – число сроков наблюдений.

Одним из показателей конкурентных возможностей растений может служить следующий коэффициент:

$$K = \frac{T_k}{T_c},$$

где T_k , как и T_c , – коэффициенты темпов изменения удельного веса биомассы в агроценозе культуры и определенного вида или группы сорных растений. Условно для оценки конкурентоспособности можно принять следующую шкалу:

1,0 и меньше – малоконкурентоспособные,
 1,1–2,0 – недостаточно конкурентоспособные,
 2,1–3,0 – конкурентоспособные,
 выше 3,0 – высококонкурентоспособные.

Маслоброд и др. (1994) критерием оценки конкурентоспособности предлагают использовать степень синхронизации морфобиологических параметров растений в фитоценозе. Критерием степени синхронизации можно считать величину стандартного отклонения от средней в процентах, или коэффициент вариации. По-видимому, наименьшим коэффициентом вариации и наиболее прочной связью характеризуются конкурентоспособные сорта. Приоритетными признаками для оценки конкурентоспособности могут служить высота растений, диаметр стебля, площадь листовой поверхности, коэффициент пропускания света при $\lambda = 650$ нм, у наиболее структурно сформированного листа (четвертого) показатель коррелирует с содержанием в листе хлорофилла.

Можно отметить более низкие значения коэффициента вариации у культурного растения по сравнению с сорным в группах с большим числом компонентов. Это совпадает с мнением Сакаи, о том, что у

культурных растений по сравнению с дикорастущими конкуренция в чистых посевах ниже благодаря длительной искусственной селекции на устойчивость к загущению (Маслоброд и др., 1994).

Как уже отмечалось выше, большинство авторов считают конкурентные отношения определяющими в формировании фитоценозов, однако конкуренция на любом уровне организации живого, хотя бы в потенции, сопровождается другими формами взаимодействия между живыми организмами.

Растения, микрофлора и мезофауна в совместных посевах. Известно, что совместные посевы изменяют ряд параметров окружающей среды, что в свою очередь ведет к изменению качественного и количественного состава организмов, приуроченных к определенным местообитаниям. Ряд авторов указывают на существование взаимосвязи между способом посева культур, агротехникой и составом микробонаселения почвы. Выявление этой взаимосвязи важно не только с точки зрения повышения видового разнообразия в агроценозах (Белюченко, Каримов, 1994; Белюченко, 1999).

Известно, что микроорганизмам принадлежит значительная роль в формировании уровня почвенного плодородия. Они обуславливают интенсивность и направленность процессов разложения растительных остатков, синтеза и деструкции гумуса, формирования фитосанитарного состояния почв, накопления в ней биологически активных веществ и фиксации атмосферного азота, что в конечном итоге определяет уровень урожайности сельскохозяйственных культур. В зависимости от вида культуры и способа обработки почвы микробный азот составляет 150–200 кг/га, или 6–10 % от общего азота почвы. Растения включают от 10 до 30 % азота почвенных микроорганизмов (Белюченко, Антоненко, 2015).

Между типом почвы и составом ее микробонаселения существует определенная зависимость, обусловленная географическими и экологическими факторами. Многолетние исследования на базе ВНИИМКа (Краснодар) и СКНИПТИАПа (Краснодарский край) свидетельствуют о том, что микробоценоз пахотного слоя выщелоченного чернозема на 90 % и более составляют бактерии. Доля актиномицетов составляет 2–5 %, микромицетов 0,1–0,3 % от общего количества определяемых микроорганизмов. Бактерии представлены в основном неспороносными формами, среди которых преобладают представители рода *Pseudomonas*. Численность спорообра-

зующих бактерий часто на 1–2 порядка ниже. Доминирующими видами среди бацилл являются *Bacillus megaterium* и *B. mesentericus*, гораздо реже встречаются *B. idosus* и *B. mycoides*.

Таксономический состав актиномицетов и микроскопических грибов в выщелоченном черноземе достаточно однообразен. Среди актиномицетов наиболее широко распространены виды: *Actinomyces albidus*, *A. griseus* и *A. violaceus*. Колонии с розовым и коричневым пигментами встречаются лишь изредка. Отмечается наличие антагонизма между представителями рода *Actinomyces* и *Bacillus megaterium* var. *phosphaticum*. В составе микофлоры доминируют представители родов *Penicillium*, *Aspergillus*, *Trihoderna*, много аспорогенных форм. *Alternaria* и *Cladosporium* встречаются реже. При насыщении почвы минеральными удобрениями увеличивается количество видов *Penicillium* и *Fusarium* (Белюченко, Кураков, 1990; Белюченко, Каримов, 1994).

Что касается физиологических групп микроорганизмов, то в выщелоченных черноземах наиболее многочисленны сообщества микроорганизмов, связанные с трансформацией в почве азота и фосфора, часто не уступающие по количеству автохтонной (гумусо-разлагающей) микрофлоре. Значительно беднее представлены микроорганизмы, разлагающие клетчатку.

Бактерии, минерализующие органический азот, по количеству превышают численность бактерий, использующих минеральный азот. Значительно меньше денитрифицирующих и особенно нитрифицирующих (менее нескольких тысяч клеток в 1 г сухой почвы) бактерий. Вместе с тем нитрификационная способность почвы высокая. Из свободноживущих азотфиксаторов повсеместно встречается *Clostridium pasteurianum*. *Azotobacter* широко распространен, но в местных условиях он размножается как эфемер весной, и поэтому частота встречаемости азотобактера в почвах Кубани не может являться показателем их агрономической ценности (Кураков, Белюченко, 1990).

В разложении целлюлозы на Кубани ведущую роль играют грибы и в меньшей степени актиномицеты родов *Actinomyces albidus* и *A. griseus*. Особенно большое количество актиномицетов появляется летом при длительном отсутствии осадков. Целлюлозоразлагающие бактерии редки, и кратковременные вспышки их развития обнаружи-

ваются в почвах с благоприятным водным и азотным режимами. Доминируют при этом бактерии родов *Cytophaga* и *Cellvibrio*.

В процессах минерализации органического фосфора в почвах Кубани принимают участие и бактерии, и актиномицеты, и микроскопические грибы, продуцирующие фосфатазу. Среди этой группы микроорганизмов *Pseudomonas fluorescens* и *P. liquefaciens* выделяются способностью образовывать биологически активные вещества (Белюченко, 2015).

Наиболее биогенным и полно отражающим специфику микрофлоры является верхний слой почвы 0–20 см. Таким образом, данные почвы обладают высокой относительной численностью бактерий, развивающихся на бедных питательных средах, и микроорганизмов, разрушающих труднодоступные для растений органические фосфаты почвы. Эти почвы обладают значительной нитрификационной и целлюлозоразрушающей способностью, то есть в почве протекают интенсивные мобилизационные процессы.

Сезонная биология почвы при возделывании поздних яровых культур (с конца весны по начало осени) характеризуется следующими показателями: 1) численность бактерий максимальна в период достаточного увлажнения – весной и осенью, летом при недостатке влаги в почве их количество уменьшается; 2) численность актиномицетов максимальна при жаркой сухой погоде летом; 3) численность грибов увеличивается при низких температурах и высокой влажности почвы – осенью и в начале весны.

Известно, что растения через корни выделяют в окружающую среду целый набор различных органических соединений. Продуцируемые растениями вещества служат источником питания ризосферным микроорганизмам. Последние, как известно, благотворно влияют на растения, стимулируя фотосинтетические и ростовые процессы. Это происходит в силу выделения микроорганизмами витаминов и фитогормонов, продуцирования ими антибиотиков, ингибирующих развитие патогенных грибов и перевод минеральных элементов в доступную для растений форму.

Изучение взаимоотношений микроорганизмов с корневой системой представляет традиционный интерес как с практической, так и с теоретической точек зрения. Специфика условий жизнедеятельности микроорганизмов в ризосфере, механизмов колонизации ризопланы, благоприятные и неблагоприятные последствия этих процессов для

растений – все эти вопросы непосредственно связаны с состоянием растений и их урожайностью. Для успешного решения этой проблемы необходимо изучение основных принципов функционирования микробных комплексов прикорневой зоны растений, ее специфичности и ее отличий от почвы без растений (Белюченко и др., 2015).

Для характеристики микробных сообществ, рассматриваемых в масштабе сообщества, можно применять показатели 2 типов: инвентаризационные валовые усредненные показатели – средняя плотность микроорганизмов в различных субстратах, общий список таксонов (α -разнообразии) и дифференцированные показатели, характеризующие пространственную и синтипологическую структуру сообщества, – тип распределения по ярусам, спектр потенциальных доминантов, соотношение экологических групп (β -разнообразии).

Первый из указанных методов более консервативен, второй более динамичен и лучше отражает особенности различных микробных сообществ. Микробоценозы ризосферы и ризопланы по ряду параметров отличаются от микробоценоза почвы. Отдельные участки корня обладают собственной спецификой как местообитание микроорганизмов. Гетерогенность корня сказывается главным образом в ризоплане и в меньшей степени в ризосфере, микрофлора которой в основном реагирует на сукцессионные события в окружающей среде.

В литературе сложилось мнение о ризосфере и ризоплане как особо благоприятных местообитаниях микроорганизмов. Однако до сих пор не решен вопрос о специфичности микробного комплекса прикорневой зоны. Исследования, проведенные в Молдавском НИИПКе, показали, что видовой состав в зоне деятельности корней в первую очередь зависит от вида возделываемой культуры, хотя состав почвенной микрофлоры остается относительно постоянным. Опыты, проведенные на базе МГУ, напротив, свидетельствуют об однотипности таксономической и кинетической структуры комплексов почвы, ризосферы и ризопланы. В ходе опытов не удалось показать, что прикорневая зона является для микромицетов существенно более благоприятной, принципиально иной средой по сравнению с почвой. Если доминирование грибной массы почвы являлось хорошо проверенным фактом, то вопрос о роли грибов в ризосфере, исключая микоризу и фитопатогены, остается дискуссионным. Между тем соотношение грибов и бактерий в прикорневой зоне представляет гораздо больший интерес, чем тот же показатель в почве (Белюченко, 2015).

Доминирование биомассы грибов над биомассой бактерий и актиномицетов отмечают в почве и ризосфере, в ризоплане же масса грибов сопоставима с массой прокариот. При решении задач о полном таксономическом спектре и определении экологических ниш микроорганизмов обращается большое внимание на значимость сукцессионного фактора. Динамика бактерий, актиномицетов и грибов в прикорневой зоне не отличается от таковой в почве, в том числе при применении удобрений. Отмечается задержка в развитии растений в удобренных вариантах на начальных этапах вегетации, что вызвано конкуренцией за азот в ризоплане опытных растений, где азот является остродефицитным ресурсом (Belyuchenko, 1981).

Известно, что при совместном возделывании бобовых и злаковых культур происходит сложное взаимовлияние компонентов смеси, сказывающееся на активности микрофлоры, а также на физиологических и биохимических процессах, протекающих в надземных органах растений. В смешанных посевах сопутствующие культуры могут оказывать стимулирующее или угнетающее действие на развитие ризосферной микрофлоры. Эти процессы во многом зависят от компонентов смеси. Отличается динамика развития ризосферной микрофлоры в смешанных посевах от динамики микрофлоры культур в чистых посевах. Как правило, соя оказывала положительное влияние на микрофлору ризосферы кукурузы. Наибольшее количество микроорганизмов в ризосфере чистых, а особенно смешанных посевов, отмечается при недостатке влаги в почве, что объясняется тем, что при пониженной влажности почвы увеличивается выделение корнями растений сахаров и аминокислот, которые определяют развитие микроорганизмов в почве корневой зоны, особенно у культур, возделываемых в смеси. При достаточном увлажнении различия в численности ризосферных микроорганизмов в чистых и совместных посевах сглаживаются, но не устраняются (Белюченко, 2015).

Образование клубеньков на корнях бобовых происходит лучше при достаточном количестве влаги в почве. Количество клубеньков на корнях сои при совместном посеве с кукурузой выше при разной влажности почвы, чем на корнях растений чистого посева. При этом в совместных посевах клубеньки формируются более крупные, тургор у них сильнее и содержимое более интенсивно окрашено в розовый цвет. Химический состав клубеньков различных типов посевов различался незначительно.

Видовой состав микрофлоры ризосферы сельскохозяйственных культур, возделываемых в совместных посевах, изучен недостаточно. Основными формами бактерий в ризосфере сои и кукурузы являются неспоронные (95 %). Отмечается отсутствие существенных отличий в родовом составе ризосферной микрофлоры чистых и смешанных посевов кукурузы и сои. Преобладающими в прикорневой зоне являются представители родов *Pseudomonas* и *Bacterium*. В видовом составе микроорганизмов ризосферы кукурузы и сои встречаются одни и те же представители. Различия имеются в количественном составе представителей видов и количестве доминантных видов.

Некоторыми исследованиями установлено, что на численность и активную биомассу почвенных микробных сообществ прямо и косвенно влияют почвенные беспозвоночные. Это проявляется через изменение представителями мезофауны некоторых агрофизических (водопроницаемость, аэрация и плотность) и агрохимических характеристик почв. Их средообразующая деятельность включает изменение биологической активности почв, темпов и характера разложения растительных остатков. Общая сумма белковых аминокислот в экскрементах почвенных беспозвоночных в 1,5–2 раза выше, чем в почве (Антоненко и др., 2014).

Активность почвенной мезофауны может стимулировать развитие сапротрофной микрофлоры почвы. В экскрементах диплопод и червей численность штаммов бактерий типа *Pseudomonas* sp. и *Promicromonospora citrea* возрастает в 2–30 раз по сравнению с кормом. Установлено, что увеличение числа бактерий в экскрементах кивсяков и червей происходит в основном за счет граммотрицательных анаэробных бактерий.

Действие почвенной мезофауны благоприятно сказывается на доступности для растений азота, фосфора и прочих минеральных элементов. Это определяет благотворное воздействие беспозвоночных на рост корней и первичную продукцию в целом. Качественный и количественный состав микрофлоры и мезофауны зависит от способа посева и агротехники сельскохозяйственных культур и находится в динамическом равновесии. Изменение параметров среды влечет за собой изменения в сообществах вышеупомянутых организмов.

Таким образом, анализ литературы показал, что взаимоотношения культур в совместных посевах в нашей стране изучены крайне недостаточно. Большинство исследователей рассматривают агроце-

ноз только как продуцент фитомассы. Такой подход часто исключает рассмотрение совместного посева как фитоценоза со сложными внутри- и межвидовыми отношениями. Между тем именно специфичность межвидовых отношений определяет в значительной степени рост и развитие компонентов совместного посева, его временную и пространственную структуру, ход продукционного процесса и коренным образом отличает его от чистого посева. В связи с этим мы задались целью изучить некоторые аспекты биотических взаимоотношений в чистых и совместных посевах сои в условиях Кубани. В качестве объекта исследований нами были выбраны посева, включающие растения сои, сорго и амаранта в различных сочетаниях. Результаты этих исследований будут изложены в последующих материалах, помещенных в этой же главе.

Важнейшую роль в круговороте веществ в природе, почвообразовании и плодородии почв наряду с микроорганизмами играют животные, особенно беспозвоночные – самая богатая видами группа животных. Она насчитывает около миллиона только известных видов; их изучение продолжается. Основной этап любого полевого почвенно-зоологического исследования – это определение численности почвенных животных и выявление закономерностей их распределения. Такие данные необходимы для оценки почвообразовательной роли почвенных животных в разных ее аспектах (Белюченко, 2015).

Почвы агроландшафтов отличаются от целинных аналогов значительными изменениями свойств, возникновение которых связано с воздействием техники и сельскохозяйственных животных, изменением растительности, почвенной флоры и фауны, объема поступающей с опадом органического вещества, внесением удобрений и пестицидов. В 2005 г. были проведены экологические исследования в Ленинградском районе Кубани (х. Коржи), где основная площадь земель отнесена к категории сельскохозяйственных и экологические функции этих почв во многом определяют экологическое состояние больших территорий северной части края. Были отобраны пробы почвы в зимний, весенний, летний и осенний периоды для изучения почвенных беспозвоночных.

На первом полигоне было обнаружено 6 классов почвенных беспозвоночных: *Nematoda*, *Insecta*, *Myriapoda*, *Crustacea*, *Olygochaeta* и *Gastropoda*. Доминирующую группу по всем сезонам составляли представители из класса *Olygochaeta* (дождевые черви) и *Insecta*, п/кл. *Acarina* (клещи). В зимний период их количество составляло 23,64 и

50,5 %, соответственно в весенний – 47,7 и 13,72 %, в летний – 73,3 и 26,6 % (таблица 1). В осенний период клещей не обнаружено, а дождевые черви составили 64 %.

Таблица 1 – Состав почвенной фауны на первом полигоне

Видовой состав	Сезоны			
	Зима	Весна	Лето	Осень
Класс <i>Nematoda</i>		15,75/0,084	2,5/0,0008	–
Класс <i>Insecta</i>				
П/кл <i>Acarina</i>	27,14/0,0162	240,15/5,563	13,75/0,076	–
Отр. <i>Diplura</i>				–
Сем. <i>Yarigadae</i>	–	–	3,75/0,75	–
Сем. <i>Collembola</i>	17,28/0,016	144,66/2,34	–	–
Отр. <i>Diptera</i>	2,38/0,002		5,0/0,01	3,0/0,61
Отр. <i>Lepidoptera</i>	–	–	-	7,0/1,4
Отр. <i>Hemiptera</i>	–	–	1,25/0,038	-
Отр. <i>Coleoptera</i>	2,46/0,005	3,57/0,073	–	7,0/1,47
Сем. <i>Carabidae</i>	–	1,19/0,071	–	–
Сем. <i>Elateridae</i>	–	1,19/0,035	–	–
Сем. <i>Coccinilidae</i>	1,23/0,001	-	–	–
Отр. <i>Hymenoptera</i>	–	1,19/0,01	–	–
Сем. <i>Formicidae</i>	1,23/0,003	-	–	–
Класс <i>Myriapoda</i>				
Отр. <i>Geophilomorpha</i>				
Сем. <i>Geophilidae</i>	1,23/0,0006	11,9/0,151	8,75/0,147	1,0/0,25
Отр. <i>Diplopoda</i>				
Отр. <i>Juliformia</i>				
Сем. <i>Juloidae</i>	2,46/0,014	2,38/0,031	7,5/0,101	-
Класс <i>Crustacea</i>				
Отр. <i>Isopoda</i>				
Сем. <i>Oniscidae</i>	1,23/0,005	5,95/0,08	2,5/0,026	-
Класс <i>Olygochaeta</i>				
Сем. <i>Lumbricidae</i>	57,96/0,799	68,99/4,238	5,0/1,193	32,0/6,86
Класс <i>Gastropoda</i>	6,17/0,005	5,95/0,027	18,75/0,188	-
Итого	114,77/0,866	502,87/12,703	18,75/2,529	50,0/10,59
Примечание. В числителе – количество экз./м ² , в знаменателе – биомасса г/м ² .				

В почве второго полигона были обнаружены представители также 6 классов почвенных беспозвоночных: *Nematoda*, *Insecta*, *Myriapoda*, *Crustacea*, *Olygochaeta* и *Gastropoda*. Здесь доминантами также являлись гумусообразователи: дождевые черви (класс

Olygochaeta), клещи (п/кл. *Acarina*) – в зимний период 42,8 и 15,48 % соответственно, в весенний период – 19,87 и 26,62 %, в летний период встречались представители п/кл. *Acarina* (клещи) – 20,67 %, в осенний период представители класса *Olygochaeta* (дождевые черви) – 58,77 % (таблица 2).

Таблица 2 – Состав почвенной фауны на втором полигоне

Видовой состав	Сезоны			
	Зима	Весна	Лето	Осень
Класс <i>Nematoda</i>	3,4/0,005	53,21/0,036	1,04/0,0004	-
Класс <i>Insecta</i>				
П/кл. <i>Acarina</i>	29,51/0,349	64,16/5,552	6,24/0,013	-
Отр. <i>Diplura</i>				
Сем. <i>Collembola</i>	13,63/0,0205	99,78/4,27	-	-
Отр. <i>Diptera</i>	5,67/0,014	3,121/0,019	-	1,0/0,26
Отр. <i>Coleoptera</i>	11,33/0,016	7,29/0,022	3,12/0,012	3,0/4,13
Сем. <i>Carabidae</i>	1,13/0,011	1,04/0,134	-	3,0/0,61
Сем. <i>Staphilinidae</i>	-	1,04/0,003	-	-
Отр. <i>Hymenoptera</i>				
Сем. <i>Formicidae</i>	2,26/0,665	-	-	41,0/7,32
Класс <i>Myriapoda</i>				
Отр. <i>Geophilomorpha</i>	3,39/0,01	1,04/0,046	2,08/0,037	4,0/0,89
П/кл. <i>Diplopoda</i>				
Отр. <i>Juliformia</i>	31,79/0,043	7,285/0,064	3,12/0,036	9,0/1,89
Класс <i>Crustaceae</i>				
Отр. <i>Isopoda</i>				
Сем. <i>Oniscidae</i>	1,13/0,002	-	-	1,0/0,22
Класс <i>Olygochaeta</i>				
Сем. <i>Lumbricidae</i>	81,68/0,121	47,905/152,051	1,05/0,056	67,0/14,65
Класс <i>Gastropoda</i>	5,67/0,435	3,12/0,017	12,49/0,476	22,0/4,77
Итого	190,59/1,693	240,99/162,214	30,18/0,646	114,0/31,74

Дождевые черви (класс *Olygochaeta*) роют ходы в земле до 2 м глубиной. Летом они держатся в поверхностных слоях почвы, а зимуют в нижних частях своих ходов – там, где земля не промерзает. В течение зимы дождевые черви ведут активный образ жизни и не мигрируют в нижние слои почвы. В нашем случае в зимний период было найдено значительное количество этих представителей (50,5 %

на первом и 42,8 % на втором полигоне), что объясняется оптимальными температурами в зимний период.

Количество беспозвоночных меняется от сезона к сезону. Наименьшее их количество наблюдалось в летний период и составило 2,7 % на первом полигоне и 5,2 % на втором, что связано с жаркой и засушливой погодой в этот сезон, которая является неблагоприятной для их активного роста и развития, и поэтому животные вертикально мигрируют, уходя в более глубокие слои почвы. Совпадение периодов жизненного цикла с соответствующим временем года позволяет животным выжить в конкретных условиях окружающей среды.

С наступлением осени во всех средах обитания заметно изменяются условия жизни: уменьшается количество света, понижается температура воздуха, а также верхних слоев почвы. У большинства беспозвоночных замедляются все жизненные процессы: они прекращают размножаться, у них замедляется обмен веществ. Вскоре они полностью перестают питаться и, освободившись от излишка воды, покрываются плотными оболочками и переходят в покоящееся состояние. Наибольшее количество почвенных беспозвоночных наблюдалось в весенний период, когда активизируются процессы жизнедеятельности. Организмы выходят из диапаузы, активно питаются и размножаются.

Корневые системы полевых культур в чистых и совместных посевах. Формирование надземной массы растений тесно связано с поступлением воды и элементов минерального питания, то есть с процессами, происходящими на уровне корневых систем. На величину показателей, характеризующих особенности роста и развития корней, главным образом влияют такие факторы, как вид, сорт, возраст, густота стояния, механический состав почвы, плотность, влажность и температура почвы и условия питания. Чем больше надземная масса растений, тем глубже проникает их корневая система.

Соя формирует стержневую корневую систему. Главный корень утолщен только в верхней части на первых 10–15 см, а затем его диаметр быстро уменьшается и размеры главного корня практически не отличаются от размеров боковых. Корневая система сои на почвах с неглубоким пахотным горизонтом и плотным подпахот-

ным слоем обычно не проникает глубже 20–40 см. При этом в слое 0–20 см находится 98,2 % всех корней сои, а в слое 0–10 см – 92,7 %. Наиболее мощную корневую систему растения сои имеют на среднеплотных почвах при влажности около 80 % НВ (Белюченко, Мельник, 2014).

Корневая система сорго, в отличие от большинства злаков, очень мощная, проникающая вглубь на 200–260 см и в стороны до 120 см. Основная масса корней сорго сосредоточена на глубине до 1 м. В фазы выметывания – начала цветения формируются воздушные корни от нижних надземных узлов главного побега и побегов кущения.

У амаранта корневая система стержневая, главный корень хорошо выражен, его масса составляет 50 % от общей массы корней; основная масса корней расположена в слое до 70 см. Однако амарант чувствителен к уплотнению пахотного горизонта и при высокой плотности плужной подошвы основную массу корней формирует в слое 0–30 см. При улучшении условий аэрации в зоне обитания корней их масса возрастает на 3–4 %, а урожайность на 15–18 % (Белюченко, 2013).

Нами были изучены по общепринятым методикам особенности формирования растениями корневых систем в чистых и совместных посевах в слое почвы 0–30 см в условиях учхоза «Кубань» в 1994–1999 гг. В совместных посевах складываются неоднозначные отношения между видами не только на уровне наземной массы, но и на уровне корневых систем. Многими авторами отмечается благоприятное влияние бобового компонента на процессы минерального питания злаков, произрастающих в смешанных или уплотненных с бобовыми посевах. Кроме того, отмечается повышение количества влаги, доступной для сопутствующих компонентов в зоне роста корней культур, использующих воду из глубоких горизонтов.

Масса корней определялась нами в два срока: при цветении сои – выметывании сорго и амаранта и при формировании бобов сои – восковой спелости семян сорго и амаранта. Можно отметить, что в эти сроки масса корней изменялась незначительно по сравнению с массой надземных органов. По мере роста и развития культур соотношение между надземной и корневой сухой массой возрастало. В фазе

цветения сои соотношение между этими показателями в чистых посевах составляло 2,61 а в фазе формирования бобов – 3,44. Еще более высоким этот показатель был у сорго (2,81 и 3,6 соответственно). Это связано с тем, что основная масса корней сорго располагается в слое до 100 см, а в слое 0–30 см располагается только 1/3–1/4 часть корней (Белюченко, 2014). При применении органических удобрений масса корней в пахотном горизонте возрастает и уменьшается соотношение между массой надземных органов и корней у сои в чистом посеве (до 2,54 и 3,23 соответственно), а у сорго – до 2,86 и 3,45.

Анализируя расположение корней в пахотном горизонте почвы, можно отметить, что корни злакового компонента направляются в почве в сторону бобового, часто в значительной степени переплетаясь с ними. Это можно объяснить наличием в корневой зоне бобовых дополнительных источников азота за счет симбиотической азотфиксации и повышением влажности почвы в зоне обитания корней сорго. Кроме того, масса корней злаков, растущих в непосредственной близости от бобового компонента, выше, чем в посевах тех же культур, но растущих на большем удалении друг от друга. Так, масса корней сорго при размещении в междурядьях сои в период восковой спелости зерна при естественном плодородии составила 1,05 т/га, в то время как при посеве чередующимися рядами (1+1) – 0,69 т/га (Белюченко, 2012).

Масса корней в пахотном горизонте, как и прочие биометрические показатели, зависела от погодных условий года, главным образом от условий увлажнения. В засушливые годы масса корней в слое 0–30 см снижалась на 8–12 %. Совместные посевы формировали массу корней от 1,7 (соя + амарант) до 3,4 т/га (соя в междурядьях сорго), которая значительно превышает массу корней культур в чистых посевах. При применении органических удобрений масса корней увеличивалась в пределах от 2,1 до 3,62 т/га.

Развитие полевых культур в совмещенных посевах. Когда два или более организмов в процессе роста и развития используют одни и те же ресурсы, имеющиеся в ограниченном количестве, возникает конкуренция, действие которой отражается главным образом на продуктивности сообщества и отдельных видов растений. По своей конкурентоспособности изучаемые нами виды неравнозначны, и их кон-

курентоспособность по-разному проявляется при меняющихся условиях вегетации. При оценке конкурентных отношений многие авторы используют показатель LER, который интерпретируется как площадь, необходимая чистому посеву для формирования урожая, равного таковому в совместном посеве.

Рассматривая динамику LER по накоплению сухой массы растениями и посевами в целом, следует отметить, что наибольшие показатели LER характерны для совместных посевов в начале вегетационного периода, когда масса растений в совместных посевах практически не отличается от таковой в чистых. Особенно ярко эта зависимость прослеживается в вариантах с повышенным числом растений на единице площади в сравнении с чистыми посевами. В дальнейшем по мере роста и развития растений величина LER отдельных культур и посева в целом закономерно снижается. В течение всего периода вегетации для совместных посевов характерно увеличение LER по сравнению с чистыми посевами. Величина LER в совместных посевах достигает 1,4–1,5, а в чистых посевах этот показатель равен 1.

Рассматривая прочие показатели конкурентных отношений растений при накоплении сухого вещества, можно отметить, что коэффициент конкурентоспособности меняется в зависимости от способа посева. В ходе исследований отмечено, что при посеве в междурядья сои уменьшается относительная конкурентоспособность сорго и увеличивается конкурентоспособность сои, что весьма выгодно с хозяйственной точки зрения. Существующие методы высева культур в разные сроки громоздки и поэтому мало применимы. Способ взаимной регуляции степени конкуренции культур путем уменьшения площади питания более конкурентоспособного компонента может стать весьма перспективным для использования в практике. Проверка метода проведена на совместных посевах сорго, сои и амаранта (Кураков, Белюченко, 1994).

В рассмотренных типах посевов сорго обладало наибольшей конкурентоспособностью по сравнению с соей и амарантом. У сорго наибольший коэффициент конкурентоспособности был определен в посеве с размещением сои в междурядьях сорго (его величина составила 1,23). Наименьшей конкурентоспособностью при накоплении

сухого вещества данная культура обладала при посеве в междурядья сои (0,43). У сои максимальное значение коэффициента конкурентоспособности было достигнуто в почвах с амарантом (3,5), а минимальное – при размещении сои в междурядьях сорго (0,36). Самой низкой конкурентоспособностью обладает амарант, о чем свидетельствует низкое значение соответствующего коэффициента (0,28).

Самые высокие показатели агрессивности были характерны для сорго. Во всех вариантах посева соя характеризовалась отрицательным значением показателя агрессивности. Наибольший показатель агрессивности сои отмечен при размещении сои в междурядьях сорго и при размещении амаранта в междурядьях сои. Показатель действительных потерь или прибавок урожая (ДПУ) у всех культур при всех способах посева был отрицательным, что говорит о снижении продуктивности растений в совместных посевах по сравнению с чистыми. Наибольшее снижение продуктивности характерно для загущенных посевов, где одна культура размещалась в междурядьях другой. При этом наибольшее значение ДПУ характерно для амаранта (-0,611), а соя и сорго страдали от загущения почти в равной степени (-0,357; -0,291). Меньшие значения ДПУ были характерны для сои и сорго в посевах чередующимися рядами. Наименьшее значение ДПУ получено для сорго при посеве с соей по схеме 1+1 (-0,025).

При выращивании культур на фоне удобрений показатели конкурентоспособности несколько изменяются. Так, можно отметить некоторое повышение конкурентоспособности сои при размещении сорго в ее междурядьях и, напротив, снижение конкурентоспособности сорго в этом варианте. В целом можно отметить возрастание конкурентного давления культур друг на друга при применении удобрений, о чем свидетельствует повышение значений вышеперечисленных показателей (Белюченко, 1994).

Таким образом, подтверждается положение о том, что конкурентоспособность – это величина динамичная и в значительной степени зависящая от условий вегетации культур. Наиболее стабильны показатели конкурентоспособности сои, несколько менее стабильны, но часто имеют более высокие показатели у сорго, а наименьшей конкурентоспособностью отличается амарант.

Полевые культуры и микробный комплекс почвы. Известно, что растения в процессе роста и развития влияют на ряд параметров окружающей среды. Изменение среды приводит к изменению качественного и количественного состава организмов, приуроченных к определенным местообитаниям. В связи с этим необходимо изучение влияния культурных растений на состав и численность прочих организмов, обитающих в агроценозе. В своих исследованиях мы изучали влияние способа посева полевых культур на состав микробных сообществ корнеобитаемого слоя почвы на примере полевых опытов в учхозе «Кубань».

В ходе проведенных исследований нами был выделен 71 вид микроорганизмов, обитающих в почве, ризосфере и ризоплане растений в чистых и совместных посевах. Изучены сезонная динамика и состав эколого–трофических групп микроорганизмов почвы, ризосферы и ризопланы растений чистых и совместных посевов. Отбор проб и их анализ проводили в различные периоды года в наиболее ответственные фазы вегетации возделываемых культур. Остановимся на анализе важнейших результатов исследований микрофлоры почвы, ризосферы и ризопланы выращиваемых полевых культур в чистых и совместных посевах сорго, сои и амаранта (Белюченко, Пономарева, 2005).

Сезонная динамика численности микроорганизмов в различных типах посевов весьма изменчивая. На численность микроорганизмов почв в агрофитоценозах влияют такие показатели, как тип почвы, влажность, температура, запасы органического вещества и состав растительных сообществ. В зависимости от сезона меняются вышеуказанные показатели и соответственно состав микробных сообществ. Нами установлено, что в различные фазы вегетации растений количественный и качественный состав микроорганизмов также изменяется (таблица 3). Это связано как с изменением погодных условий, так и с видом культуры и с особенностями расположения растений в посевах.

Большое значение для учета микрофлоры в почве ризосфере и ризоплане растений в чистых и смешанных посевах злаков и бобовых имеет специфика размещения культур (таблицы 4–10).

Таблица 3 – Количество и масса клубеньков на корнях сои в период формирования генеративных органов

Способ посева	Состояние пахотного слоя		Клубеньков на 1 растение, шт.			Масса клубеньков на растение, мг			
	доступная влага %	объемная масса г/см ³	на главном корне	на боковых корнях	всего	на главном корне	на боковых корнях	всего	масса 1 клубенька, мкг
Чистый посев	39,1	1,16	21,2	23,1	44,3	217	213	430	9,7
	7,5	1,41	8,0	3,4	11,4	45	27	62	5,4
	49,2	1,10	23,6	34,4	58,0	231	301	534	9,2
Среднее			17,6	20,3	37,9	164,3	172	336,3	8,1
Соя + сорго, 1+1	36,7	1,33	20,2	24,8	45,0	204	219	423	9,4
	8,0	1,52	7,9	5,5	13,4	33	19	52	3,9
	48,6	1,32	25,0	37,2	62,1	263	246	509	8,2
Среднее			17,7	22,5	40,2	166,7	161,3	328	7,2
Соя + сорго, 2+2	38,4	1,36	22,2	26,5	48,7	213	230	443	9,1
	8,2	1,60	6,7	6,3	13,0	27	23	50	3,9
	51,1	1,29	25,4	37,8	63,2	207	274	481	7,6
Среднее			18,1	21,5	41,6	149	175,6	324,6	6,9
Сорго в междурядьях сои	39,0	1,33	19,3	37,4	56,7	163	296	459	8,1
	8,7	1,53	8,1	5,9	14,0	29	21	50	3,6
	51,0	1,22	27,4	41,4	68,8	171	235	406	5,9
Среднее			18,3	28,2	46,5	121	184	305	5,9
Соя в междурядьях сорго	36,0	1,60	14,5	13,6	28,1	74	49	123	4,4
	7,2	1,62	5,2	2,8	8,0	12	8	20	2,5
	47,4	1,51	12,0	28,0	40,0	61	95	156	3,9
Среднее			10,6	14,8	25,4	49	50,7	99,7	3,6
Амарант в междурядьях сои	38,8	1,12	22,6	25,8	48,4	186	182	368	7,6
	7,7	1,24	5,1	8,9	14,0	19	29	48	3,4
	48,9	1,10	24,9	33,8	58,7	173	209	382	6,5
Среднее			17,5	22,8	40,3	125,7	140,3	266	5,8
Сорго и амарант в междурядьях сои	37,9	1,25	22,0	29,7	51,7	147	189	336	6,5
	8,0	1,46	5,3	10,1	15,4	18	28	46	3,0
	49,0	1,21	26,0	39,0	65,0	181	216	397	6,1
Среднее			17,8	26,3	44,1	115,3	144,3	259,6	5,2

Таблица 4 – Количественный и качественный состав грамотрицательной аспорогенной микрофлоры в почве, ризосфере и ризоплане растений сои и сорго в чистых и совместных посевах (среднее за 1997–1999 гг.)

Род, вид	Почва				Ризосфера						Ризоплана			
	Чистые посевы		Совместные посевы		Чистые посевы		Совместные посевы				Чистые посевы		Совместные посевы	
	соя	сорго	1в	2в	соя	сорго	соя 1в	сорго 1в	соя 2в	сорго 2в	соя	сорго	соя 1в	сорго 1в
<i>Aeromonas sp.</i>	0,03	0,02	0,03	0	4,8	2,5	0	0	2,6	7,3	0,67	0,05	0,02	0,06
<i>Azomonas chroococcum</i>	0,01	0	0	0	0	0	30,0	2,5	0	0	0,01	0,07	0	0
<i>Azospirillum lipoferum</i>	0	0	0	0	6,7	3,3	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Caulobacter sp.</i>	0,07	0	0,01	0	70,1	46,7	0	41,1	0,03	23,3	0	2,03	0	0,36
<i>Cytophaga heparina</i>	0	0	0	0	20,2	0	10,0	3,3	0	6,7	0	1,67	0	0
<i>Cellulomonas luteum</i>	0,33	0,33	0,3	0,67	33,3	18,8	0	40,0	3,3	53,3	0	2,73	0,33	0,063
<i>Cellulomonas cellosea</i>	0	0	0	0	66,7	0	0	30,0	73,3	43,3	0	0	0	0
<i>Cellvibrio mixtus</i>	0,10	0,18	0	0,04	69,8	24,4	0	268,0	0	62,3	0,12	0,06	0,08	2,01
<i>Cistobacter sp.</i>	0	0	0	0	0,2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Enterobacter sp.</i>	0	0	0	0	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Erwinia ananas</i>	0	0	0	0	10,0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Flavobacterium sp.</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,3	4,67	0	0
<i>Klebsiella sp.</i>	0	0	0	0	0	7	0	0	16,7	6,7	0	0,67	0	0
<i>Муксобактериу</i>	0	0	0	0,04	0,9	0,66	0	3,7	0	0,6	0,06	0,16	0,04	0,03
<i>Nitrobacter vinogradskiy</i>	23,3	0,007	0	0,03	1,3	100,7	0	120,0	0	233,6	0	0	0	0
<i>Paracoccus denitrificans</i>	0	0	0,67	0	7,3	0	10,0	0	0	0,5	0,04	0,04	0,33	0,04
<i>Pseudomonas facilis</i>	0	2,00	66,67	65,0	66,7	0	540,0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Pseudomonas fluorescens</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,03	0
<i>Pseudomonas gracilis</i>	0	0	0	0	0	0	0	13,3	0	0	0	14,67	0	0
<i>Pseudomonas denitrificans</i>	0	2,67	0	0	293	106,7	70,0	253,4	187	0	9,67	18,3	0	3,67
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	183	0	0	0	0	0
<i>Proteus vulgaris</i>	0	0	0	0	10,0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Serratia rubidaea</i>	0	0	0	0	0	6,8	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Vibrio sp.</i>	0	0	0	0	13,3	33,3	20,0	6,7	253,3	26,7	0	2,3	0	0
<i>Xanthomonas campestris</i>	3,33	1,00	0,67	0	93	206,7	110,0	273	70,0	0	6,3	5,67	0	0
Всего	27,17	6,207	68,38	65,78	867,3	557,5	790,0	1055,2	789,2	464,3	18,17	53,09	1,8	6,23

1 в (1 вариант) – сорго в междурядьях сои; (2 в) 2 вариант – посев сои и сорго чередующимися рядами.

Таблица 5 – Количественный и качественный состав грамположительной аспорогенной микрофлоры в почве, ризосфере и ризоплане растений сои и сорго в чистых и совместных посевах (1999 г.)

Род, вид	Почва				Ризосфера						Ризоплана					
	Чистые посеы		Совместные посеы		Чистые посеы		Совместные посеы				Чистые посеы		Совместные посеы			
	соя	сорго	1в	2в	соя	сорго	соя 1в	сорго 1в	соя 2в	сорго 2в	соя	сорго	соя 1в	сорго 1в	соя 2в	сорго 2в
Грамположительные аспорогенные кокки и палочки																
<i>Agromyces ramosus</i>	0	0	0,02	0	0	0,7	0	0	0,9	0	0	0,02	0	0,33	0,33	0
<i>Arthrobacter sp.</i>	0	0	0	0	1,21	0	10,0	103,9	4,3	18,3	0	0,04	0	0,01	0	0
<i>Brevibacterium linens</i>	0	0	0	0	0	0	0	3,3	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Corinebacterium sp.</i>	56,7	100	0	0	33,3	667	833	0	1000	0	23,3	0	0	0	0	100,0
<i>Curtobacterium luteum</i>	0	0	0,34	0,67	1,00	0	0	0	30,0	0	0	0	0	0,07	0	0
<i>Micrococcus sp.</i>	0,33	0	0	0	1,33	0	3,3	16,7	0	13,3	1,67	0	0,33	0	0,33	0
<i>Micrococcus luteus</i>	0	0	0	0,33	4,33	6,7	0	13,3	0	16,7	12,0	1,67	0,33	0,67	1,66	0
<i>Mycobacterium flavescens</i>	2,66	0	0	0	0	0,1	0	3,6	0	0,1	0	0	0	0,01	0	0
<i>Pediococcus sp.</i>	20,1	0,01	0,01	2,01	6,71	100,7	313,4	81,8	144,6	120,0	0,21	0	0	0,33	11,0	0
<i>Pimelobacter sp.</i>	0,67	0	0	3,33	0	0	93	56,7	43,3	6,9	0	0	0,42	1,33	3,66	0,02
Всего	80,46	100,01	0,37	6,34	478,8	775,2	1252,7	279,3	1223	175,3	37,18	1,73	1,08	2,75	16,9	100,0

1 вариант – сорго в междурядьях сои; 2 вариант – посев сои и сорго чередующимися рядами.

Таблица 6 – Количественный и качественный состав грамположительной спорогенной микрофлоры в почве, ризосфере и ризоплане растений сои и сорго в чистых и совместных посевах (1999 г.)

Род, вид	Почва				Ризосфера								Ризоплана			
	Чистые посева		Совместные посева		Чистые посева		Совместные посева				Чистые посева		Совместные посева			
	соя	сорго	1в	2в	соя	сорго	соя 1в	сорго 1в	соя 2в	сорго 2в	соя	сорго	соя 1в	сорго 1в	соя 2в	сорго 2в
Грамположительные споровые палочки																
<i>Bacillus asterosporus</i>	4,00	0,33	0	33,3	0	0	43,3	3,3	33,3	0	0	0	0	0	0	0
<i>Bacillus cereus</i>	0	0	1,00	0,33	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Bacillus megaterium</i>	1,33	1,0	0	1,67	0	6,7	13,3	0	0	6,7	0	0,67	0	0	0	0
<i>Bacillus mesentericus</i>	0	0,67	1,00	0,67	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Bacillus mycoides</i>	0	0	0	0	3,3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Bacillus simplex</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	53,0
<i>Bacillus subtilis</i>	0,67	0	0	1,67	10,0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Clostridium sp.</i>	0	0	0	0	0	166,7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Всего	6,0	2,0	2,0	37,64	133,0	173,4	56,6	3,3	33,3	6,7	0	0,67	0	0	0	53,0
1 вариант – сорго в междурядьях сои; 2 вариант – посев сои и сорго чередующимися рядами.																

Таблица 7 – Количественный и качественный состав актиномицетов в почве, ризосфере и ризоплане растений сои и сорго в чистых и совместных посевах (среднее за 1997–1999 гг.)

Род, вид	Почва				Ризосфера						Ризоплана					
	Чистые посева		Совместные посева		Чистые посева		Совместные посева				Чистые посева		Совместные посева			
	соя	сорго	1в	2в	соя	сорго	соя 1в	сорго 1в	соя 2в	сорго 2в	соя	сорго	соя 1в	сорго 1в	соя 2в	сорго 2в
<i>Actinopolyspora halofita</i>	0	0	0,33	0	3,3	0	0	0	16,7	0	0	0,33	0,33	0	0,33	0
<i>Nocardia sp.</i>	0,33	0,05	1,34	0,33	10,1	3,3	0	3,3	0	0	0	0,33	0,66	0,33	24,7	0
<i>Nocardiopsis albus</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3,3	0	0	0	0,01	0,33	0
<i>Oerscovia turbata</i>	0	0	0,67	0	0	0	0	0,2	0	0	0	0	0	0,03	1,00	0
<i>Rhodococcus roseus</i>	0	0	0	0	3,3	0,1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Rhodococcus luteus</i>	0	0,02	0	0,01	3,3	0,4	0	3,5	0	110,3	0,02	0	0	0	0	0
<i>Terrobacter tumescens</i>	0,67	1,00	0	4,00	0	0	60,0	100,3	93,3	36,7	2,3	0	0,67	1,67	0,33	0
Всего	1	1,07	2,34	4,34	20,0	3,8	60,0	107,3	110,0	150,3	2,32	0,66	1,66	2,04	26,69	0

1 вариант – сорго в междурядьях сои; 2 вариант – посев сои и сорго чередующимися рядами.

Таблица 8 – Количественный и качественный состав стрептомицетов и почвенных дрожжей в почве, ризосфере и ризоплане растений сои и сорго в чистых и совместных посевах (среднее за 1997–1999 гг.)

Род, вид	Почва				Ризосфера						Ризоплана					
	Чистые посевы		Совместные посевы		Чистые посевы		Совместные посевы				Чистые Посевы		Совместные посевы			
	соя	сорго	1в	2в	соя	сорго	соя 1в	сорго 1в	соя 2в	сорго 2в	соя	сорго	соя 1в	сорго 1в	соя 2в	сорго 2в
Стрептомицеты и близкие им роды																
<i>Streptomyces albus</i>	0	36,67	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3,33	0	0	12,0
<i>Verticillium album</i>	0	0	1,66	0	0	0	6,7	0	0	0	0	0,33	0	0	0	0
<i>Verticillium roseum</i>	0	0	0	0,33	0	0	0	0	0	0	0,33	0	0	0	0	0
Всего	0	36,67	1,66	0,33	0	0	6,7	0	0	0	0,33	0,33	3,33	0	0	12,0
Почвенные дрожжи																
<i>Lipomyces lypoides</i>	0	0	1,00	0	33,3	0	0	10,0	0	0	0	2,00	0	0	1,00	0
<i>Nadsonia commutata</i>	0,67	0	0,33	0	3,3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Всего	0,67	0	1,33	0	36,6	0	0	10,0	0	0	0	2,00	0	0	1,00	0
1 вариант – сорго в междурядьях сои; 2 вариант – посев сои и сорго чередующимися рядами.																

Таблица 9 – Количественный и качественный состав микромицетов в почве, ризосфере и ризоплане растений сои и сорго в чистых и совместных посевах (среднее за 1997–1999 гг.)

Род, вид	Почва				Ризосфера						Ризоплана					
	Чистые посеы		Совместные посеы		Чистые посеы		Совместные посеы				Чистые посеы		Совместные посеы			
	соя	сорго	1в	2в	соя	сорго	соя 1в	сорго 1в	соя 2в	сорго 2в	соя	сорго	соя 1в	сорго 1в	соя 2в	сорго 2в
<i>Alternaria alternata</i>	0	0	0,33	1,67	0	0	0	0	0	0	0	0,33	1,00	0	0	0
<i>Aspergillus veride</i>	0,33	34,3	13,67	0	83,3	413,3	103,3	0	3,3	0	14,7	16,3	3,33	0,7	0	7,67
<i>A.niger</i>	0	1,00	0,33	0	0	26,7	10,0	0	0	0	0,67	0	0	0	0	1,67
<i>A. flavus</i>	0	0	0,12	0	6,7	0	0	0	3,3	0	0	0	0	0	0	0
<i>Cladosporium sp.</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,33	0	1,67
<i>Fusarium</i>	0	0	0,33	0	0	0	0	0	0	0	0,67	0	0	0	0	0
<i>Eupenicillium caperatum</i>	0	0	0,33	0	3,3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Monacrosporium sp.</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Mucor sp.</i>	2,67	4,33	2,00	0,33	30,0	20,0	10,0	3,3	10,0	0	1,00	2,66	1,67	0	0	0
<i>Oidiodendron cerealis</i>	0	0	0,01	1,67	6,7	0,33	3,3	253	36,7	0	0	5,34	0	0	0,33	0
<i>Ostracoderma sp.</i>	0	0	0	0	66,7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Penicillium nigricans</i>	0	1,67	0	0	3,3	6,7	0	0	0	13,3	0	0	0	0	0	0
<i>P.chrysogenum</i>	0	1,34	0	0,33	36,7	3,3	0	0	3,3	0	0	0	1,67	0	0,33	0
<i>P.cyclopium</i>	0	2,33	0,01	0	0	0	0	0	0	0	0	1,66	1,00	0	0	2,33
<i>P. expansum</i>	0	0,18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Trichoderma sp.</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Всего	3,0	45,15	17,13	4,0	236,7	473,3	126,6	256,3	56,6	13,3	17,04	26,29	8,76	1,0	0,66	13,34

1 вариант – сорго в междурядьях сои; 2 вариант – посев сои и сорго чередующимися рядами.

Таблица 10 – Количество микроорганизмов в ризосфере и почве чистых и совместных посевов (1994–1997 гг.), млн/г сухой почвы

Вариант	Место отбора	Фаза вегетации		
		Всходы	Цветение образования бобов	Созревание
Соя	Почва	14,8±4,44	118,0±6,87	182,0±8,53
	Ризосфера	91,8±6,06	382,0±12,36	200,5±8,96
Сорго	Почва	10,8±2,07	92,1±6,07	94,6±6,15
	Ризосфера	65,2±5,1	101,3±6,36	128,1±7,16
Соя + сорго (1+1)				
	Почва	17,8±2,73	119,7±6,91	191,4±8,75
Соя	Ризосфера	98,0±6,26	759,4±17,4	977,6±19,8
Сорго	Ризосфера	54,0±4,64	164,2±8,1	212,9±9,2
Сорго в междурядьях сои				
	Почва	16,3±2,55	124,2±7,05	169,7±8,24
Соя	Ризосфера	93,8±6,12	962,0±19,6	1035,1±20,3
Сорго	Ризосфера	67,7±5,2	157,9±7,94	207,2±9,1

Рассматривая сезонную динамику численности микробов, можно отметить резкое увеличение количества популяций в почве в период формирования растениями генеративных органов. Это связано с активизацией процессов метаболизма в растениях в этот период и интенсивным притоком продуктов обмена в окружающую среду. В период созревания культур количество микроорганизмов в почве возрастает по сравнению с предыдущим периодом, что, по-видимому, связано с усиленным притоком органического вещества в корнеобитаемый слой почвы за счет отмирания и разложения надземных и подземных частей растений.

Численность микроорганизмов в ризосфере зависела главным образом от вида возделываемых культур. Наибольшее количество микробов в ризосфере отмечалось в период формирования генеративных органов и при созревании. Так, в ризосфере растений сои в период формирования генеративных органов общее количество аммонифицирующих микроорганизмов составило 382,0, а у сорго в тот же период 101,3 млн/г корней (Белюченко, Боташева, 2003).

Динамика развития ризосферной микрофлоры культур, возделываемых в совместных посевах, несколько отличалась от динамики

микрофлоры культур в чистых посевах. В начальный период роста и развития культур (всходы) численность микроорганизмов в ризосфере растений чистых и совместных посевов отличалась незначительно в силу слабого развития корневых систем. Более отчетливо влияние сопутствующего компонента проявилось в фазы цветения – образования семян.

Наибольшее количество микроорганизмов обнаруживается в ризосфере сои. Присутствие бобового компонента благоприятно сказывается на микробиологической активности ризосферы сорго и амаранта. Количество микроорганизмов в ризосфере этих растений значительно возрастает в смешанных посевах по сравнению с чистыми. Можно также обратить внимание на изменение ризосферного эффекта на различных этапах вегетационного периода. Наибольший ризосферный эффект наблюдается при формировании растениями генеративных органов. Характерно, что этот показатель выше у растений в уплотненных посевах по сравнению с чистыми.

Количественно характеристики симбиотических азотфиксаторов зависят от способа посева культур. Известно, что растения сои до 30 % потребленного азота получают за счет симбиотической азотфиксации. В ходе проведения исследований мы поставили задачу выяснить, как влияет совмещение с другими культурами на симбиотический аппарат сои. Учеты проводились в фазу начала налива бобов, когда количество клубеньков на корнях максимальное (таблица 11). Следует подчеркнуть, что на количественные характеристики клубеньков в большей степени повлияли погодные условия отдельных лет, в течение которых проводились данные исследования (Глазунова, Белюченко, 2002).

Засушливые условия, сложившиеся в 1996 г., привели к значительному снижению количества и массы клубеньков по сравнению с более благоприятными годами. В целом отмечено наличие положительной взаимосвязи количественных характеристик симбиотических азотфиксаторов с влажностью почвы. Менее важным показателем, влияющим на деятельность клубеньковых бактерий, является плотность почвы в пахотном горизонте. В данном случае имеется обратная зависимость между численностью и массой клубеньков, с одной стороны, и плотностью почвы, с другой. При повышении плотности почвы количество клубеньков на корнях сои снижается. Можно также отметить варьирование плотности почвы по вариан-

там посева, при этом следует отметить увеличение плотности почвы в посевах с присутствием сорго и некоторое снижение ее в вариантах с присутствием амаранта, что, по-видимому, связано с особенностями их корневых систем.

Сравнивая характеристики симбиотического аппарата растений чистых и совместных посевов, можно выделить общую тенденцию к увеличению численности и массы клубеньков на корнях растений в совместных посевах. Так, в чистом посеве число клубеньков составило 44,1, при размещении сои и сорго чередующимися рядами (2+2) 48,7, а при размещении сорго в междурядьях сои – 56,7 шт.

Таблица 11 – Некоторые показатели симбиотической активности сои в чистых и совместных посевах (среднее за 1994–1997 гг.)

Вариант	Пахотный слой		Клубеньков на растение, шт.			Масса клубеньков на 1 растение, мг.			
	Доступная влага, %	Объемная масса, /см ³	На главном корне	На боковых корнях	Всего	На главном корне	На боковых корнях	Всего	Масса 1 клубенька, мг
Соя	31,9	1,32	17,6	20,3	37,9	164,3	172,4	336,3	8,87
Соя + сорго (1+1)	33,1	1,33	17,7	22,5	40,2	166,7	161,3	328,9	8,16
Соя + сорго (сорго в междурядьях сои)	33,9	1,33	18,3	28,2	46,51	121,0	184,1	305,1	6,56
Соя + сорго (соя в междурядьях сорго)	30,2	1,34	10,6	14,8	25,4	63,6	79,9	143,5	5,65
Соя + амарант (амарант в междурядьях сои)	32,8	1,31	17,5	22,8	40,3	125,7	140,3	266,3	6,60
Соя + сорго + амарант (сорго и амарант в междурядьях сои)	31,6	1,36	17,8	26,3	44,1	115,3	144,3	259,6	5,88

Однако с увеличением общей численности снижается масса отдельно взятых клубеньков. В тех же вариантах масса 1 клубенька составила соответственно 9,7, 9,1, 8,1 мг. Характерным для совместных посевов является и то, что большее количество клубеньков располагается на боковых корнях. Особенно ярко эти закономерности проявляются в вариантах с размещением сорго в междурядьях сои, где корневые системы культур размещены в непосредственной близости друг от друга. В вариантах с размещением рядов культур на расстоянии 45 см эффект от присутствия культуры другого вида менее заметен.

Зависимость состава эколого-трофических групп микроорганизмов почвы, ризосферы и ризопланы весьма существенна от способа посева культур. Та же тенденция была выявлена и при изучении эколого-трофических групп микроорганизмов почвы, ризосферы и ризопланы растений сорго и сои в чистых и совместных посевах. Анализируя данные, нужно отметить, что между вариантами опыта имеются существенные отличия в количественном и качественном составе эколого-трофических групп микроорганизмов (таблицы 12–14).

Таблица 12 – Количественный и качественный состав эколого-трофических групп микроорганизмов в почве чистых и совместных посевов сои и сорго (1999 г.)

Вариант посева	Аммонификаторы, млн/г	Аминоавтотрофы, млн/г	Кэфф. минерализации	Гумусоразлагающие, млн/г	Азотфиксаторы, %	Целлюлозоразлагающие, %	Стрептомицеты, млн/г	Микромицеты, млн/г	Актиномицеты, млн/г
Соя	11,33	102,6	9,06	12,5	78	100	0	3,0	1,0
Сорго	10,67	102,37	9,59	21,68	68	100	36,67	45,15	1,67
Соя + сорго 1 вариант	73,74	2,33	0,03	12,3	56,6	99	1,66	17,13	2,34
Соя + сорго 2 вариант	49,65	11,33	0,23	14,65	41,2	96	0,33	4,0	4,34
1 вариант – сорго в междурядьях сои; 2 вариант – посев сои и сорго чередующимися рядами									

Таблица 13 – Количественный и качественный состав эколого-трофических групп микроорганизмов в ризосфере чистых и совместных посевов сои и сорго (среднее за 1997–1999 гг.)

Вариант посева	Аммонификаторы, млн/г	Аминоавтотрофы, млн/г	Кэфф. минерализации	Гумусоразлагающие, млн/г	Азотфиксаторы, %	Целлюлозоразлагающие, %	Стрептомицеты, млн/г	Микромицеты, млн/г	Актиномицеты, млн/г
Соя	902,7	533,0	0,59	143,6	56	98,6	–	236,7	20,0
Сорго	466,8	1040,4	2,23	69,236	68	98,6	0	473,3	3,8
1 вариант: соя	1056,3	1056,0	1,00	504,3	67,4	99	6,7	126,6	60,0
сорго	642,9	793,0	1,23	84,3	70,6	98	0	256,3	101,0
2 вариант: соя	806,2	1030,0	1,28	286,9	66,6	97,3	0	56,6	114,0
сорго	340,0	679,0	2,00	288,9	76,6	100,0	0	13,3	150,3

1 вариант – сорго в междурядьях сои; 2 вариант – посев сои и сорго чередующимися рядами.

Таблица 14 – Количественный и качественный состав эколого-трофических групп микроорганизмов в ризоплане чистых и совместных посевов сои и сорго (1999 г.)

Вариант посева	Аммонификаторы, млн/г	Аминоавтотрофы, млн/г	Кэфф. минерализации	Гумусоразлагающие, млн/г	Азот фиксаторы, %	Целлюлозоразлагающие, %	Стрептомицеты, млн/г	Микромицеты, млн/г	Актиномицеты, млн/г
Соя	33,91	24,63	0,73	132,0	–	–	0,33	17,04	2,32±
Сорго	58,63	0,9	0,02	40,66	–	–	0,33	29,29	0,66
1 вариант: соя	2,98	3,97	1,33	28,3	–	–	3,330	8,67	1,66
сорго	2,99	4,67	1,56	21,0	–	–	–	1,00	2,04
2 вариант: соя	10,65	2,67	4,95	–	–	–	0	0,66	26,6
сорго	53,33	107,67	2,01	28,3	–	–	12,00	13,34	0

1 вариант – сорго в междурядьях сои; 2 вариант – посев сои и сорго чередующимися рядами.

Количественный учет микрофлоры почвы в чистых посевах сои и сорго свидетельствует о достаточно высоком содержании различных физиологических групп микроорганизмов. Коэффициент минерализации для данных образцов почв достаточно высок и составил

9,06 под посевами сои и 9,59 под посевами сорго, что свидетельствует о значительной взаимосвязи процессов минерализации и дифференциации экологических ниш, наиболее полном использовании субстратов микроорганизмами, характерном для поздних стадий сукцессии. Интенсивное развитие популяций *Corynebacterium sp.*, *Pediococcus sp.*, *Nitrobacter sp.*, *Streptomyces albus* соответствует выше указанной тенденции микробиологических процессов (Belyuchenko, 2005).

При изменении типа посева с чистого на совместный численность аммонификаторов возрастает в среднем в 4–6 раз, коэффициент минерализации при этом резко снижается до значений 0,03 в первом варианте совместного посева и до 0,23 – во втором. Эти данные могут свидетельствовать о достаточно высоком содержании легко утилизируемых органических веществ в почве.

Таким образом, совместные посевы способствуют активизации более ранних стадий микробных сукцессий, что, очевидно, связано с притоком органических веществ за счет увеличения массы корней и корневых выделений, а также за счет разнообразия последних. При сравнении двух вариантов совместных посевов между собой можно предположить, что поддержание микробных сообществ типа беспоровых псевдомонад и почвенных дрожжей (*Lipomyces*) на более ранних стадиях сукцессии обеспечивает первый вариант посева.

Микробиологические исследования ризосферы растений сои и сорго в чистых посевах свидетельствуют о наличии ризосферного эффекта, об увеличении численности аммонификаторов и гумусоразлагающих микроорганизмов в ризосфере по сравнению с почвой. Зависимость количественного и качественного состава сапротрофной микрофлоры весьма существенна в почве, ризосфере и ризоплане от способа посева культур. Рассматривая количественный состав сапротрофной микрофлоры различных типов посевов, можно отметить следующие закономерности. В ризосфере растений сои состав грамотрицательных бактерий при различных способах посева не претерпевает резких колебаний. В совместных посевах, однако, значительно падает их видовое разнообразие, но стимулируется рост популяций отдельных видов бактерий: *Pseudomonas facilis*, *P. denitrificans*, *P. aeruginosa*, *Vibrio sp.* и *Azomonas sp.*

Полученные в результате изучения совместных посевов данные свидетельствуют о значительных их отличиях по видовому составу.

В варианте с размещением сорго в междурядьях сои преимущественно представлены виды *Pseudomonas facilis* и *Azomonas*, а при посеве чередующимися рядами – *Pseudomonas denitrificans*, *Ps. aeruginosa*, *Klebsiella sp.*, *Cellulomonas cellosea*.

Ризосфера сои в совместных посевах содержит в три раза большее количество аспорогенных грамположительных микроорганизмов по сравнению с чистым посевом. В видовом составе не наблюдается резких различий между вариантами за исключением наличия рода *Pimelobacter* в совместных посевах и его отсутствия в чистом посеве. Род *Micrococcus* отсутствовал в совместных посевах. Увеличение численности этой группы микроорганизмов происходит в основном за счет высокого содержания коринебактерий и педиококков в ризосфере сои совместных посевов. Известно, что представители этих родов бактерий нуждаются в богатых питательных средах и являются факультативными анаэробами с бродильным типом метаболизма углеводов. В связи с этим увеличение численности коринеподобных бактерий в ризосфере сои совместных посевов можно объяснить достоверно большей массой клубеньков на корнях растений, а значит, и более высоким содержанием белковых субстратов в ризосфере. Возможно, этот же фактор объясняет увеличение численности групп актиномицетов в ризосфере сои совместных посевов, которые приходят на смену популяциям прототрофов (Пономарева, Белюченко, 2005).

Среди грамположительных споровых палочек в ризосфере сои совместных посевов доминируют представители вида *Bacillus asterosporus* (типичные аминокетотрофы), и их развитие также можно объяснить наличием в ризосфере органического азота, источником которого являются отмирающие клубеньки сои, масса которых в совместных посевах несколько выше.

Качественный состав микромицетов ризосферы сои в чистых и совместных посевах мало отличаются друг от друга. Различия проявляются главным образом в численности почвенных грибов. Так, в варианте с размещением сорго в междурядьях сои количество микромицетов снижено в 2, а при посеве чередующимися рядами в 4 раза по сравнению с тем же показателем в чистом посеве. В почве совместных посевов условно патогенные грибы *Alternaria alternata*, *Aspergillus flavus*, *Fusarium sp.* присутствуют в значительных количествах, а в ризосфере растений совместных посевов вышеуказан-

ные виды и роды отсутствуют. Это характерно как для растений сои, так и для растений сорго (Белюченко и др., 2007).

В ризосфере сорго численность грамотрицательных микроорганизмов увеличивается почти вдвое при посеве его в междурядья сои по сравнению с чистым посевом и посевом чередующимися рядами с соей. Такое увеличение численности, происходящее за счет факультативно анаэробных и аэробных микроорганизмов (*Cellvibrio mixtus* и *Pseudomonas denitrificans*), можно объяснить увеличением притока органического субстрата за счет увеличения общей массы корней в почве и улучшения воздушного режима корнеобитаемого слоя вследствие разрыхляющего действия корней сопутствующего компонента. Общая численность грамположительной аспорогенной микрофлоры, наоборот, значительно снижена в варианте с размещением сорго в междурядьях сои. В целом этот показатель ниже в совместных посевах по сравнению с чистыми. Еще большее снижение количественных показателей наблюдается у споровых палочек, представителей рода *Bacillus*.

В ризосфере сорго совместных посевов отмечается преимущественное развитие целлюлозолитических бактерий типа *Cellvibrio mixtus*, *Cytophaga heparina*, *Cellulomonas luteum*, *C. celosea* и миксобактерий, которые способствуют появлению в почве легкодоступных форм углеводов, что в свою очередь стимулирует развитие микроорганизмов, участвующих в круговороте азота (*Azomonas chroococcum*, *Pseudomonas denitrificans*, *Ps. gracilis*). Кроме того, отмечено увеличение численности представителей родов актиномицетов, которые в ризосфере сорго, размещенного в междурядьях сои, представлены преимущественно видом *Terrobacter tumescens*, а в ризосфере сорго, высеянного чередующимися с соей рядами, видом *Rhodococcum luteum* (Белюченко и др., 2006).

Количественный и качественный состав микромицетов в ризосфере сорго совместных посевов значительно снижен по сравнению с чистыми. Так, в ризосфере сорго, расположенного в междурядьях сои, присутствуют 2 вида, а в ризосфере сорго, размещенного чередующимися с соей рядами и всего 1 вид против 6 в ризосфере сорго чистого посева. Основная масса микроскопических грибов в чистом посеве принадлежит к роду *Aspergillus*, при размещении сорго в междурядьях сои – к роду *Oidiodendron*, а при чередовании с рядами сои

– к роду *Penicillium*. Количество микромицетов в этих вариантах снижено по сравнению с чистым посевами в 4 и 8 раз соответственно.

Учитывая все вышеперечисленное, можно сделать вывод о том, что при совместном возделывании взаимовлияние компонентов положительно сказывается на развитии почвенной и ризосферной микрофлоры культур и на образовании клубеньков на корнях сои. Для всех изучаемых типов посевов характерно высокое содержание различных физиологических групп микроорганизмов. Общая численность микроорганизмов в почве и ризосфере в совместных посевах выше. К числу других различий между совместными и чистыми посевами можно отнести то, что в почве совместных посевов возрастает в 4–6 раз численность аммонификаторов, резко снижается коэффициент минерализации органического вещества и происходит поддержание более ранних стадий микробных сообществ, характеризующихся бурным развитием беспоровых псевдомонад и почвенных дрожжей (Белюченко и др., 2007).

Таким образом, в зоне непосредственного обитания корней отмечается наличие ризосферного эффекта, который более выражен в совместных посевах. Количество аммонификаторов и аминокислототрофов, как и в почве, выше в совместных посевах. Качественный состав микрофлоры совместных посевов также более разнообразен за счет присутствия в посевах растений различных видов. Микробный комплекс растений, входящих в совместные посева, отличается от такового в чистых посевах, что может быть связано как с увеличением общей массы корней, так и с разнообразием корневых выделений и питательных субстратов. Подобные изменения происходят и на уровне ризопланы. В почве совместных посевов отмечается наличие условно патогенных грибов, в ризосфере произрастающих совместно растений, они не встречаются, что можно расценивать как фактор улучшения фитосанитарного состояния почв.

Глава 3. ВЗАИМООТНОШЕНИЯ БИОТЫ В АГРОЛАНДШАФТАХ

Взаимоотношения между культурами в посевах. В травостоях однолетних культур повсеместно преобладают чистые посевы, которые, как правило, дают высокую продуктивность, но, в отличие от природных систем, весьма слабо адаптированы, отличаются слабой трансформацией вещества и энергии и сильнее подвергаются стрессовым ситуациям. В агросистемах только структурное многообразие способно поддерживать баланс многих процессов. В агроландшафтных системах создаются смешанные посевы, которые практикуются в кормопроизводстве многих районов мира. Большое значение приобретает подбор культур для совместных посевов, поскольку взаимоотношения видов в создаваемых системах изучены слабо и изложены в литературе мало. Исследования проводились нами на опытных участках в колхозе «Заветы Ильича» Ленинградского района и учхозе Кубань г. Краснодара.

Формирование совместных посевов при различных уровнях увлажненности, плодородия, химического и физического состояния почвы – задача достаточно трудная. Возделывание различных культур в совместных посевах заметно влияет на сроки наступления основных фаз вегетации у отдельных видов. Например, размещение сорго в междурядьях сои заметно удлиняло ее период вегетации (на 5–7 дней), а для амаранта, наоборот, отмечено ускорение межфазных периодов; заметно менялась высота растений, варьировала площадь листовой поверхности, различались также показатели конкурентной способности отдельных видов. Отмечается существование взаимосвязи между способом посева культур, их агротехникой и видовым и популяционным составом микрофлоры и мезофауны почвы, а также урожаем сухого вещества культурных растений и их зерна (Белюченко и др., 2002; Белюченко, 2012).

На основной площади культивируемых земель во всем мире преобладают высокопродуктивные, но только биологическое и структурное разнообразие может поддерживать в агросистемах многие природные процессы. Важным направлением агроландшафтно-

го земледелия является создание совместных смешанных посевов, которые практикуются в кормопроизводстве некоторых хозяйств нашей страны. Настоящая глава посвящается изучению биотических взаимоотношений в чистых и совместных посевах некоторых полевых культур степной зоны края (Белюченко, 2010; 2012).

Целью опытов было изучение особенностей биотических взаимоотношений в чистых и совместных посевах сои, сорго и амаранта в условиях степной зоны Кубани. Для достижения поставленной цели решались такие задачи, как изучение особенностей роста и развития культур в чистых и совместных посевах, а также анализ особенностей развития конкурентных отношений между отдельными видами растений. Особенности отношений между культурными растениями и микробным комплексом, а также взаимоотношений между растениями и почвенной мезофауной в различных типах посевов проводилось на основе оценки урожайности в чистых и совместных посевах конкретных видов с учетом влияния отходов химического производства на загрязнение окружающих ландшафтов (Муравьев, Белюченко, 2007).

В условиях Кубани дана оценка совместного посева как фитоценоза со сложными межвидовыми отношениями, а также изучена специфика трофических групп микроорганизмов и мезофауны при различных способах размещения культур. На основании проведенных опытов установлено преимущество совместных посевов по урожайности надземной массы и формированию ими полноценных в трофическом отношении микробных и зоофаунистических сообществ и решены другие задачи. Полученные данные позволяют подойти к разработке метода управления относительной конкурентоспособностью отдельных видов в совместных посевах.

Опытное поле, на котором проводились исследования, расположено на территории учхоза «Кубань» в 10 км от г. Краснодара. Климат умеренно континентальный, сумма эффективных температур (более 10 °С) составляет 3350–3450 °С. Количество осадков широко варьирует по годам – от 510 до 858 мм. Наибольший дефицит влаги наблюдается в середине лета (июль–август). Почвы учхоза «Кубань» представлены черноземом выщелоченным малогумусным сверхмощным, содержание гумуса в пахотном слое колеблется в пределах 2,5–2,9 %; объемная масса в слое 0–100 см составляет 1,3–1,5 г/см³, а количество доступной растениям влаги составляет 40–45 % от ПВ.

Погодные условия в годы проведения опытов заметно варьировали по температурному режиму и условиям увлажнения: два года были засушливые (в среднем за год выпало менее 450 мм осадков), один год был умеренно влажным, в течение двух лет выпадение осадков было крайне неравномерным. При проведении исследований использовали лабораторный и полевой методы, с помощью которых изучали биотические отношения, складывающиеся в чистых и совместных посевах сои, сорго и амаранта при следующих способах размещения культур: 1) чистые посевы культур с нормой высева сои 250 000 растений /га, сорго – 100 000 растений/га, амаранта – 100 000, ширина междурядий 45 см; 2) совместные посевы с размещением сорго 50 000 растений/га) и амаранта (50 000) в междурядьях сои (250 000), ширина междурядий 45 см; 3) совместные посевы с размещением сои – 125 000, в междурядьях сорго – (100 000), ширина междурядий 45 см; 4) совместные посевы сои (125 000) и сорго (50 000 растений/га) чередующимися рядами 1+1 и 2+2, ширина междурядий 45 см (Белюченко, 2002).

В опытах использовалась соя среднепозднего сорта Ходсон (вегетационный период 125–130 дней), сорго сорта Хазине 1 (средне-спелый, вегетационный период 120–125 дней), амарант багряный – образец Кубанского ГАУ. Общая площадь каждой делянки составляла 63 м², учетная площадь делянки – 36 м². Повторность пятикратная. Делянки были размещены на участке рендомизированным способом, под основную обработку вносили органические удобрения из расчета 20 т/га. Учеты и наблюдения в полевых опытах проводили по методикам ВНИИМКа. В течение вегетационного периода наряду с фенологическими наблюдениями определяли густоту стояния растений, динамику формирования надземных структур, динамику накопления сухого вещества и показатели чистой продуктивности фотосинтеза. В растительных образцах определяли: общий азот по Кьельдалю, сырую клетчатку по Геннебергу в модификации ЦИНАО, сырую золу методом сухого озоления. Отбор проб для качественного и количественного учета микрофлоры в почве, ризосфере и ризоплане проводили в соответствии с методикой Егорова, посев на плотные среды проводили методом Коха, прямой счет клеток на фиксированных окрашенных мазках – методом Виноградского, Шульгиной, Брида. Отбор проб производился при посеве, в период формирования генеративных органов и на момент уборки.

Учет клубеньков на корнях сои оценивали в период цветения – образования бобов. Статистическая обработка данных выполнялась методом дисперсионного анализа.

Взаимоотношения между растениями в чистых и совместных посевах. Формирование совместных посевов – достаточно сложная биологическая и хозяйственная проблема, так как для их создания используются культуры, обычно возделываемые в чистых посевах. В совместных посевах для таких культур создаются несколько иные условия, которые сказываются на их росте и развитии. В годы проведения исследований нами было установлено, что возделывание многих культур в совместных посевах влияет на сроки наступления основных фаз вегетации у сравниваемых культур. Данный показатель в значительной степени зависит от способа размещения растений в посевах и плотности стеблестоя. При размещении сорго в междурядьях сои фаза выметывания у него наступала в среднем на 5–7 дней позже, чем в чистых посевах сорго и сои и сорго чередующимися рядами. Для амаранта, напротив, характерно ускорение процессов развития при посеве в междурядьях сои. Длительность периода до фазы выметывания у амаранта сократилась в совместном посевах в среднем на 4 дня. Применение органических удобрений приводило к увеличению периода вегетации у сои и амаранта в среднем на 2–4 дня (Белюченко, 2012).

Формирование надземных структур растений. При анализе взаимовлияния культур в совместных посевах наибольший интерес представляют биометрические показатели растений, способствующие более полному перехвату солнечной энергии и формированию полноценного урожая отдельными культурами (Белюченко, Мельник, 2010; Белюченко, Мустафаев, 2013).

1. Высота растений. Совместное выращивание культур влияло на линейные размеры растений. В среднем за годы исследований высота растений сои в чистом посевах составила $81,7 \pm 1,7$ см на неудобренном фоне и $84,2 \pm 2,2$ см при применении органических удобрений. В совместных посевах высота растений сои увеличивалась. При расположении сорго в междурядьях сои его высота составляла $86,2 \pm 2,2$ см при естественном плодородии и $83,1 \pm 1,8$ см при применении органического вещества. Высота растений сорго и амаранта в совместных посевах снижалась. Линейные размеры растений сорго в чистом посевах составили $135,7 \pm 6,2$ см, а амаранта –

144,1 ± 7,4 см, в то время как при размещении их в междурядьях сои эти показатели составляли 122,5 ± 13,5 и 79,0 ± 12,3 см соответственно (Белюченко, 2012).

2. *Фотосинтетический аппарат.* У сои и сорго интенсивное образование фотосинтетического аппарата происходило до начала периода образования генеративных органов. Затем темпы листообразования снижались. В среднем за 5 лет максимальная площадь листовой поверхности у сои в чистом посеве составляла 34,7 тыс. м²/га при естественном уровне плодородия и 37,4 тыс. м²/га при применении органических удобрений; у сорго 29,1 и 33,4 тыс. м²/га соответственно. Для амаранта характерен медленный рост в период от всходов до формирования соцветия. По мере развития генеративных органов темпы роста значительно возрастают, достигая пика при цветении. В этот период площадь листьев у амаранта в чистом посеве составляла 24,0–29,1 тыс. м²/га. За счет усыхания и опадения части листьев в дальнейшем площадь ассимиляционной поверхности культур закономерно снижалась.

В совместных посевах динамика роста и развития культур была сходна с таковой в чистых посевах. Наибольшей площадью листовой поверхности была в совместных посевах с размещением сорго в междурядьях сои – 43,4 и 40,8 тыс. м²/га на удобренном и неудобренном фонах соответственно. Площадь листьев отдельных компонентов в совместном посеве была снижена по сравнению с этим показателем в чистых посевах. Наибольшее угнетение в совместных посевах испытывал амарант. При размещении в междурядьях сои площадь листьев амаранта снизилась в 1,7 раза по сравнению с чистым посевом.

Чистая продуктивность фотосинтеза культур в сутки была наибольшей в первую половину вегетационного периода до фазы цветения (до 3,79–4,8 у сои и до 6,8–7,7 г/м² у сорго). В фазу цветения чистая продуктивность фотосинтеза уменьшалась, а затем по мере формирования и созревания зерна снова повышалась. В конце вегетации чистая продуктивность фотосинтеза закономерно снижалась. В совместных посевах чистая продуктивность фотосинтеза была ниже, чем в чистых посевах сорго и амаранта. Применение органических удобрений способствовало снижению продуктивности фотосинтеза.

3. *Конкурентные отношения между культурами в посевах.* По конкурентоспособности изучаемые нами виды неравнозначны. Наибольшей конкурентной способностью в посевах выделяется сорго. Коэффициент конкурентоспособности отдельных культур меняется в зависимости от способа посева. В ходе исследований отмечено, что при посеве в междурядья сои уменьшается относительная конкурентоспособность сорго, но повышается конкурентоспособность сои, что весьма выгодно с хозяйственной точки зрения. Способ взаимной регуляции отношений между культурами путем уменьшения площади питания более конкурентоспособного компонента может стать весьма перспективным использованием в практике (Белюченко, Славгородская, 2013 а, б). Наибольший коэффициент конкурентоспособности сорго был определен в его посеве с размещением в междурядьях сои (величина составила 2,77). Наименьшей конкурентоспособностью при накоплении сухого вещества у сорго отмечена при посеве в междурядья сои (0,43), максимальное значение коэффициента конкурентоспособности было получено в посевах с амарантом (3,5), а минимальное – при размещении сои в междурядьях сорго (0,36). Самой низкой конкурентоспособностью обладает амарант, о чем свидетельствует низкое значение соответствующего коэффициента (0,78).

Самые высокие показатели конкурентоспособности были характерны для сорго. Во всех вариантах посева соя характеризовалась отрицательным значением показателя конкурентоспособности. Наибольший показатель агрессивности у сои был отмечен при ее размещении в междурядьях сорго, а также при размещении амаранта в междурядьях сои. Показатель действительных потерь или прибавок урожая (ДПУ) у всех культур при всех способах посева был отрицательным, что говорит о снижении продуктивности растений в совместных посевах по сравнению с чистыми. Наибольшее снижение продуктивности характерно для загущенных посевов, где одна культура располагалась в междурядьях другой.

4. *Взаимоотношения в совместных посевах между растениями и микрофлорой.* Известно, что совместные посевы изменяют ряд параметров окружающей среды (содержание органического вещества в почве, ее влажность и плотность), что ведет к изменению видового и количественного состава организмов, приуроченных к определенным местообитаниям. Ряд авторов указывает на существова-

ние взаимосвязи между способом посева культур, их агротехникой и составом микробонаселения почвы. Выявление этой взаимосвязи важно с точки зрения повышения видового разнообразия в агроценозах и стабилизации системных процессов в почвах. В связи с этим мы поставили задачу выяснить влияние совмещения культур в посевах на листовую аппарат сои (Kurakov et al., 1994).

На количественные характеристики клубеньков в большей степени влияют погодные условия и плотность почвы. Так, засушливые условия обусловили значительное снижение количества и массы клубеньков по сравнению с влажным годом. Отмечена также положительная взаимосвязь количественных характеристик симбиотических азотфиксаторов с влажностью почвы (Муравьев, Белюченко, 2007; Муравьев и др., 2008).

Характерным для совместных посевов является то, что при размещении сорго и амаранта в междурядьях сои, когда корневые системы особой разных культур размещаются в непосредственной близости друг к другу, большее количество клубеньков располагается на боковых корнях. Масса клубеньков на корнях сои в совместных посевах ниже, а их количество выше, чем в чистых посевах. В вариантах с размещением растений на расстоянии 45 см эффект от присутствия культуры иного вида практически не заметен. Аналогичная тенденция была выявлена при изучении эколого-трофических групп микроорганизмов почвы, ризосферы и ризопланы растений сорго и сои в чистых и совместных посевах. Между вариантами опыта имеются существенные отличия в количественном и качественном составе эколого-трофических групп микроорганизмов. Количественный и качественный состав эколого-трофических групп микроорганизмов в ризосфере чистых и совместных посевов сои и сорго заметно варьировали (Kurakov et al., 1994).

Количественный учет микрофлоры почвы чистых посевов сои и сорго свидетельствует о достаточно высоком содержании различных физиологических групп микроорганизмов. Коэффициент минерализации, определяемый как отношение числа аминокислототрофов к аммонификаторам данных образцов почв, достаточно высок и составил 9,06 для посевов сои и 9,59 для посевов сорго. Интенсивное развитие популяций *Corynebacterium sp.*, *Pediococcus sp.*, *Nitrobacter sp.*, *Streptomyces albus* соответствует вышеуказанной тенденции направленности микробиологических процессов.

Численность аммонификатов в совместных посевах возрастает в среднем в 4–6 раз, а коэффициент минерализации при этом резко снижается до значений 0,03 в варианте совместного посева с размещением сорго в междурядьях сои и до 0,23 в варианте с размещением культур чередующимися рядами. Эти данные могут свидетельствовать о достаточно высоком содержании легко утилизируемых органических веществ в почве. Микробиологические исследования ризосферы растений сои и сорго в чистых и совместных посевах свидетельствуют о наличии ризосферного эффекта и об увеличении численности аммонификаторов и гумусоразлагающих микроорганизмов в ризосфере по сравнению с почвой. Количество свободноживущих азотфиксаторов в ризосфере растений совместных посевов достоверно превышает тот же показатель у растений чистых посевов (Белюченко, Мустафаев, 2013).

Таким образом, совместные посевы способствуют активизации более ранних стадий микробных сукцессий, что, очевидно, связано с притоком органических веществ за счет увеличения массы корней и корневых выделений, а также за счет разнообразия последних. При сравнении двух вариантов совместных посевов между собой можно предположить, что поддержание микробных сообществ на более ранних стадиях сукцессий, развитие беспоровых псевдомонад и почвенных дрожжей (*Lipomyces*) обеспечивает вариант посева с размещением сорго в междурядьях сои.

5. *Взаимоотношения между культурами и почвенной мезофауной.* Некоторыми исследованиями установлено, что на численность и активную биомассу почвенных микробных сообществ прямо и косвенно влияют почвенные беспозвоночные, что проявляется через изменение представителями мезофауны некоторых агрофизических и агрохимических характеристик почв. Нами установлено, что соотношение между численностью почвенной микрофлоры и мезофауны наибольшее среди исследованных вариантов в чистом посеве сорго (2,5 млрд экз.). В чистом посеве сои и при совместном посеве ее с сорго этот показатель значительно ниже (1,3 и 1,5 млрд экз. соответственно). Соотношение между аммонифицирующими микроорганизмами и почвенными беспозвоночными составляет 1,7 тыс. экз. в чистом посеве сои; 4,5 тыс. экз. в чистом посеве сорго и 10,9 тыс. экз. в совместном посеве сои и сорго. Коэффициент корреляции между количествами почвенной аммонифицирующей микрофлоры и

мезофауны составляет 6,4, что свидетельствует о наличии взаимосвязи между этими показателями (Белюченко, 2010).

Все выделенные виды и роды являются типичными представителями почвенной мезофауны выщелоченных черноземов. В ходе исследований не было выявлено организмов, которые были бы приурочены к определенным видам растений или определенным типам посевов. В период формирования генеративных органов во всех вариантах посевов преобладали представители класса *Insecta* (отряд *Collembola*), класса *Nematoda* и класса *Myriapoda* (отряд *Lithobiomorpha*). В период созревания культур состав почвенного фаунистического сообщества несколько изменился и преобладали классы *Arachnida*, *Insecta* (отряд *Collembola*) и *Myriapoda*; класс *Myriapoda* в этот период представлен подклассом *Syrophyla* и отрядами *Diplura* и *Hymenoptera*. В период активной вегетации культур наблюдалось некоторое увеличение видового разнообразия и количества беспозвоночных в совместных посевах сои и сорго (1,5 экз./кг почвы) по сравнению с чистым посевом сои (1,25 экз./кг почвы) и чистым посевом сорго (0,98 экз./кг почвы) (Белюченко, 2012).

В период созревания культур количество представителей почвенной мезофауны в слое 0–30 см возросло в 2–4 раза по сравнению с вегетативным периодом, что объясняется снижением температуры почвы, увеличением ее влажности и притоком большого количества органических веществ за счет отмирания подземных и надземных частей растений. В чистом посеве сои и совместном посеве сои и сорго количество беспозвоночных было примерно одинаковым (6,52 и 6,77 экз./кг почвы соответственно), а в чистом посеве значительно ниже – 2,33 экз./кг почвы. Иными словами, совместные посевы способствуют повышению видового разнообразия и количественных характеристик фаунистических сообществ почвы.

6. *Урожай сухого вещества и зерна в чистых и совместных посевах.* Совместные посевы в большинстве случаев несут значительную функциональную нагрузку с точки зрения формирования урожая сухой массы и зерна (таблицы 15, 16). В годы проведения исследований совместные посевы формировали больший урожай сухого вещества по сравнению с чистыми посевами сои и амаранта (4,9 и 4,2 т/га соответственно). Наибольший урожай был получен при размещении сои в междурядьях сорго – $11,08 \pm 0,7$ т/га. Самый низкий урожай сухого вещества в совместных посевах был сформир-

рован при размещении амаранта в междурядьях сои – $5,50 \pm 0,24$. Урожайность других вариантов находилась в пределах $7,43 \pm 0,04$ – $7,95 \pm 0,44$ т/га. Способ посева влиял на урожайность отдельных компонентов совместных посевов. Наибольшее угнетение испытывал амарант при посеве в междурядья сои. Его урожайность снижалась на 49 % по сравнению с чистым посевом. При применении органических удобрений урожайность сухого вещества амаранта в чистом посеве возросла на 14,3 %, а сорго – на 12,6 %. При размещении в междурядьях сои этот показатель составил у амаранта 10,0 % и у сорго 11,1 % (Белюченко, 2012).

Таблица 15 – Урожайность сухого вещества в чистых и совместных посевах, т/га, (среднее за 6 лет)

Вариант	Соя	Сорго	Амарант	Сумма
Соя	$4,95 \pm 0,23$	–	–	$4,95 \pm 0,23$
Сорго	–	$10,77 \pm 0,5$	–	$10,77 \pm 0,5$
Амарант	–	–	$4,2 \pm 0,19$	$4,2 \pm 0,19$
Соя + сорго	$1,59 \pm 0,11$	$9,59 \pm 0,54$		$11,08 \pm 0,7$
Соя + амарант	$4,43 \pm 0,23$		$1,07 \pm 0,11$	$5,50 \pm 0,24$

Таблица 16 – Урожайность зерна в чистых и совместных посевах, т/га, (среднее за 6 лет)

Вариант	Соя	Сорго	Амарант	Сумма
Соя	$2,24 \pm 0,09$	–	–	$2,24 \pm 0,09$
Сорго	–	$3,16 \pm 0,16$	–	$3,16 \pm 0,16$
Амарант	–	–	$1,82 \pm 0,08$	$1,82 \pm 0,08$
Соя + сорго	$0,6 \pm 0,04$	$2,61 \pm 0,14$		$3,27 \pm 0,15$
Соя + амарант	$1,95 \pm 0,09$		$0,32 \pm 0,02$	$2,23 \pm 0,09$

В годы проведения исследований на величину урожая зерна в значительной степени влияли погодные условия отдельных лет, способ посева и применение органических удобрений. Совместные посевы формировали урожай зерна, равный или незначительно превышающий урожай зерна в чистых посевах. Наибольший суммарный урожай зерна формировался в варианте с размещением сои в междурядьях сорго ($3,27 \pm 0,15$ т/га), а наименьший – при размещении амаранта в междурядьях сои ($2,23 \pm 0,09$ т/га). При формировании урожая зерна в вариантах с применением удобрений отмечались

аналогичные закономерности, что и в неудобренных вариантах. Следует отметить, что в удобренных вариантах увеличивалось соотношение между накоплением сухого вещества и зерновой продуктивности.

На основании полученных данных нами сделаны следующие выводы. Процессы роста и развития культур в совместных и чистых посевах весьма сильно различаются. Линейные показатели сои в совместных посевах увеличиваются, у сорго и амаранта снижаются. В совместных посевах общая чистая продуктивность фотосинтеза выше, чем в чистых посевах сои, но ниже, чем в посевах сорго и амаранта. С увеличением густоты стояния усиливается конкурентное влияние видов растений друг на друга. Среди исследованных культур при разных способах посева наибольшие коэффициенты конкурентоспособности отмечены у сорго, наименьшие – у амаранта. Конкурентоспособность сорго в совместных посевах может быть снижена в пользу сои путем уменьшения площади питания сорго (Белюченко, 2012).

Способ посева культур влияет на видовой состав микробных сообществ. В большей степени влияние проявлялось при размещении сорго в междурядьях сои. При этом в ризосфере совместных посевов возрастает количество свободноживущих азотфиксаторов и снижается количество условно патогенных микромицетов. Численность прочих микроорганизмов в почве и ризосфере совместных посевов увеличивается по сравнению с чистыми посевами. Совместные посевы эффективнее поддерживают микробные сообщества на более ранних стадиях их формирования, что подтверждается видовым набором *Pseudomonas* и *Lipomyces*. Отмечена положительная корреляция ($r = 0,64$) популяций аммонифицирующих групп организмов в почве. Не обнаружено тесной связи между видовым и количественным составом населения почвенных беспозвоночных и способом посева культур: отмечено некоторое увеличение видового разнообразия и количественных параметров фаунистических сообществ под совместными посевами культур. Наибольшие популяции в посевах сои и совместных посевах разных культур формируют *Collembola* семейства *Entomobriidae* и *Hymenoptera* семейства *Enchytraeidae*. Остальные группы организмов в почвенном зооценозе представлены численно небольшими популяциями (8).

Совместные посевы сои, сорго и амаранта формируют заметно отличающиеся урожаи сухого вещества и зерна о сравнению с чистыми посевами сои и амаранта. Так, средняя урожайность сухого вещества надземной массы совместного посева сорго и сои составляла $11,08 \pm 0,7$ т/га, а в чистых посевах сои, сорго и амаранта $10,77 \pm 0,5$, $4,95 \pm 0,23$ и $4,20 \pm 0,19$ т/га соответственно. Средняя урожайность зерна в совместных посевах сои и сорго при их размещении в междурядьях культур урожайность в чистых и совместных посевах повышалась (Белюченко, 2012).

Взаимоотношения различных видов организмов в чистых и смешанных посевах, высеянные виды растений (в чистом виде или совместно) способствуют формированию сообществ живых организмов, каждый из которых занимает свое особое место, обусловленное совокупностью их приспособлений в условиях динамичной среды. Определенной границы или их экологической ниши для отдельных видов выделить трудно. Экологическая ниша – это условно выделенное место, занимаемое видом в сообществе и в системе взаимоотношений, существующих между видами в их использовании определенных ресурсов. Первые представления об экологической нише в нашей стране были разработаны еще в 1924–1925 гг. Л. Г. Раменским.

В отечественной экологии получил развитие редуccionистский популяционный подход все межвидовые отношения в агроландшафте осуществляются на уровне популяций или сорторегуляций отдельных видов. Специфичность ситуации в экологии с ориентацией на конкретный организм или сорт в том числе, что элементарной (наименьшей) биоценотической единицей признана консорция В. Н. Беклемишева (1951), в структуре которой функционируют не популяции или ценопопуляции, а консорции (Белюченко, 1996).

Растения и животные в период своего развития выделяют часть своих ресурсов на прирост массы и размножение. Например, после посева при благоприятных условиях весной (повышение температуры, улучшение обеспеченности водой и питательными веществами) растения реагируют нарастанием биомассы, что стимулирует увеличение в этих консорциях число популяций и массы особей растительноядных организмов, а затем и хищников. Часть энергии различными уровнями организмов направляется на размножение: высеянные однолетники резко увеличивают свою массу, а многолет-

ники (особенно сорные виды) наряду с увеличением массы ускоряют и процессы размножения (Белюченко, 2001).

Размеры первичной продукции и размножение организмов всех уровней консортов агроландшафта приурочены к определенным периодам года и надежно коррелируют с обилием питания. Специфичность реакции различных организмов, включая и высеянные сорта растений, на условия среды изменением динамики развития обуславливает поддержание определенного уровня потоков энергии и круговоротов питательных веществ, не создавая условий для их концентрации в каких-то блоках и повышая их целесообразную эффективность в пределах отдельных консорциев.

Агросистема является открытой в информационном плане (потоки информации вместе с потоками энергии пронизывают ее). Она более открыта по сравнению с круговоротом биогенов, которые в значительной мере замыкаются в агроландшафте, формируя малый круговорот большинства элементов. Критерию целостности агроландшафта отвечают элементарные единицы ее организации – популяционные консорции, основой которой является детерминирующая группа основного вида растений, а также сорных растений (их популяции или ценопопуляции) со связанными с ними многочисленными гетеротрофами, занимающими собою определенную территорию агроландшафта. Консорции высших растений в агроландшафте являются целостными организмами, объединенными в систему высокого ранга общим информационным потоком совместно с объединением общих потоков энергии и круговоротов веществ. Консорции агроландшафтов представляют собой более открытые системы, чем природные, в силу сходства элементов потребления с соседними консорциями, биохимического состава формируемых основных веществ и их выделений и основных различий в накоплении ими редких элементов и соединений, разделяющих их друг от друга и обуславливающих разнообразие между гетеротрофами разного уровня (Белюченко, 2010).

Агроландшафты представлены большим числом различных видов организмов, имеющих между собой самые разнообразные взаимоотношения. Определенную роль в организации той или иной системы имеют трофические связи, отражающие основное направление потока энергии в сообществе, а также использование одних организмов другими в качестве источника энергии. Отсюда определи-

лось понятие о пищевых цепях. В качестве общей схемы пищевой цепи может быть следующий ряд организмов: растение – фитофаг – зоофаг.

Взаимоотношения организмов в агроландшафтах не ограничиваются только их трофическими связями. Например, паразиты и симбионты влияют на автотрофы не только тем, что заимствуют у них энергию, но и выделяют в их тела продукты своего метаболизма; гетеротрофы–фитофаги, не связанные непосредственно с автотрофами, влияют на последние, с одной стороны, используя их энергию и вещества, а с другой, меняя условия их существования (копытные не только поедают траву, но и уплотняют почву, оставляют экскременты, бросают несъеденными другие виды растений и т. д.). Велика для растений роль средообразующего влияния животных: они не только используют плоды, пыльцу, нектар растений, но также способствуют опылению цветков растений, распространению (или поеданию) их семян. Вместе с этим именно животные нередко переносят бактериальные, вирусные и грибковые заболевания. В некоторых случаях (например, при поражении корней нематодами) возможно проникновение грибной инфекции в стебли растений и их корни (например, боррер на сахарном тростнике и т. д.).

Вполне допустимо, что трофические связи между организмами в агроландшафте отсутствуют, а существуют только топические (связаны общим местом обитания). Например, древесные растения нередко используются эпифитами как субстрат для прикрепления, а многими птицами как место для устройства гнезд. Иногда топические связи носят весьма своеобразный характер. Например, в Мексике и Ц. Америке, как отмечалось ранее, наблюдается оригинальная связь между *Acacia cornigera* и муравьем (*Pseudomyrmex ferruginea*). Муравьи образуют колонии во вздутых шипах акации и угнетают насекомых, поедающих акацию, тем самым защищая ее. При отсутствии Муравьёв листья акации сильно объедаются другими насекомыми, что ведет к ее отмиранию примерно в течение двух–трех лет. Возникшие связи в результате сопряженной эволюции акации и Муравьёв привели к утрате акацией способности противостоять воздействию насекомых – фитофагов, а у Муравьёв – самостоятельно добывать пищу (Белюченко, Мельник, 2010).

Отношения между организмами в агроландшафте не замыкаются на трофических связях, поэтому изучение взаимоотношений

между видами (состав, структура, функционирование и т. д.) являются весьма важными. Если цепь питания показывает направление потока энергии и характер трансформации питательных веществ в системе, то характер взаимосвязей в агроландшафте отражает особенности прямых контактов между ее организмами на базе детерминирующего вида, каким обычно выступает автотроф. В целом каждый живой организм в агроландшафте следует рассматривать как важную структурную вещественно-энергетическую часть системы (Белюченко, 2012).

Структура агроландшафта. В составе агроландшафта следует выделить центральный вид (детерминант) или виды, а также совокупность организмов, зависящих от детерминанта энергетически или топически – хищники, паразитные растения, животные и т. д.). В качестве детерминанта выступает обычно ценопопуляция или сортотип автотрофа. Основная часть консортов представлена гетеротрофами (исключая автотрофных эпифитов и полупаразитов). Консорты, связанные непосредственно с особями центрального вида, формируют первый концентр. Все они фитофаги (хищники или паразиты). Организмы, энергетически связанные с первым концентром, формируют второй концентр и т. д.

Автотроф обеспечивает организмы первого концентра (обычно фитофаги) энергией и веществами и (или) представляет субстрат для их прикрепления или обитания, а также изменяет среду, в которой обитает. В понимании структуры агроландшафта важнейшее значение имеют энергетические зависимости гетеротрофов от детерминанта. Гетеротрофы используют энергию и вещества, находящиеся в живых тканях автотрофов, а также в их отмерших органах и прижизненных выделениях. В соответствии с этим гетеротрофы первого концентра можно разделить на 3 группы организмов; 1) биотрофы, использующие энергию живых организмов; 2) сапротрофы, использующие энергию отмерших органов и организмов; 3) эккрисотрофы, использующие энергию прижизненных выделений (Белюченко, 2010).

Биотрофы потребляют органическое вещество, часто минерализуют его с образованием углекислого газа и воды, а у биотрофов-животных образуются также другие газы и соли. В результате работы сапротрофов в почве накапливаются минеральные и органиче-

ские вещества, некоторые из них очень стойкие, например, гумус почвы (Белюченко, Мустафаев, 2010).

Таким образом, биотрофы и сапротрофы в агроландшафте потребляют органические вещества и обеспечивают их частичную или полную минерализацию, т. е. являются редуцентами, минерализующими органические вещества. Различия между ними в том, что одни используют живые, а другие – отмершие части растений.

Биотрофы, сапротрофы и эккрисотрофы представляют собою достаточно обособленные территориально и функционально группы организмов. Связанные с ними консорты второго и последующих группировок также образуют относительно обособленные части. Некоторые авторы среди живых видов агроландшафта выделяют 3 направления энергетических связей – биотрофный, сапротрофный, эккрисотрофный (Работнов, 1970). Второй и последующие концентры состоят из биотрофов и сапротрофов. Биотрофы представлены животными – фитофагами, зоофагами и сапрофагами (грибы, актиномицеты, бактерии). Сапротрофы объединяют в основном грибы и животных, использующих в качестве источника энергии тела отмерших организмов, входящих в первый концентр консорция, а также части тела, периодически сбрасываемые при прохождении жизненного цикла, и экскременты более высокоорганизованных животных. Экскременты используются особой группой сапротрофов – копротрофами. На пастбищах группа копротрофов имеет особенно большое значение (Белюченко, 2015).

Более высокоорганизованные животные также имеют своих учредителей: эндо- и эпибионтов. Число консортов в биотрофной фазе невелико. В результате деятельности человека, уничтожившего в некоторых случаях хищных животных, их число в агроландшафте ограничено нередко одним – двумя таксонами. Растительной слон завершает биотрофную фазу консорция, если не принимать во внимание его экто- и эндопаразитов, а вслед за насекомыми фитофагами может быть еще 2–3 и более участников использования его энергии (Белюченко, Подаруева, 1990).

Животные–сапротрофы, питающиеся разлагающимися остатками растений и животных и экскрементами, потребляют вместе с органическим веществом большое количество организмов, участвующих в разложении органического вещества (грибы, бактерии) и являющихся биотрофами (рисунок 2). Тем не менее сапротрофия

имеет для них большее значение, чем биотрофия. Некоторые сапротрофные животные, например, дождевые черви, поедаются биотрофами (кротами), тем самым часть энергии и веществ переходит из сапротрофной в биотрофную фазу. Это указывает на сложность энергетических связей в агроландшафте (Белюченко, 2010).

Автотрофные растения в агроландшафте в большей или меньшей степени различаются морфологически, анатомически, биохимически; своеобразны и их прижизненные выделения. Отмирающие органы автотрофов также различаются химически и механически, что определяет своеобразие в составе биотрофной, сапротрофной и эккрисотрофной структуры автотрофов, у других биотрофов приуроченность к определенным организмам не выражена, и они имеют связь со многими таксонами (Белюченко, Мельник, 2010).

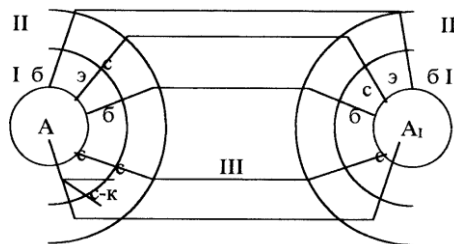


Рисунок 2 – Схема формирования элементарных энергетических связей и энергетических потоков:

A_1, A – автотрофы; I, II, III – концентры; б – биотрофные, с – сапротрофные, э – эккрисотрофные, К – копротрофные связи

При переходе с одного трофического уровня на другой происходит частичное рассеивание энергии (второй закон термодинамики). Наблюдается постоянная утрата энергетико-вещественной специфики взаимоотношений, а также постоянная концентрация энергии организмами определенных групп и различных автотрофов. Кроме энергетических связей, являющихся вещественно-энергетическими (консорты получают от детерминанта вещество и энергию), между автотрофом и другими видами существуют также трофические (вещественные) и топические связи. Так, полупаразиты, способны к фотосинтезу и заимствуют от хозяина воду и минеральные вещества. Эти растения – автотрофы энергетически, но ге-

теротрофы по отношению к воде и элементам питания (Белюченко, Подаруева, 1992).

Топически с детерминантами связаны только эпифиты (мхи, лишайники, водоросли), а также некоторые животные, устраивающие свои гнезда в стволах (дуплах) и даже на ветвях деревьев. Возможно, что некоторые эпифиты частично используют в этой ситуации энергию и вещества детерминанта.

Функционирование агроландшафтов. Основное ядро агроландшафта формируется популяцией вида или сортовой группой, в состав которой входят особи различного возраста (от проростков до старых растений) и различного жизненного состояния (от угнетенных до хорошо развитых). Особи отличаются по массе своих органов, химическому составу, морфологии, анатомии, что, безусловно, влияет на их использование биотрофами. Со старением увеличивается масса отмерших органов и меняется химический состав. При отмирании растений происходит повторное использование (реутилизация) содержащихся в них элементов питания (N, P, K, Ca и др.). Уровень их использования возрастает при низкой обеспеченности ими растений (Работнов, 1978).

Вариация химического состава отмерших организмов растений в агроландшафте оказывает прямое влияние на состав его сапротрофов. Лишь с особями, имеющими генеративные органы, связана группа организмов, использующая плоды, семена, цветы. Численность группы зависит от доли генеративных особей в составе популяции. С возрастом растений изменяется приуроченность к ним грибной и других паразитирующих форм микрофлоры и микрофауны. Различия в габитусе наземной и подземной сферы детерминантов оказывают большое влияние на их видовое разнообразие. Это связано с тем, что в различных горизонтах среды агроландшафта формируются разные экологические ситуации (Белюченко и др., 2000).

Формирование сообщества агроландшафта осуществлялось по мере становления автотрофов и сопряженно развивавшихся с ними организмов, способных к совместному существованию. Становление отдельных видов растений шло за счет местной флоры и фауны, способных существовать в определенных условиях экотопа. Только совместимые виды могут существовать вместе. Каждая из основных функциональных групп организмов, составляющих сообщества, вы-

полняет определенную функцию в агроландшафте. Каждый организм агроландшафта оказывает влияние на среду обитания всей системы. Биотрофы оказывают влияние на продуктивность и соотношение автотрофов в фитоценозе, а также на обеспечение энергией и веществами сапротрофов и эккрисотрофов. Фитофаги сокращают поверхность усваивающих органов - листьев и корней автотрофов (Муравьев и др., 2008).

Фитопаразиты и связанные с автотрофами фитофаги угнетают детерминанта, выделяя в его ткани продукты своего метаболизма. Это снижает жизненное состояние автотрофов и интенсивность воздействия последних на среду. Фитофаги, конкретно не связанные с растениями агроландшафта, оказывают прямое влияние на среду обитания, уплотняя почву, откладывая экскременты и т. д. Грибы и бактерии широко представлены в агроландшафте, и их симбиотрофная группа существенно влияет на конкуренцию автотрофов, обеспечивая их минеральными веществами. Особенно велика роль азотфиксаторов, активно влияющих на автотрофы и агроландшафт в целом. Поступление азота ведет к усилению минерализации органического вещества. Отдельные симбиотрофы занимают промежуточное положение между биотрофами и сапротрофами. В частности, это относится к грибам, формирующим эктомикоризу, зависимым энергетически от органического вещества почвы и самого автотрофа. Эти организмы способны снабжать автотроф элементами минерального питания из органического вещества почвы без его минерализации (Белюченко, Боташева, 2003; Белюченко, 2012).

Отдельные биотрофы опыляют цветки и распространяют плоды и семена, способствуя размножению некоторых видов растений. Большое значение имеют ризосферные микроорганизмы – эккрисотрофы. Они разнообразны по своим функциям. Велика их роль в детоксикации корневых выделений автотрофа, с которым они связаны, а также метаболитов сапротрофов. Бесспорно значение эккрисотрофов, влияющих на обеспечение автотрофов азотом. Сапротрофы минерализуют остатки отмерших растений и животных, способствуют образованию доступных форм элементов минерального питания для автотрофов (особенно азота). В результате их жизнедеятельности образуются стойкие органические вещества (гумус), вступающие в химические реакции с минеральной частью почвы, и

вещества, воздействующие на автотрофы, оказывая влияние на водно-воздушный режим (создание водопрочных структур, аэрацию почвы, ее обогащение органическими веществами и т. д.).

Автотрофы обеспечивают сапротрофы органическими веществами, что играет существенную роль в агроландшафте. Видовой состав биоты агроландшафтов в нашей стране изучен крайне слабо. Однако по имеющимся данным видно, что практически каждый растительный компонент агроландшафта имеет свой набор сопутствующих живых организмов (Белюченко, Пономарева, 2003).

Полночленность сообщества агроландшафтов. Автотроф и сопутствующие им виды могут иметь экологически различные ареалы. В основном ареале автотроф имеет, скорее всего, набор постоянных и дополнительных видов различных организмов. Попадание вида (высеянного наим) в новое сообщество и освоение им новой ситуации сопровождается формированием его консортов в состав которого входят виды, свойственные этому агроландшафту, а также те, которые перекочевали сюда вместе с автотрофом. Если местная флора и фауна не имеет видов, свойственных для внедряющегося интродуцента, то образуются немногочисленные таксоны, возникающие при интродукции автотрофа за пределы его ареала (Белюченко, 2012).

Эволюция в изоляции (острова, горы и т. д.) может оказаться весьма специфичной и привести к формированию неполночленных сообществ в агроландшафте. Например, в Австралии 150 лет тому назад кролики из Европы расселялись со скоростью 110 км/год и практически заняли весь континент, полностью опустошая пастбища и совершенно лишая кормовой базы скотоводство. Только с завозом вируса миксоматоза после 2-й мировой войны удалось остановить развитие популяций кроликов. Болезнь погубила многие популяции, но в некоторых из них отдельные особи оказались невосприимчивыми, и вид не был полностью уничтожен. Значительно меньшего масштаба, но сходные по существу, отмечены случаи резкого возрастания популяций, сбегавших на волю нутрий в Англии и США.

Не менее серьезную проблему могут создавать растения. В Конго водные гиацинты на реках создают серьезную угрозу судоходству. Сдерживающим фактором может выступить гиппопотам, поедающий гиацинты. В Австралию из США была завезена опунция для создания

живых изгородей и как продукт питания. Условия вегетации оказались благоприятными, а в фауне не нашлось видов, способных стать для опунции эффективным биотрофом. Поэтому она быстро распространилась на обширных площадях (свыше 25 млн га) и обусловила снижение продуктивности пастбищ. Ее расселение было остановлено насекомыми-паразитами (Белюченко, 2006; Белюченко и др., 2006).

Свою роль насекомые-паразиты сыграли в жизни «козьей травы», завезенной случайно из Европы в Калифорнию в конце XIX в. и занявшей к середине XX в. свыше 100 млн га, вытеснив на пастбищах ценнейшие кормовые виды. Ведется работа по борьбе с водяными гиацинтами сильно мешающими навигации, в реках Луизианы, Конго и других стран. Гиацинты водные – эффективные растения с похожими на орхидеи цветками, были завезены из Венесуэлы во время выставки хлопка в 1884 г.; участники приобрели рассаду и высадили в своих прудах и реках. Каждое растение гиацинта за 50 дней вегетации образует свыше 1000 потомков, и поэтому любое механическое воздействие дает лишь временный эффект (Пономарева, Белюченко, 2005).

Аналогичный пример с интродукцией бобового кустарника марабу, завезенного на Кубу из США. При разработке мер борьбы с ним оказалось более целесообразным устранить неполноценность его сообществ путем завоза насекомых, использующих эти таксоны. По-другому сложилась судьба с интродукцией подсолнечника в Россию. Он начал поражаться заразой, которая до того паразитировала на местных формах полыни. На родине (Северная Америка) в числе фитофагов подсолнечника заразы не было. В новом ареале в составе автотрофов появился биотроф, снижающий его урожай (Belyuchenko, 1964).

Нередко биотрофы отдельных автотрофов полночленны (в их составе находятся все местные организмы). Однако считать эти сообщества абсолютно полночленными нельзя, поскольку в других районах могут быть организмы, способные входить в их состав. Занос таких видов, способных стать эффективными биотрофами местных растений, может сопровождаться катастрофическим последствием, поскольку эволюция автотрофа протекала несопряженно с заносным биотрофом и он не обладает соответствующими защитными реакциями, обеспечивающими возможность их совместного

обитания. Так, в северо-восточных штатах США местный каштан (*Castanea dentata*) во второй половине прошлого века широко встречался в лесах и наряду с дубом был преобладающим. В начале XX в. было впервые отмечено поражение каштана занесенным из Китая грибом-паразитом *Endothia parasitis*. В восточных областях Китая этот гриб паразитирует на местных видах каштана, но не наносит им существенного вреда, что указывает на сопряженность их эволюции. В США гриб быстро распространился, что сопровождалось гибелью каштана. В течение 20 лет каштан погиб в Новой Англии, а в последующие 20 лет поражение каштана грибом распространилось до южных границ его произрастания в штате Джорджия. Дубово-каштановые и дубово-каштаново-гикориевые леса стали дубовыми и дубово-гикориевыми (Белюченко, 1996).

Таким образом, кроме хорошо известных цепей питания, целесообразно выделять в системах также сочетания разнообразных организмов, тесно связанных друг с другом в их жизнедеятельности известной общностью их происхождения. Такова, например, древесная порода со свойственными ей паразитами, сапрофитами, эпифитами (лишайники, мхи), симбионтами (микориза, микробы ризосферы и др.), вредителями – переносчиками пыльцы, семян и т. д. Без выделения и изучения биотрофов наше знание биоценозов не будет полным и законченным (Раменский, 1952). Надеемся, что в дальнейшем биотрофы будут рассматриваться как важнейшие части экосистемы и как элементарные энергетические структуры их слагающие.

Состав живых организмов в агроландшафте. Видовой и популяционный состав живых организмов (бактерии, грибы, актиномицеты, одноклеточные водоросли, многие представители микро- и мезофауны) зависит от структуры сложного компоста, вносимого в верхний слой чернозема. Большое значение для живых организмов агроландшафта имеет кальций, усиливающий водопотребление благодаря прочности агрегатов на основе органических и минеральных коллоидов, а также снижающий токсическое действие солей тяжелых металлов. Хорошим источником кальция в агроландшафте могут быть фосфогипс, мел, известковая мука и другие минералы (Белюченко и др., 2002).

Биологическую основу развития почв в агроландшафтах составляют прокариотные сообщества, а физико-химическая основа

создается комбинированием обменных реакций органических и химических соединений, образованием ППК сложного компоста и другими процессами.

Разнообразие и численность микробных сообществ определяет скорость и пути трансформации органических веществ, а также оптимизирует условия жизнедеятельности всех живых организмов. Применение сложного компоста в верхнем слое почвы агроландшафта значительно улучшает возможности развития биоты и появление новых экологических ниш (Белюченко и др., 2013). Материалом для исследований служили образцы чернозема обыкновенного, отобранные под посевами различных однолетних культур в разных вариантах опытов. Численность микроорганизмов оценивалось методом посева разведений почвы на плотные и жидкие питательные среды (ГПД, КАА, ГА Виноградского, Эшби – Гетченсона и Чапека). Экспозицию посевов осуществляли при +24 и + 30 °С в каждом опыте в течение трех недель. Идентификацию бактерий, в частности определение принадлежности актиномицетов, проводили на основе их культуральных, морфологических и физиолого-биохимических признаков с использованием определителей (Berde's Manual of Systematic Bacteriology, 1984; Определитель бактерий Берджи, 1997). Для видовой идентификации стрептомицетов использовали определитель актиномицетов Гаузе, а микромицетов – определители отечественных и зарубежных авторов (Кириленко, 1977). Общую численность микроорганизмов оценивали в КОЕ/г сложного компоста и почвы. Анализ полученных данных позволил провести сравнительную оценку различных групп микроорганизмов при различных условиях. Наибольшим разнообразием отмечались актиномицеты, которым принадлежит большая роль в круговороте органических и минеральных веществ: влияние на азотный баланс почвы, синтез и разложение гумусовых веществ, осуществление также процессов трансформации различных соединений, в первую очередь труднодоступных органических веществ. Развитие актиномицетов зависит от доступности кислорода, рН, относительной влажности, температуры, количества питательных веществ в среде. В микробоценозах агроландшафта преобладали прокариоты.

1. Основные аспекты формирования живых организмов в агроландшафтах. В поликомпонентных образцах агроландшафтов

обычно формируются сообщества микроорганизмов с самыми разными трофическими функциями. Не все виды микроорганизмов способны обеспечивать в почве на первом этапе после посева культур(ы) устойчивость и равновесие, и потому их сообщества сначала разрозненны и не взаимосвязаны в единую систему (Алифиров и др., 2007). К концу третьей–четвертой недели взаимодействие живых организмов приводит к образованию эколого-функциональных систем, где в качестве энергетического ресурса используются в основном органические вещества и идет их трансформация в гумус (глинисто-гумусовый комплекс) и другие соединения: органические кислоты, аминокислоты, ферменты, ауксины, образуются также простые минеральные соединения: CO_2 , H_2O и т.д. Различные свойства почвенного покрова при его объединении со сложным компостом (например, щелочная среда свиного навоза и кислая среда фосфогипса) формируют различные микробсообщества, ускоряют развитие органо-минерального комплекса на основе физических и химических реакций органических и минеральных составляющих (подстильного и жидкого навоза), куриного помета, осадков сточных вод, фекалий, галита, фосфогипса и других компонентов (Белюченко и др., 2013).

Сущность формирования продуктивных агроландшафтов состоит в развитии микробиологических процессов, благодаря которым идет разложение органических веществ, комплексирование минеральных и органических коллоидов, создание агрегатов размером до 2,0 мм, формирование новых круговоротов биогенов, активизация дыхания, поэтому сложный субстрат в теплый период года образуется за 1,0–1,5 месяца. Эти процессы осуществляются в агроландшафте главным образом одноклеточными протистами, к которым относятся прокариоты (низшие протисты): бактерии, цианобактерии (синезеленые водоросли), отличающиеся по строению клеток от других организмов, а также высшие протисты: одноклеточные водоросли, грибы, простейшие и ряд других живых организмов.

Параллельно в агроландшафте ускоряются и другие химические реакции, в частности минерализация отмерших организмов животных и растений до неорганических соединений, в составе которых очень важны такие элементы, как углерод, азот, сера, фосфор и некоторые другие. Важное значение в динамике азота в верхнем слое

агроландшафта имеет аммиак, образующийся при распаде органических соединений и их разложении под влиянием уреазоактивных анаэробных бактерий, деятельность которых заметно усиливается при повышении температуры.

Важное место в сложном компосте занимает и аммоний, образующийся при разложении белков и аминокислот и под влиянием бактерий *Nitrosomonas* и *Nitrobacter*, окисляющихся до нитратов и нитритов. Значительная часть азотных соединений в результате денитрификации при отсутствии кислорода теряется в атмосфере. При формировании сложного компоста активно функционируют различные бактерии, выполняющие важную роль в круговороте азота (Белюченко, 2006).

При включении в верхний слой агроландшафта фосфогипса в сочетании с полуперепревшим навозом свиней и КРС, куриным пометом, осадками сточных вод и другими органическими отходами идет реакция $\text{CaSO}_4 + \text{CO}_2 + \text{NH}_3$ (навоз) $\rightarrow \text{CaCO}_3 + (\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$. При создании благоприятных условий эта реакция протекает достаточно интенсивно, приводя к увеличению количества доступного растениям азота (Белюченко и др., 2002). Кроме того, периодическое пополнение верхнего слоя агроландшафта свежим растительным материалом замедляет денитрификацию и распад органического вещества, при этом снижаются потери газообразного азота.

Микроорганизмы в агроландшафте осуществляют важнейшую работу по поддержанию круговорота углерода – от начала его формирования до выхода на верхнюю точку. Минерализация органического углерода в виде различных органических соединений микроорганизмами нарушает равновесие в системе. Живые организмы, постоянно минерализуя органическое вещество из сложного компоста и в целом из агроландшафта, возвращают в атмосферу углерод в основном в форме CO_2 . Фотосинтез растений соотносится с редукцией органического вещества, выполняемой бактериями и грибами, осуществляющими кооперацию в круговороте углерода (растения синтезируют, а бактерии и грибы минерализуют органические вещества отмерших растений и животных). Органические и минеральные коллоиды в ППК почвы благодаря внесению в нее сложного компоста гораздо медленнее вымываются в грунтовые воды (Белюченко и др., 2006).

Небольшое количество минерального углерода (около 1 %) уходит из сложного компоста в атмосферу в форме метана, который образуется в недоступных для кислорода воздуха местах, в основном в нижней части бурта, если смесь отходов не перемешивается. В образовании метана при отсутствии кислорода принимают участие клостридии (*Clostridium pasteurianum*). Основным питательным субстратом в агроландшафте для живых организмов являются полисахариды (до 60–70 %); моносахара же являются предпочтительными для питания основной части микроорганизмов.

Сера в сухом органическом веществе в верхнем слое агроландшафта содержится в основном в таких аминокислотах, как гомоцистеин, метионин и цистеин, – до 1%. Основная часть сероводорода в природе образуется при диссимиляционном восстановлении сульфатов в результате деятельности сульфатредуцирующих бактерий и при отсутствии молекулярного кислорода в нижних частях компостных буртов, где он преобразуется в серу фототрофными анаэробными бактериями. При наличии свободного кислорода сероводород окисляется серобактериями до сульфата. Для синтеза серосодержащих аминокислот растения и некоторые микроорганизмы получают серу путем ассимиляционной сульфатредукции, а животные соединения серы получают с пищей.

Фосфор в верхнем слое ландшафта представлен свободными ионами ортофосфорной кислоты H_3PO_4 из фосфогипса в достаточно низкой концентрации с образованием малорастворимых соединений, поскольку их основная часть находится в комплексах с тяжелыми металлами. Фосфаты в сложном компосте переводятся в растворимую форму. Концентрации полуторных окислов, особенно железа и алюминия, в сложном компосте относительно низкие. Фосфаты сложного компоста в свободной форме при попадании в водные системы провоцируют эвтрофикацию и массовое размножение прежде всего одноклеточных водорослей и азотфиксирующих цианобактерий. При внесении в почву образуются нерастворимые соли фосфатов, а также растворимые фосфаты, наиболее доступные растениям.

2. *Развитие микроорганизмов в агроландшафте.* Вследствие ферментативного распада в почве органического вещества и усиления дыхания из-за увеличения популяций микроорганизмов происходит активное образование газообразных веществ, особенно азотных (ам-

миака и других соединений), которые легко инфильтруются в грунтовые воды, а в форме молекулярного азота (N_2) переходят в атмосферу. Поэтому численность сообществ микроорганизмов (бактерии, грибы, актиномицеты, одноклеточные водоросли и др.) в сложных компостах, с одной стороны, указывает на интенсивность трансформации органического вещества, а с другой, на скорость комплексования органических и минеральных соединений, определяющих всю совокупность физических, химических и биологических особенностей сложного компоста при его внесении в верхний слой почвы агроландшафта и приводящих к улучшению ее плодородия (Белюченко, Пономарева, 2005).

Пик развития при подготовке сложного компоста отмечается при достижении им способности сохранять определенный экологический баланс или близкое к нему состояние при минимальном варьировании внешних условий, что является результатом высокой биологической активности. Реальная активность сложного компоста оценивается степенью улучшения почвы при его внесении в ее верхний слой. Условия развития агроландшафта при внесении сложного компоста по сезонам года различаются, и поэтому оптимум активности трудно определить без биологической оценки основных качеств: содержание и состав в нем органического вещества, показатель реакции среды и многообразие видового и популяционного состава микробоценозов (Белюченко, Мокрецов, 1991).

Биомассу микробных клеток можно оценить по их общему содержанию, которое значительно отклоняется от минимума для конкретного сложного компоста (например, минимум, который он способен энергетически обеспечить в самый неблагоприятный период). Качество сложного компоста определяется колебаниями температуры, влажности и содержания органического вещества, но в наибольшей степени связано с его составом, физическими и химическими свойствами, которые складываются в процессе его формирования и определяют существенную трансформацию за довольно короткий срок в летний период с апреля до ноября, и характером загрязнений в зависимости от технологических процессов, предшествующих образованию отходов (Белюченко и др., 2001; Белюченко, Боташева, 2003).

Биомасса микробных клеток в агроландшафте обусловлена факторами среды, трудными для учета, – количеством дождей, продолжи-

тельностью засухи, количеством органического вещества, варьированием температуры, количеством солнечного света и т. д. Минимальный пул клеток всегда складывается, если значения этих показателей далеки от оптимума. Для контроля за созреванием сложного компоста в зерновой зоне края можно использовать отбор проб и их анализ за 7–10-дневный срок, ежегодно оценивая развитие микробсообществ. Биологическая активность сложных компостов определяется благоприятными условиями для развития бактерий, грибов, актиномицетов, одноклеточных водорослей и других живых организмов.

В созревающем сложном компосте разложение органического вещества стабилизируется за счет снижения интенсивности процессов нитрификации и денитрификации. В этом состоянии система сложного компоста благодаря координированию в нем различных процессов достигает высокой степени взаимодействия различных его составляющих, в том числе сообщества живых организмов, активизация которых связана со снижением потерь, в первую очередь органических веществ, которые являются основным источником энергии для микроорганизмов, так как небольшая часть видов способна использовать для получения энергии минеральные субстраты (Белюченко, Подаруева, 1990; 1992; Белюченко, Пономарева, 2005; Белюченко, 2006; Belyuchenko, 2014).

Физиологическая и химическая активность сложных компостов определяется микробиологическими процессами. В органических отходах, особенно в осадках сточных вод, в полуперепревшем навозе КРС, в отходах переработки овощей, фруктов, сахарной свеклы и других продуктов растениеводства, формируется группа микроорганизмов, которые не получают всех необходимых им элементов питания, что существенно сдерживает развитие их популяций. Лимитирующим фактором в развитии живых организмов (бактерий, грибов и др.) в сложном компосте является дефицит органического вещества, но особенно разнообразия их биохимического состава в связи с нехваткой углеводов, белков, ферментов и т. д., а из минеральных веществ – соединений кальция, калия, серы, фосфора, марганца. В летний период для развития микроорганизмов в сложном компосте недостаточно влаги, а зимой – тепла и питательных веществ (Белюченко, 1990).

Созревание сложного компоста происходит благодаря нарастанию разнообразия живых организмов и численности их популяций,

создающих определенный запас биомассы. В полевых условиях масса живых организмов в сложном компосте колеблется в довольно широких пределах: в 1 г сложного компоста на основе свиного навоза содержится от 200 до 1000 млн бактериальных клеток; насчитывается также значительное обилие грибных гиф, клеток актиномицетов, а также одноклеточных водорослей, организмов микро- и мезофауны; на 1 м³ «зрелого» сложного компоста приходится до 40–60 кг биомассы (Белюченко, Пономарева, 2005).

Особенно активно процесс формирования сложного компоста проходит в летний сезон, когда для его развития можно периодически удовлетворять потребность биоты в свежем растительном материале. Для этого при перемешивании сложного компоста в очередной срок (примерно через месяц) в массу сложного компоста добавляется относительно свежая растительная масса, обогащенная белками, ферментами, витаминами и другими активными веществами, – свежие отходы зеленой кукурузы, зеленая масса трав, смет использованных кормов, очистки зерна и других отходов из расчета до 3–5 т/га. При нехватке свежего субстрата живые организмы после потребления основной органической массы сложного компоста переходят в состояние покоя. В первый год подготовки сложного компоста вероятность такой ситуации следует иметь в виду. В последующие годы такой необходимости нет, поскольку объединение сложного компоста и верхнего слоя почвы поддерживает необходимый уровень различных органических веществ и его стабильность для энергетического обеспечения жизнедеятельности живых организмов (Gorchakova, Belyuchenko, 2014).

При анализе сложного компоста следует обратить внимание на то, что живые организмы в нем имеют определенный запас органического вещества, которое сначала расходуется довольно быстро и достигает определенного уровня минерализации. Для верхнего слоя сложного компоста обычно характерно рассеянное распределение органического вещества и широкое варьирование численности видов и популяций различных организмов. Внесение в почву «перезревшего сложного компоста», где органического вещества мало, приводит большинство микроорганизмов в состояние покоя.

Определяющим показателем гомеостатичности почвы считается активность микробного пула. Это выражается в поддержании посто-

яинства определенного видового состава и численности популяций микроорганизмов. Необходимо выяснить, является ли это свойство постоянным для сложного компоста. Для каждого типа отхода (дефеката, свиного навоза, птичьего помета и т. д.) характерно определенное количество растворимых органических (белки, сахара, аминокислоты, витамины, ферменты и др.) и неорганических соединений (аммиака, аммония, нитратов, подвижного фосфора и других), а также уровень pH. Данные показатели могут различаться по географическим зонам (Gorchakova, Belyuchenko, 2014).

Добавленные в сложный компост растительные отходы (солома, стебли кукурузы, шляпки подсолнечника или отходы сахарной свеклы и др.) способствуют развитию микроорганизмов, которые при благоприятных условиях (влага, температура, питательные вещества) доводят постепенно состояние всего субстрата до равновесного уровня (Белюченко, Назарько, 2005). Миграция живых организмов по субстрату от места их концентрации значительно затрудняется из-за их адсорбции различными почвенными частицами, особенно органическими веществами и глиной, а также мелкими порами между частицами почвы. В одних местах возникают условия аэробные, в других – анаэробные с резко меняющимися температурами, увлажнением, значениями pH и т. д. (Белюченко, Подаруева, 1990; Белюченко, Волошина, 2007). Функции живых организмов могут осуществляться при разных условиях формирования сложного компоста за счет широкого разнообразия видов, способных осуществлять аммонификацию, нитрификацию, азотфиксацию, а также трансформировать органические и минеральные вещества, разлагать целлюлозу и другие труднодоступные соединения (Белюченко, Волошина, 2007; Белюченко и др., 2007).

3. Роль мезофауны в развитии агроландшафтов. Важным фактором формирования агроландшафтов является активность почвенных животных. В посевах кукурузы через полгода после внесения сложного компоста отмечено увеличение популяций дождевых червей с 37 до 300 особей/м³ в летний период. Дождевые черви часто выступают доминантами на изучаемой территории и осуществляют второй этап трансформации отчужденной биомассы, перемешивая и разрушая органическое вещество и трансформируя его в гумус. После внесения сложного компоста из отходов сахарной свеклы в почве отмечается

увеличение количества энхитреид, а после озимой пшеницы увеличиваются популяции кивсяков и т. д. (Пономарева, Белюченко, 2005).

Почвообразование немислимо без живых организмов, особенно мезофауны, которая в агроландшафте измельчает органическую массу и превращает ее в гумус – глинисто-гумусовый комплекс коллоидного типа. При сокращении численности живых организмов, прежде всего мезофауны (дождевые черви, энхитреиды и др.), снижается плодородие почвы в связи с потерей органического вещества, падает урожайность растений, ухудшается его качество, падает численность микроорганизмов, идет накопление токсинов, вредителей, болезней, усиливаются эрозионные процессы. Этому способствует также непродуманное использование удобрений и пестицидов. Почвенная мезофауна является важным фактором почвообразования, влияет на все свойства сложного компоста: структуру, плотность, физические, химические и биологические свойства. Особенно важны в этом плане кивсяки, дождевые черви, энхитреиды и другие беспозвоночные организмы (таблица 17).

Таблица 17 – Численность некоторых представителей мезофауны (шт./м²) в летний период (полевые опыты 2008–2012 гг.)

Мезофауна	2008 Озимая пшеница		2009 Озимая пшеница		2010 Кукуруза на зерно		2011 Озимая Пшеница		2012 Подсолнечник	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
Кивсяки	10 ± 0,05	18 ± 0,05	11 ± 0,17	42 ± 1,18	12 ± 0 ,09	34 ± 1,12	9 ± 0,04	28 ± 0,95	20 ± 0,47	32 ± 1,19
Энхитреиды	119 ± 5,04	203 ± 8,07	37 ± 1,12	92 ± 3,95	34 ± 1,08	107 ± 5,73	56 ± 1,08	95 ± 3,78	33 ± 1,04	78 ± 3,42
Дождевые черви	25 ± 1,01	34 ± 1,12	12 ± 0,09	57 ± 2,12	12 ± 0,08	38 ± 1,18	25 ± 0,81	67 ± 2,73	28 ± 1,94	71 ± 3,19
Примечание – 1 – контроль NP; 2 – NP + сложный компост										

В первый год после внесения в почву сложного компоста выявляются личиночные стадии журулиц, шелкунов и других видов. Через год в почве под озимой пшеницей заметно увеличивается число популяций кивсяков и дождевых червей; энхитреиды сокращают свою численность. После выращивания кукурузы на зерно в посевах озимой пшеницы заметно сократилась численность всех представителей мезофауны. Еще более сильное снижение обилия изучаемой мезофауны отмечено при посеве подсолнечника после озимой пшеницы.

Численность популяций дождевых червей и энхитреид в течение годичной вегетации некоторых видов растений заметно колеблется. Так, при внесении сложного компоста в ноябре 2008–2012 гг. популяции дождевых червей и энхитреид насчитывали соответственно 30 и 97 особей на 1 м², а на контроле их количество варьировало соответственно в пределах 24 и 23. В период от марта и до июня оба вида сократили численность популяций, что, очевидно, явилось результатом пестицидных обработок. Внесение сложного компоста при посеве озимой пшеницы по сахарной свекле способствовало нарастанию численности дождевых червей.

В полевых опытах в ОАО «Заветы Ильича» Ленинградского района Краснодарского края численность представителей почвенной мезофауны, особенно кивсяков, дождевых червей и энхитреид, даже на пятом году выращивания кукурузы на зерно превышала этот показатель в контроле на 75–150 % (Белюченко, Боташева, 2003). В 2011 г. изучали влияние органического вещества (полуперепревший навоз КРС) и сложного компоста, внесенных осенью 2010 г., по сравнению с минеральными удобрениями (таблица 18). Внесение сложного компоста осенью 2010 г. благоприятно сказалось на урожайности зерна кукурузы в 2011 г. (до 95 ц/га) в сравнении с контролем (70 ц/га), а на четвертый год (2014 г.) урожайность зерна кукурузы повысилась до 103 ц/га при урожае на контроле 69 ц/га (Белюченко и др., 2006; 2007).

Таблица 18 – Численность почвенной мезофауны (шт./м²) в посевах кукурузы (2011 г.) в период ее уборки на зерно

Вариант	Кивсяки	Дождевые черви	Энхитреиды	Урожайность, ц/га
NP (контроль)	9 ± 0,08	12 ± 0,09	19 ± 0,82	69,0 ± 3,18
NP + полуперепревший навоз КРС	12 ± 0,09	19 ± 0,12	52 ± 1,23	78,5 ± 3,92
NP + сложный компост	33 ± 1,07	55 ± 1,08	89 ± 4,12	95,3 ± 4,09

Количество нор мышевидных грызунов в посевах озимой пшеницы по кукурузе и сахарной свекле в различных вариантах опыта при внесении сложного компоста в осенний период снижалось до 12–19 шт/га, а на фоне минеральных удобрений число нор доходило до 80 шт./га. Число нор в весенний период после внесения сложного

компоста составило 5–10 на 1 га, а на контроле превысило 85. Возможно, подкисление молодых растений за счет компоста снижает потребление этого корма мышами. Аналогично действует сложный компост и на второй год посева озимой пшеницы.

Живые организмы в созревающих сложных компостах имеют в основном гетеротрофный тип питания, и значительная часть получаемой ими энергии при минерализации органического вещества расходуется на поддержание их биомассы – до трети и больше энергетических веществ у них идет на рост и размножение (таблица 19) (Белюченко, Назарько, 2000; Белюченко и др., 2001; Белюченко, 2006).

Таблица 19 – Численность основных групп мезофауны в почве через год после внесения сложного компоста (2011 г.)

Вариант опыта	Мезофауна, шт. / 10 г образца		
	Кивсяки	Энхитреиды	Дождевые черви
Почва + NP (контроль)	5 ± 0,01	11 ± 0,05	4 ± 0,01
Полуперепревший навоз КРС + NP	8 ± 0,01	12 ± 0,05	7 ± 0,02
Сложный компост + NP	19 ± 0,07	25 ± 0,93	27 ± 0,92

4. Развитие живых организмов в агроландшафте. Таким образом, физиологические группы микроорганизмов и интенсивность микробиологических процессов в разновозрастных сложных компостах варьируют. Например, аммонофицирующая группа микроорганизмов с доминированием *Pseudomonas* и *Aeromonas* и снижением численности актиномицетов в сложных компостах характеризует обилие органического вещества. Среди деструкторов протеинов в исследуемых образцах преобладали представители родов *Pseudomonas*, *Bacillus*, *Flavobacterium* и др. На сравнительно поздних стадиях активно участвует в почвообразовательном процессе амилотическая группа микробных сообществ, нередко превышая по численности аммонофицирующие бактерии. В этой группе нередко встречаются бактерии и актиномицеты родов *Pseudomonas*, *Arthrobacter*, *Bacillus*, *Streptomyces*, *Nocardia*, для которых характерна численность в лесных полосах.

Важным процессом в сложном компосте и в почве является нитрификация – важное звено в круговороте азота, представляющее минерализацию азотсодержащих органических веществ и накопление аммония. Активный нитрификационный процесс идет на полях

озимой пшеницы, а самая низкая его интенсивность отмечается в почвах лесополос. Целлюлозоразрушающие комплексы в сложных компостах в основном представлены родами *Pseudomonas*, *Bacillus*, *Streptomyces*, *Penicillium*, *Trichoderma*. Благодаря бактериям сложный компост и почва обладают плодородием, сложный компост с доминированием грибов выделяется пониженным плодородием. Важной частью микробного комплекса являются актиномицеты, деятельность которых связывают с азотным балансом и сложным компостом почвы. Актиномицентный комплекс представляют роды *Streptomyces*, *Nocardia*, *Micromonospora*, *Phodococcus* и др. Наиболее часто встречается *Streptomyces* – до 50 % и более. Его численность колеблется от десятков тысяч до миллиона КОЕ/г сложного компоста.

Численность плесневых и дрожжевых грибов максимальна в тех местах сложного компоста, где поступают свежие органические вещества. Грибы выделяют различные физиологически активные вещества: органические кислоты, витамины, антибиотики, ферменты. Микроскопические грибы сложного компоста и почвы играют важную роль в процессах аммонификации и нитрификации. Численность микромицетов в почвах лесополос и полей пшеницы, а также в сложном компосте при его подготовке в условиях летнего недостатка влаги ниже, чем весной. Осенью, а также в почвах всех составляющих агроландшафта популяции микромицетов в сложном компосте увеличиваются, что связано с высокой влажностью, обилием свежего опада, ослаблением конкуренции с растениями.

Важным фактором почвообразования является активность педофауны. В посевах кукурузы, озимой пшеницы и сахарной свеклы через год после внесения сложного компоста на порядок повышается численность дождевых червей и энхитрид. Сокращение обилия живых организмов в сложном компосте и в почвенном слое связано с уменьшением количества органического вещества. Почвенная мезофауна влияет на структуру почвы, ее плотность, улучшает ее физические, химические и биологические свойства. С внесением сложного компоста под посевами пшеницы заметно снижается количество мышевидных грызунов – примерно на один порядок. Живые организмы в сложном компосте представлены в основном гетеротрофами, и большая часть получаемой ими энергии при минера-

лизации органического вещества расходует на поддержание биомассы.

На основе выполненных исследований можно сделать следующие выводы:

1. Численность микроорганизмов в черноземе обыкновенном варьирует по сезонам и годам; повышенная активность микроорганизмов при высокой температуре и увлажнении усиливает нитрификацию, а поступление свежего растительного материала ограничивает этот процесс.

2. Почвенные животные влияют на структуру субстрата, его плотность и биологические свойства, существенно улучшая качество почвы.

3. Живые организмы, используя в качестве питательного субстрата различные отходы, формируют сложный компост, внесение которого улучшает физические, химические и биологические свойства почвы.

Глава 4 СОВМЕЩЕННЫЕ ПОСЕВЫ ОДНОЛЕТНИХ КУЛЬТУР – ВАЖНОЕ СВОЙСТВО ТЕОРЕТИЧЕ- СКОЙ ЭКОЛОГИИ

Саморегулирование агросистем строится с учетом взаимодействия их компонентов, выделяющихся разнообразием в видовом и трофическом отношениях; агросистемы диверсифицируются в сторону создания устойчивых, продуктивных и стратегически развитых систем; одним из перспективных направлений диверсификации агросистем считается введение в практику совмещенных посевов, известных в земледелии с давних времен и которую нам показывает сама природа. Наиболее разработанной технологией создания совмещенных посевов является практика создания травосмесей на основе взаимоотношений между их различными составляющими.

Разнообразие агроландшафтов. Интенсивное земледелие вызвало существенный рост производства сельскохозяйственной продукции. Практически во всех странах господствуют чистые однопосевы, вызвавшие, к сожалению, немало проблем в земледелии. Одновидовые агросистемы высокопродуктивны, но потенциально нестабильны, поскольку полностью зависят от весьма значительных внешних ресурсов. В отличие от природных систем они слабо адаптивны, в них меньше возможностей трансформации пищи, энергии и т. д.; они больше подвержены стрессам, которые вызваны изменениями погодных условий. Кроме того, они более уязвимы к воздействию вредных и болезнетворных организмов, сильнее страдают от эрозии и весьма активно истощают плодородие почв (Belyuchenko, 1977).

Создание условий для саморегулирования агросистем строится на основе взаимодействия между их отдельными компонентами. Достигнуть этого можно при условии, что агросистема, подобно природной, будет отличаться разнообразием в видовом и трофическом отношениях. Полагают, что биологическое и структурное раз-

нообразии агросистем и будет поддерживать многие циклические процессы, характерные для природных систем.

Разнообразие живых организмов в агроландшафте (диверсификация) – основной ключ к пониманию перспектив создания устойчивых, продуктивных экономических и экологических агросистем. Концепция диверсификации становится одной из стратегических в разрешении экологических и социальных проблем сельского хозяйства. Существует несколько путей диверсификации агросистем. Одним из весьма перспективных направлений считается введение в практику смешанных посевов. Совмещенные посевы, включающие несколько видов культурных растений, имеют ряд преимуществ перед чистым посевом (Белюченко, 2014): формируют фотосинтетический аппарат большей площади, в разных ярусах, а с увеличением количества ярусов повышается эффективность перехвата растениями солнечной радиации и участия их в фотосинтезе (Белик, 1994); размещение корневых систем разных видов в нескольких слоях почвы полнее использует минеральные вещества и влагу (Белюченко, 1987); несовпадение максимума потребления влаги и питательных веществ видами, входящими в агроценоз, дает возможность уходить от выраженных пиковых ситуаций и обеспечить удовлетворение потребностей посева в основных жизненных факторах (Белюченко, 2000); введение в посев видов с различающимися биологическими признаками ведет к лучшему использованию гидротермических ресурсов отдельных лет и формированию стабильных урожаев; в совместных посевах создается более плотный травостой, который позволяет снижать давление сорных растений; сообщество с разными видами растений реже страдает от вспышек вредителей и болезней; включение в агроценоз бобовых видов улучшает азотное питание посева; плотный растительный покров замедляет развитие водной и ветровой эрозии, способствует сохранению почвенного плодородия.

С экономической точки зрения такие посевы будут относительно выгоднее по сравнению с чистыми посевами по использованию площади земли, равномерному распределению во времени труда рабочих и максимальному использованию возможностей комплексных сельскохозяйственных машин. Создание совместных посевов – это сложная современная экологическая и хозяйственная проблема. Для их создания используются культуры, выращиваемые обычно в чистых посевах. Решение этой проблемы невозможно без всестороннего изу-

чения взаимоотношений между особями разных видов, складывающихся на уровне растительного сообщества. Изучение биотических отношений в чистых и совмещенных посевах сельскохозяйственных культур является весьма актуальным (Белюченко, 2014).

Совместные посевы включают совмещенные (культуры высеваются отдельными рядками) и смешанные (семена разных культур перемешиваются и высеваются совместно). Совмещенные посевы известны в земледелии с давних времен, а примеры смешанных травостоев нам показывает сама природа. С возрождением «нормального» земледелия (без излишества минеральных удобрений и пестицидов) совмещенные посевы снова получают прописку на наших полях. Большое значение в смешанных и совмещенных посевах придается подбору и сочетанию наиболее подходящих культур. При создании такого типа агроландшафтов рациональнее используется земельная площадь и почвенные ресурсы при сочетании и чередовании различных по экологии и биологии культур (Belyuchenko, 1977; 1980).

Правильно подобранные компоненты смесей в смешанных посевах создают в подземной и надземной среде условия, благоприятные для развития насекомых и других организмов, сдерживающих распространение вредителей. Совмещенные посевы, ввиду их меньшей специализации и приближении по свойствам к естественным угодьям, отличаются меньшим распространением болезней отдельных культур. Смешанные посевы или посадки используют благоприятное влияние определенных видов растений друг на друга, что благоприятствует улучшению состояния растений и повышению качества продукции (Belyuchenko, 1981).

В органическом земледелии сложный посев рассматривается как единый организм, представляющий собою сбалансированный блок живых организмов (растений – животных – микроорганизмов). При удачном сочетании культур, особенно в многолетних посевах, созданное сообщество живет практически самостоятельно и почти без вмешательства человека. В его функционировании более эффективно проявляются законы саморегуляции, например, численности вредных насекомых (на допустимом уровне). Вредители не исчезают, но наносимый ими вред меньше, чем в чистых посевах, поскольку их распространению в мешанках препятствуют насекомые хищники, пауки, птицы, лягушки. Введение в посев растений, выделяющих отпугивающие вещества, также способствует снижению потерь.

Человек не абсолютизируется от таких посевов, а следит за их состоянием и при необходимости принимает определенные меры, не вызывающие нарушения естественного равновесия между растительными видами. При массовом размножении вредителя используются инсектициды направленного действия, но предпочтительно растительного происхождения, а также биологические методы, используя взаимоотношения хищник – жертва по отношению именно к появившемуся вредителю.

Чтобы посев стал единым организмом, в его структуре должны сочетаться по возможности большее число растений: зерновые, травы (эфироносы, лекарственные – лучше аборигены), а также небольшое количество сорняков (например, относительно низкорослого варианта). Иными словами, при создании посевов необходимо заботиться не только о потребности человека, но и о трофических и топических интересах обитающих в этой зоне насекомых и других живых организмов. Желательным атрибутом антропогенных ландшафтов в связи с этим являются вкрапления кустарников и деревьев (лучше лесные полосы), привлекающих птиц, защищающих посевы от ветра, сдерживающих высыхивание почвы и т. д. (Belyuchenko, 1983).

Одним из условий совместных посевов является учет экологических интересов каждой культуры, а потому необходимо внимательно относиться к выбору различных компонентов смеси по их форме, размеру, скорости роста и т. д. Для предупреждения корневой конкуренции в совмещенных посевах необходимо размещать растения с мочковатой системой корней, чередуя их с растениями, имеющими стержневую корневую систему. Наиболее разработаны теоретические и практические основы смешанных посевов в травосеянии, на анализе которых мы и остановимся подробнее.

Создание травосмесей. Важнейшим условием в создании травосмесей является правильный подбор видов, характеризующихся экологической совместимостью, поддерживаемый определенной технологией ухода и выращивания травостоев. В состав травосмесей вводятся кормовые растения из разных ботанических семейств (злаки, бобовые, широкое разнотравье), различающиеся своей экологией (отношение к температуре, плодородию почвы, инсоляции), биологией (феноритмотипы, сезонное развитие, формирование урожая, интенсивность побегообразования, специфичность отрастания после отчуждения, продолжительность вегетации в течение года

и т. д.), биохимией (содержание белков, углеводов, клетчатки и микроэлементов), физиологией (тип фиксации CO_2 , соотношение свободной и связанной воды) и хозяйственной ценностью (урожайность кормовой массы, ее поедаемость и переваримость, соотношение в корме листьев и стеблей, затраты на производство кормов и т. д.) (Белюченко, 1990; Белюченко, Кураков, 1990).

Высокой урожайностью характеризуются травосмеси, в структуре которых удачно подобрано сочетание и соотношение видов растений, различающихся развитием по укосам, сезонам и годам вегетации и равномерным размещением по ярусам. Такие различия обеспечивают активный фотосинтез травостоя в целом в течение всей вегетации, что способствует более эффективному использованию солнечной энергии. При подборе видов для травосмесей важнейшим требованием является их высокая продуктивность в определенные периоды года, способность к созданию упругой и устойчивой к механическому воздействию дернины, сдерживающей эрозионные процессы при поливе, способствующей накоплению в почве органических веществ, улучшающей ее водно-физические и химические свойства и не создающие сильной конкуренции для роста и развития других компонентов травостоя (Белюченко, Кураков, 1990; Белюченко и др., 1990).

Основным бобовым компонентом для травосмесей в южных районах является люцерна, которая на поливе вегетирует с апреля по ноябрь. При подборе злакового компонента для летнего роста первостепенное значение приобретают южные виды, способные переносить пониженные температуры зимой, а для осенне-весеннего периода – бореальные виды, устойчивые к летним высоким температурам (Белюченко, 1977; 1987).

В качестве доминант для летнего периода, когда колебания между показателями температуры дня и ночи небольшие, отбираются виды с C_4 -типом фотосинтеза (например, сорго, голубое просо, трава Колумба, паспалум расширенный и др.); для осенне-весеннего периода, когда разрыв между ночными и дневными температурами нередко превышает $10\text{ }^\circ\text{C}$, вводятся растения однолетнего и многолетнего типа с C_3 -типом фиксации CO_2 (овес, тритикале, рожь, ежа сборная, кострец безостый, овсяница тростниковая и др.). При подборе однолетников для осенне-весенней вегетации необходимо учитывать их способность переносить пониженную температуру зимой,

сходство по продолжительности вегетации, их способность размещать листовую массу в разных горизонтах и др. Необходимо учитывать также реакцию растений на уровень грунтовой воды, переувлажнение, засуху и т. д. (Белюченко и др., 1990)

При создании травосмесей весьма важно определить состав видов, их размещение в пространстве, долевое участие каждого вида, сроки и способы посева однолетников, технологию их посева, ухода и использования травостоев. С нашей точки зрения, на юге СНГ травосмеси следует составлять из 5–7 разных по своей экологии и биологии видов, из которых 30 % будет приходиться на однолетники. При таком наборе в формировании основного урожая каждого укоса участвуют 2–3 вида. При формировании травосмесей необходимо учитывать также возможное направление взаимодействия между отдельными видами растений с целью подбора таких компонентов, которые наилучшим образом дополняли бы друг друга по своим биологическим, экологическим и биохимическим характеристикам и взаимоотношения которых не носили антагонистический характер (Белюченко, 1976; 1977; Белюченко, Каримов, 1988).

В континентальных условиях положительное взаимовлияние различных видов в травосмеси прослеживается по сезонной смене доминирования отдельных компонент, когда одни виды растений получают условия наибольшего благоприятствования в один сезон, а другие – в другой, что проявляется в соответствии с требованиями отдельных растений к условиям существования определенного сезона в их способности к сезонному накоплению урожая. Положительное воздействие растений в травосмеси определяется пространственным размещением корней на разной глубине, а листьев на разной высоте и качественным разнообразием «интересов» отдельных видов (различия в потребности питательных веществ, поглощение прямой и рассеянной радиации и т. д.).

Цельность травосмеси, ее продуктивность и другие свойства определяются различиями или близостью кривых сезонного и годичного развития и пространственного размещения отдельных органов, а также неспособностью одних видов угнетать другие через корневые выделения. Сезонность развития отдельных видов растений обусловлена весьма выраженной у них реакцией на свет, температуру и увлажнение. Для травосмесей подбираются виды с разной степенью их реакции на указанные факторы. Погодичные различия

в развитии обусловлены жизненным долголетием отдельных видов, а отсюда и различающимися по времени скоростью и мощностью роста, накоплением урожая и т. д. Различия растений в охвате пространства (аэро- и эдафотоп) проявляются в размещении отдельных видов растений и их побегов в разных ярусах травостоя. Например, побеги люцерны размещаются ниже основной массы побегов злаков, а корни люцерны, наоборот, проникают значительно глубже корней злаков (Белюченко, 1977; Belyuchenko, 1977; 1980; 1981; 1983; 1985).

Травосмеси формируют плотный травостой по сравнению с одновидовыми посевами, что обеспечивает им лучшее использование прямой и рассеянной радиации, повышает КПД ФАР, обуславливает более высокий урожай при одинаковых жизненных условиях по сравнению с одновидовыми посевами. Различия в размещении корней отдельных видов по разным слоям почвы обеспечивают травосмесям более полное освоение эдафотоп, лучшее снабжение травостоя водой и элементами питания (Белюченко, 1989; 1990; Белюченко, Кураков, 1990; Белюченко и др., 1990; Белюченко, Подаруева, 1990; Белюченко, Каримов, 1990).

Энергетические взаимоотношения в травосмеси определяются способностью одних видов использовать выделяемые другими видами вещества. Чем теснее энергетические взаимоотношения между видами в травосмеси, тем ее функционирование эффективнее. Известно, что отдельные виды или разновозрастные группы одного вида выделяют в почву в разном количестве отдельные вещества (N, P, K и др.), которые могут использоваться корнями других растений. Бактерии и грибы, тяготеющие к одним видам, способны, с одной стороны, использовать выделяемые другими растениями энергию и вещества (углеводы, жиры, белки), а с другой, очищать выделяемые растениями вторичные метаболиты от вредных примесей и делать их безвредными для других организмов (Белюченко, 1990; Белюченко, Кураков, 1990; Белюченко и др., 1990; Белюченко, Каримов, 1994).

Учитывая характер взаимоотношений между растениями и их консортами, можно правильнее подобрать основные компоненты для травосмеси, которая по своей продуктивности будет выше любого отдельно взятого вида в чистом посеве. Например, в условиях Таджикистана двойная травосмесь (голубое просо + люцерна) и в

первый год, а во второй год развития еще более явно формирует урожай, выше чем каждый вид, выращиваемый отдельно (Белюченко, 1990).

Подбираемые для травосмеси виды растений должны различаться по конкурентоспособности во времени и пространстве, определяемой степенью выраженности вегетативной подвижности особей отдельных таксонов, мощностью и пространственным размещением их подземной массы (корней, корневищ), эффективностью работы листового аппарата и его распределением по почвенным слоям, скоростью и продолжительностью роста надземных вегетативных структур, эффективностью использования занимаемого объема агро- и эдафотопы по сезонам года. При составлении травосмесей, включаемых в севооборот, например с хлопчатником, необходимо избегать введения в их состав видов с высокой агрессивностью – корнеотпрысковые, корневищные и корневищно-столонообразующие (Белюченко, Кураков, 1990; Belyuchenko, Slavgorodskaya, 2013).

Высокой конкуренцией в оптимальных условиях жизненной среды выделяются растения, которые отличаются наиболее активным поглощением питательных веществ и прежде всего азота. В условиях дефицита какого-то фактора более конкурентными будут растения, которые менее требовательны к этому фактору. Например, при резком дефиците влаги в летний период в богарных условиях Таджикистана многолетний злак *Sorghum almum* погибает, а такие виды, как *Panicum antidotale*, *Aristida spp.*, *Bothriochloa spp.* и другие, теряют надземные структуры, но сохраняют подземные (корневища, зону кущения и т. д.) и с наступлением дождливой весны отрастают и развиваются по многолетнему циклу (Белюченко, 1987; 2000).

В районе Явана (Таджикистан) нами испытывались различные виды травосмесей, убираемых в фазы выметывания – начала цветения. Хорошие результаты показала травосмесь голубого проса, люцерны и овсяницы тростниковой (постоянных компонентов) с добавлением мешанки в составе ржи (овса) и перко. Урожайность в среднем за три года составила 14 т/га сухого вещества, 1200–1250 кг/га протеина и 4,0–4,5 т/га кормовых единиц. Введение в мешанку однолетнего бобового компонента пелюшки способствовало значительному обогащению белком первого урожая – с 7,0–7,2 до 8,3–9,4 % на сухое вещество при повышении урожая с 12,0 до 15,2 т/га зеленой массы. Такое повышение урожая и выхода протеина злакового травос-

стоя возможно только при внесении азотных удобрений в дозе до 40–50 кг/га по действующему веществу. Продуктивные травосмеси достигаются введением в их состав клевера ползучего, способствующего значительному усилению азотфиксации и последующему повышению урожайности травостоев.

Нет сомнения, что состав злаково-бобовых травостоев в южных районах СНГ не будут ограничены видами, упомянутыми выше. На наш взгляд, заслуживают внимания для усложнения мешанок в отдельных районах пелюшка и вика туркестанская, шабдар и берзинь; для многолетних осенне-весеннего развития – житняк, мягкоколосник, мятлик луковичный, а для летней вегетации необходимо продолжить поиски многолетних и однолетних видов, характеризующихся высокой урожайностью и питательной ценностью. Работы по подбору компонентов для травосмесей необходимо вести с учетом их ритмотипа, характера использования и условий вегетации.

Одним из важных вопросов травосеяния в южных районах является расширение набора кормовых культур, которые можно использовать при организации травосмесей в определенных природно-климатических условиях. Растения должны отличаться долголетней продуктивностью, высокой конкурентоспособностью, устойчивостью к вредителям и болезням, к сорнякам, относительной равномерностью отрастания в течение вегетационного сезона, эффективным использованием основных факторов роста – питательных веществ, влаги, температуры, света, кислорода, углекислого газа.

Среди бобовых культур лучшей является люцерна, отличающаяся высокой конкурентоспособностью, засухоустойчивостью, многоукосностью, широкой лабильностью к температурам и увлажнению. Ее можно высевать весной и осенью, в рядки, ширококорядно и сплошным способом. Среди злаковых видов нет равных люцерне по конкурентоспособности. Для летней вегетации в смеси с люцерной можно рекомендовать траву Колумба, голубое просо, паспалум расширенный, а в осенне-весенний сезон – овсяницу тростниковую. Их совместные посевы позволят создавать зеленый конвейер с конца марта – начала апреля до ноября (Белюченко, 1987; 2000). В летний период основная нагрузка ложится на злаки летнего развития. Их основной сдерживающий фактор – медленное развитие растений в первые два месяца после посева и их слабая конкурентоспособность вплоть до формирования первого укоса.

Основная часть площадей травосмесей должна будет размещаться в севообороте риса и пшеницы, а потому продолжительность их вегетации не будет превышать 2–3 лет. Поэтому в травосмесь необходимо подбирать растения с мощным потенциалом роста в первые годы вегетации. Без биологически обоснованного использования люцерны в травосмесях ее роль в травостоях не будет оптимальной: она будет подавлять злаки, или наоборот. Во Франции и Италии почти половина таких площадей занята под злаково-люцерновыми травосмесями. Средний урожай люцерны в США составляет 5–7 т/га сухой массы.

Максимальная продуктивность травосмеси обуславливается оптимальным соотношением в ней отдельных компонентов, особенно злаков и бобовых. В условиях юга СНГ первые два года люцерна выступает как весьма мощный конкурент в травосмеси, заметно подавляющий развитие маломощных в год посева особой многолетних злаков. Поэтому при создании травосмесей следует уделять большое внимание выбору способа размещения отдельных ее компонентов в пространстве и времени. Хорошо известны примеры создания травосмесей в средней полосе простым перемешиванием семян злаков и бобовых и их совместным высевом. Предложены способы создания травосмесей путем размещения отдельных компонентов в обособленные полосы или рядки.

Весьма положительно зарекомендовал себя ленточный способ посева с размещением двух рядков люцерны в междуурядья (30 см) костреца безостого. Широкорядные ленточные посева злаково-бобовых травосмесей обеспечивают стабилизацию соотношения отдельных компонентов через пространственное разъединение и обеспечивают более эффективную работу бобовых по фиксации азота и его использование злаками. Полосные и мозаичные злаково-бобовые травосмеси сводят к минимуму воздействие на рост злаков бобовых растений через обогащение ими почвы органическим азотом (Белюченко, Кураков, 1990; Белюченко, Подаруева, 1990).

Важным звеном в создании травосмесей является правильное сочетание в их сообществах бобовых с оптимизацией обеспечения фиксируемым ими азотом злаковых компонентов. В опытах в США (Техас) с использованием N¹⁵ было установлено, что при небольших дозах азотных удобрений от бобового компонента (*Macroptilium atropurpureum*) переходит к злаку (*Panicum coloratum*) 14 % азота, а

при высоких – всего лишь 5 % общего азота, накапливающегося в биомассе злака. Бобовые компоненты способствуют повышению содержания протеина и снижению количества клетчатки в кормовой массе общего урожая. Так, в опытах в Индии в чистых посевах злаков в их кормовой массе содержание протеина составляло 8,1 % при доле клетчатки 32,2 %, а при подсеве *Centrosema pubescens* в междурядья злаков содержание протеина в корме повысилось до 9,3 %, а клетчатки понизилось до 30,5 %. В наших опытах в Яване (Таджикистан) содержание клетчатки в надземной массе общего урожая составило 28,4 % и протеина 7,8 %, а при выращивании в смеси с люцерной масса протеина в корме повысилось до 8,9 %, а клетчатки снизилось до 25,9 % (Белюченко, Каримов, 1990).

В условиях Таджикистана нами испытано несколько способов создания травосмесей: традиционный (посев смеси семян злака и бобового в одном рядке); посев злака широкорядным способом весной и подсев бобового компонента осенью; посев компонентов чередующимися рядками и в разные сезоны года и т. д. Лучшие результаты по первым оценкам были получены при следующей компоновке травосмеси: голубое просо (злак) и люцерна высеваются отдельными строчками весной, а осенью через 120 см отдельной строчкой высевается бореальный злак (овсяница тростниковая, ежа сборная, пырей бескорневищный, райграс пастбищный) и отдельной полосой высевает однолетнюю травосмесь («мешанка» в составе двух–четырёх компонентов).

Положительные стороны предлагаемой травосмеси проявляются в следующем: 1) пространственная разобщенность делит сферы занимаемого и используемого отдельными видами пространства, что на первых порах резко снижает конкуренцию между ними за условия питания и свет и обеспечивает наиболее мощное развитие всех видов особей; 2) строчное размещение культур позволяет проводить их подкормку соответствующими удобрениями, что дает возможность экономнее расходовать удобрения, а значит, и меньше загрязнять ими грунтовые воды; 3) строчное размещение компонентов, различающихся выраженностью сезонного развития, обеспечивает поочередный переход к интенсивному накоплению биомассы не только отдельных видов растений, но и отдельных участков травосмеси, что указывает на необходимость оптимизировать своевременное их обеспечение водой и питательными веществами; 4) при

таким способом создания травосмеси производится практически полное залужение всей площади (особенно в осенне-весенний сезон), что повышает устойчивость травостоев к сорнякам; 5) пространственная разобщенность особей отдельных видов способствует ограничению инвазии их болезней и вредителей и т. д. (например, в таких травосмесях ограничиваются очаги повилики на люцерне по сравнению с се чистыми посевами); 6) пространственное обособление отдельных компонентов травосмеси, способствующее более полному проявлению ими потенциальных возможностей, обеспечивает получение максимального урожая надземной и подземной массы, лучшую балансировку в кормах органических и минеральных веществ, а также улучшение физических и химических свойств почвы; 7) такой способ создания травосмеси является наиболее оправданным в плане организации оптимизированной инфраструктуры травостоев, приближающихся по своим параметрам (сезонному развитию и соотношению компонентов) к условно естественному травостою, в котором пространственное и технологическое (орошение, удобрение) разграничение экологических ниш снижает конкуренцию между видами, поддерживает их стабильность и высокую продуктивность в наиболее благоприятные для отдельных компонентов сроки (Белюченко, Каримов, 1994).

Взаимоотношения между живыми организмами в сообществе. Известно, что совместные посевы изменяют ряд параметров окружающей среды, что в свою очередь ведет к изменению качественного и количественного состава организмов, приуроченных к определенным местообитаниям. Многие исследователи указывают на существование взаимосвязей между способом посева отдельных культур, агротехникой и составом живого населения в верхнем слое почвы. Выявление таких взаимосвязей важно не только с точки зрения повышения видового разнообразия в агроценозах, но также и продуктивности их посевов и качества урожая (Белюченко, Кураков, 1990).

Известно, что микроорганизмам принадлежит значительная роль в формировании уровня почвенного плодородия. Они обуславливают интенсивность и направленность процессов разложения растительных остатков, синтеза и деструкции гумуса, способствуют формированию фитосанитарного состояния почв, накоплению в ней биологически активных веществ и фиксации атмосферного азота, что в конечном итоге определяет уровень урожайности всего сообще-

щества. В зависимости от вида культуры и способа обработки почвы микробный азот составляет 150–200 кг/га, или до 10 % общего азота почвы. Растения используют от 10 до 30 % азота почвенных микроорганизмов (Белюченко, 2014).

Между типом почвы и составом ее микробонаселения существует определенная зависимость, обусловленная географическими и экологическими факторами. Многолетние исследования на базе ВНИИМКа (Краснодар) и СКНИПТИАПа (Краснодарский край) свидетельствуют о том, что микробоценоз пахотного слоя выщелоченного чернозема на 90 % и более составляют бактерии. Доля актиномицетов составляет 2–5 %, микромицетов 0,1–0,3 % от общего количества определяемых микроорганизмов. Бактерии представлены в основном неспорозными формами, среди которых преобладают представители рода *Pseudomonas*. Численность спорообразующих бактерий часто на 1-2 порядка ниже. Доминирующими видами среди бацилл являются *Bacillus megaterium* и *B. mesentericus*, гораздо реже встречаются *B. idosus* и *B. mycooides* (Белюченко, Кураков, 1990).

Таксономический состав актиномицетов и микроскопических грибов в выщелоченном черноземе достаточно однообразен. Среди актиномицетов наиболее широко распространены *Actinomyces albidus*, *A. griseus* и *A. violaceus*. Колонии с розовым и коричневым пигментами встречаются лишь изредка. Отмечается наличие антагонизма между представителями рода *Actinomyces* и *Bacillus megaterium* var. *phosphaticum*. В составе микофлоры доминируют представители родов *Penicillium*, *Aspergillus*, *Trichoderma*, много аспорозных форм. *Alternaria* и *Cladosporium* встречаются реже. При насыщении почвы минеральными удобрениями увеличивается количество видов *Penicillium* и *Fusarium*.

Что касается физиологических групп микроорганизмов, то в выщелоченных черноземах наиболее многочисленны сообщества микроорганизмов, связанные с трансформацией в почве азота и фосфора, часто не уступающие по количеству автохтонной (гумусо-разлагающей) микрофлоре. Значительно беднее представлены микроорганизмы, разлагающие клетчатку.

Бактерии, минерализующие органический азот, по количеству превышают бактерии, использующие минеральный азот. Значительно меньше денитрифицирующих и особенно нитрифицирующих бактерий (менее нескольких тысяч клеток в 1 г сухой почвы). Вме-

сте с тем нитрификационная способность почвы высокая. Из свободноживущих азотфиксаторов повсеместно встречается *Clostridium pasteurianum*. *Azotobacter* широко распространен, но в местных условиях он размножается как эфемер весной и поэтому частота встречаемости азотобактера в почвах Кубани не может являться показателем их агрономической ценности.

В разложении целлюлозы на Кубани ведущую роль играют грибы и в меньшей степени актиномицеты родов *Actinomyces albidus* и *A. griseus*. Особенно большое количество актиномицетов появляется летом при длительном отсутствии осадков. Целлюлозоразлагающие бактерии редки, и кратковременные вспышки их развития обнаруживаются в почвах с благоприятным водным и азотным режимами. Доминируют при этом бактерии родов *Cytophaga* и *Cellvibrio*.

В процессах минерализации органического фосфора в почвах Кубани принимают участие и бактерии, и актиномицеты, и микроскопические грибы, продуцирующие фосфатазу. Среди этой группы микроорганизмов *Pseudomonas fluorescens* и *Ps. liquefaciense* выделяются способностью образовывать биологически активные вещества (Белюченко, Кураков, 1990).

Наиболее биогенным и полно отражающим специфику микрофлоры является верхний слой почвы 0–20 см. Таким образом, данные почвы обладают высокой относительной численностью бактерий, развивающихся на бедных питательных средах, и микроорганизмов, разрушающих труднодоступные для растений органические фосфаты почвы. Эти почвы обладают значительной нитрификационной и целлюлозоразрушающей способностью, то есть в почве протекают интенсивные мобилизационные процессы.

Сезонные изменения биологии почвы при возделывании поздних яровых культур (с конца весны по начало осени) характеризуются следующими показателями: численность бактерий максимальна в период достаточного увлажнения – весной и осенью, а летом при недостатке влаги в почве их количество уменьшается; численность актиномицетов максимальна при жаркой сухой погоде летом; численность грибов увеличивается при низких температурах и высокой влажности почвы – осенью и в начале весны (Белюченко, Подаруева, 1990).

Известно, что растения через корни выделяют в окружающую среду целый набор различных органических соединений. Продуци-

руемые растениями вещества служат источником питания ризосферным микроорганизмам, благотворно влияющим на растения, стимулируя их фотосинтетические и ростовые процессы. Это происходит благодаря выделению микроорганизмами витаминов и фитогормонов; продуцированию ими антибиотиков, ингибирующих развитие патогенных грибов; переводу минеральных элементов в доступную для растений форму.

Изучение взаимоотношений микроорганизмов с корневой системой высших растений представляет традиционный интерес как с практической, так и с теоретической точек зрения. Специфика условий жизнедеятельности микроорганизмов в ризосфере, механизмы колонизации ризопланы, благоприятные и неблагоприятные последствия этих процессов для растений – все эти вопросы непосредственно связаны с состоянием растений и их урожайностью. Для успешного решения этой проблемы необходимо изучение основных принципов функционирования микробных комплексов прикорневой зоны растений, их специфичности в отличие от почвенных микробсообществ. Для характеристики микробных сообществ, рассматриваемых в масштабе биоценоза, можно применять показатели 2 типов:

1) инвентаризационные валовые усредненные показатели: средняя плотность микроорганизмов в различных субстратах и общий список таксонов (α -разнообразие);

2) дифференцированные показатели, характеризующие пространственную и синтипологическую структуру сообщества: тип распределения по ярусам, спектр потенциальных доминантов, соотношение экологических групп (β -разнообразие).

Первый из указанных методов более консервативен, второй более динамичен и лучше отражает особенности различных микробных сообществ. Микробсообщества ризосферы и ризопланы по ряду параметров отличаются от микробсообщества почвы. Отдельные участки корня обладают собственной спецификой как местообитание микроорганизмов. Гетерогенность корня сказывается главным образом в ризоплане и в меньшей степени в ризосфере, микрофлора которой в основном отслеживает сукцессионные события в окружающей среде.

В литературе сложилось мнение о ризосфере и ризоплане как особо благоприятных местообитаниях микроорганизмов. Однако до сих пор не решен вопрос о специфичности микробного комплекса

прикорневой зоны. Исследования, проведенные в Молдавском НИИПКе, показали, что видовой состав в зоне деятельности корней в первую очередь зависит от вида возделываемой культуры, хотя состав почвенной микрофлоры остается относительно постоянным. Опыты, проведенные на базе МГУ, напротив, свидетельствуют об однотипности таксономической и кинетической структуры комплексов почвы, ризосферы и ризопланы. В ходе опытов не удалось показать, что прикорневая зона является для микромицетов существенно более благоприятной, принципиально иной средой по сравнению с почвой. Если доминирование грибной массы почвы являлось хорошо проверенным фактом, то вопрос о роли грибов в ризосфере, исключая микоризу и фитопатогены, остается дискуссионным. Между тем соотношение грибов и бактерий в прикорневой зоне представляет еще больший интерес, чем тот же показатель в почве (Белюченко, 2015).

Установлено доминирование биомассы грибов над биомассой бактерий и актиномицетов в почве и ризосфере, в ризоплане же масса грибов сопоставима с массой прокариот. При решении задач о полном таксономическом спектре и определении экологических ниш микроорганизмов обращается большое внимание на значимость сукцессионного фактора. Установлено, что динамика бактерий, актиномицетов и грибов в прикуренной зоне не отличается от таковой в почве, в том числе при применении удобрений. Эти же авторы отмечают задержку в развитии растений в удобренных вариантах на начальных этапах вегетации, что вызвано, по их мнению, конкуренцией за азот в ризоплане опытных растений, где азот является остродефицитным ресурсом.

Известно, что при совместном возделывании бобовых и злаковых культур происходит сложное взаимовлияние компонентов смеси, сказывающееся на активности микрофлоры, а также на физиологических и биохимических процессах, протекающих в надземных органах растений. Установлено, что в смешанных посевах сопутствующие культуры могут оказывать стимулирующее или угнетающее действие на развитие ризосферной микрофлоры. Эти процессы во многом зависят от компонентов смеси. Установлено отличие динамики развития ризосферной микрофлоры в смешанных посевах от динамики микрофлоры культур в чистых посевах. Как правило, соя оказывала положительное влияние на микрофлору ризосферы

кукурузы. Наибольшее количество микроорганизмов в ризосфере чистых, а особенно смешанных посевов, отмечается при недостатке влаги в почве, что объясняется тем, что при пониженной влажности почвы увеличивается выделение корнями растений сахаров и аминокислот, которые определяют развитие микроорганизмов в почве корневой зоны, особенно у культур, возделываемых в смеси. При достаточном увлажнении различия в численности ризосферных микроорганизмов в чистых и совместных посевах сглаживаются, но не устраняются (Белюченко, 1990).

Образование клубеньков на корнях бобовых происходит лучше при достаточном количестве влаги в почве. Количество клубеньков на корнях сои при совместном посеве с кукурузой выше при разной влажности почвы, чем на корнях растений чистого посева. При этом в совместных посевах клубеньки формируются более крупные, тургор у них сильнее и содержимое более интенсивно окрашено в розовый цвет. Химический состав клубеньков различных типов посевов различался незначительно.

Видовой состав микрофлоры ризосферы сельскохозяйственных культур, возделываемых в совместных посевах, изучен недостаточно. Основными формами бактерий в ризосфере сои и кукурузы являются неспорозисные (95 %). Отмечено также отсутствие существенных отличий в родовом составе ризосферной микрофлоры чистых и смешанных посевов кукурузы и сои. Преобладающими в прикорневой зоне являются представители родов *Pseudomonas* и *Bacterium*. В видовом составе микроорганизмов ризосферы кукурузы и сои встречаются одни и те же представители. Различия имеются в количественном составе представителей видов и количестве доминантных видов.

Некоторыми исследованиями установлено, что на численность и активную биомассу почвенных микробных сообществ прямо и косвенно влияют почвенные беспозвоночные. Это проявляется через изменение представителями мезофауны некоторых агрофизических (водопроницаемость, аэрация и плотность) и агрохимических характеристик почв. Их средообразующая деятельность включает изменение биологической активности почв, темпов и характера разложения растительных остатков. Общая сумма белковых аминокислот в экскрементах почвенных беспозвоночных в 1,5–2 раза выше, чем в почве.

Активность почвенной мезофауны может стимулировать развитие сапротрофной микрофлоры почвы. В экскрементах диплопод и червей численность штаммов бактерий типа *Pseudomonas* sp. и *Promicromonospora citrea* возрастает до 30 раз по сравнению с кормом. Установлено, что увеличение числа бактерий в экскрементах кивсяков и червей происходит в основном за счет грамотрицательных анаэробных бактерий.

Действие почвенной мезофауны благоприятно сказывается на доступности для растений азота, фосфора и прочих минеральных элементов. Это определяет благотворное воздействие беспозвоночных на рост корней и первичную продукцию в целом. Качественный и количественный состав микрофлоры и мезофауны зависит от способа посева и агротехники сельскохозяйственных культур и находится в динамическом равновесии. Изменение параметров среды влечет за собой изменения в сообществах вышеупомянутых организмов (Белик, 1994).

Таким образом, установлено, что взаимоотношения культур в совместных посевах в нашей стране изучены недостаточно. Большинство исследователей рассматривают агроценоз только как продуцент фитомассы. Такой подход часто исключает рассмотрение совместного посева как фитоценоза со сложными внутри- и межвидовыми отношениями. Между тем именно специфичность межвидовых отношений определяет в значительной степени рост и развитие компонентов совместного посева, его временную и пространственную структуру, ход продукционного процесса, и коренным образом отличает его от чистого посева. В связи с этим мы задались целью изучить некоторые аспекты биотических взаимоотношений в чистых и совместных посевах сои в условиях Кубани. В качестве объекта исследований нами были выбраны посева, включающие растения сои, сорго и амаранта в различных сочетаниях.

Развитие микроорганизмов в черноземе обыкновенном. В верхнем слое чернозема обыкновенного концентрируются органические и минеральные коллоиды, формирующих новые круговороты биогенов, усиливающие ферментативную активность и дыхание живых организмов, способствуя образованию газообразных соединений, увеличению числа экологических ниш и рекультивации почв. Использование сложного компоста представляет собой новое направление в практической экологии, земледелии и почвоведении, осно-

ванное на использовании комплексных смесей различных отходов быта, промышленного и сельскохозяйственного производства для обогащения почв органическими и минеральными дисперсными и коллоидными системами с целью совершенствования их физико-химических и биолого-экологических функций. Формирование сложного компоста обеспечивается обогащением субстрата органическим веществом, комплексным набором минеральных веществ и их смешанным коллоидным составом. Микробные сообщества определяются по уровню трансформации органического вещества и активностью системы жизнеобеспечения и многообразия живых особей. Внесение в верхний слой почвы сложного компоста способствует развитию и расширению экологических ниш. В сложном компосте увеличивается численность актиномицетов, особенно у представителей рода *Streptomyces*, популяции которых накапливаются в верхнем слое почвы в летний период. Наиболее часто в почве после внесения сложного компоста встречались актиномицеты серии *Cinereus*, реже выделялись *Violaceus* и *Aureus*.

Состав сложного компоста зависит от количества ионов Ca^{++} и Mg^{++} , различают два типа его структуры: мелкозернистую, когда минеральные коллоиды разбросаны и не связаны друг с другом, и комковатую – минеральные и органические коллоиды соединены в относительно стойкие агрегаты. Для комковатого компоста характерна хорошая впагоемкость без застоя воды и лучшее обеспечение кислородом по сравнению с мелкозернистым. Водопотребление сложного компоста определяется в основном ионами Ca^{+2} , которые увеличивают прочность агрегатов, сформированных сочетанием органических и минеральных коллоидов, а также снижают токсическое действие подвижных солей тяжелых металлов. Основным источником Ca^{++} в компосте может быть фосфогипс, мел, известковая мука и другие минералы (Белюченко, 2012).

Сложные компосты широко используются в некоторых районах Кубани и изучаются с целью рекультивации их почв. Применение сложных компостов является одним из направлений практической экологии, земледелия и почвоведения. Они создаются как искусственные смеси различных отходов быта, промышленного и сельскохозяйственного производства, а также природных материалов, что обогащает формируемый субстрат органическими и минеральными дисперсными коллоидными системами с целью совершенствования

физико-химических и эколого-биологических функций. Поэтому важным этапом в создании сложного компоста является подбор основных компонентов из отходов (до 8–10 видов и больше). Биологическую основу развития сложного компоста составляют прокариотные микробсообщества, а физико-химическую – обменные реакции органических и минеральных соединений, формирующих его ППК. В настоящем разделе обсуждается в основном формирование и развитие сложного компоста.

В сложном компосте содержится значительный запас органического вещества, расходуемый в значительной мере живыми организмами, и именно благодаря им он достигает определенного уровня минерализации. Органическое вещество обычно концентрируется в верхнем слое сложного компоста, и здесь наиболее широко представлено варьирование видового и популяционного состава микроорганизмов. Органическое вещество активно расходуется, и при задержке с внесением сложного компоста в почву, при этом микроорганизмы переходят на использование рассеянных его скоплений. Если поступление в сложный компост (особенно в первый год его формирования) свежего растительного материала недостаточное, то большинство микроорганизмов переходит в состояние покоя.

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

1. Специфика разложения отходов. Каждый вид отходов (дефекат, свиной навоз, куриный помет и т. д.) имеет свойственное именно ему содержание органических веществ (белков, сахаров, аминокислот, витаминов, ферментов и т. д.) и неорганических со-

единений (аммония, подвижного фосфора и других), уровень pH, а также отличается спецификой этих показателей в зависимости от вида субстрата. Добавление в сложный компост растительных отходов (солома озимой пшеницы, ячменя, стебли кукурузы, подсолнечника, отходы сахарной свеклы и др.) стимулирует в их разложение дополнительное включение других видов микроорганизмов, которые при благоприятных условиях (влаги, температура, питательные вещества) доводят состояние растительных остатков до определенного равновесного уровня (Белюченко, 2013).

По скорости разложения растительные остатки в сложных компостах в осенне-зимне-весенний период располагаются в такой последовательности: отходы сахарной свеклы → озимой пшеницы → кукурузы → подсолнечника → озимого ячменя. Полностью минерализуются остатки сахарной свеклы, и сформированная масса сложного компоста становится однородной. Для других отходов этого типа в опытах визуально отмечается наличие фрагментов неразложившихся стеблей, а в некоторых случаях и полуразложившихся листовых влагалищ, особенно у кукурузы и озимого ячменя. Однако во всех вариантах, в конечном итоге, характерна хорошая агрегированность сформировавшегося сложного компоста с пористой комковатой структурой, сыпучестью и устойчивой влажностью на уровне 15–20 % (Белюченко, 2010).

Миграция микроорганизмов в субстрате существенно затрудняется адсорбцией различными частицами, особенно органическими веществами, а также глиной. Мелкие поры между частицами сложного компоста также затрудняют их перемещение, особенно в начальный период развития смеси. В сложном компосте по мере его формирования развиваются популяции микроорганизмов, осуществляющие аммонификацию, нитрификацию, азотфиксацию, а также трансформирующие органические вещества, разлагающие целлюлозу и другие труднодоступные соединения (Belyuchenko, Melnik, 2014).

Регуляция механизмов устойчивости сложного компоста является очень важной в формировании плодородия почвы – качества, определяющего комплекс мероприятий для повышения ее продуктивности, как важнейшей составляющей любого агроландшафта. Обилие и разнообразие микроорганизмов в сложном компосте обеспечивает многообразие химических реакций между органическими и минеральными отходами и превращает их в верхнем слое в единую био-

геохимическую систему. Микроорганизмы сложного компоста являются основным источником формирования в нем главных парниковых газов: двуокиси углерода, окислов азота и других соединений. Использование сложного компоста для улучшения верхнего слоя почвы способствует его долговременному (до 5–6 лет и больше) обогащению органическими, минеральными, в том числе азотно-фосфорными соединениями. Благодаря содержанию большого количества органических веществ сложный компост существенно превосходит по набору видов и обилию отдельных популяций микробиоценоза окружающие почвенные частицы. Внесение сложного компоста в почву активно пополняет ее верхний слой микроорганизмами, что усиливает обмен энергией и различными веществами между составляющими агроландшафта (Belyuchenko, Slavgorodskaya, 2013).

Наибольшее значение в круговороте отдельных элементов и веществ в субстрате сложного компоста, как и в почве, имеют популяции микроорганизмов с высокой активностью. При изучении в сложном компосте круговорота отдельных элементов и потоков веществ были выделены актиномицеты, чья активность связывается с синтезом и распадом гумусовых веществ и частично с их азотным балансом, с трансформацией различных соединений, особенно трудноразлагаемых органических (Белюченко, Мокрецов, 1991). Численность актиномицетов в сложном компосте варьирует довольно широко и зависит от соотношения и разнообразия различных отходов (таблица 20).

Таблица 20 – Доля распространенных актиномицетов в сложном компосте, % (среднее за 2011–2014 гг.)

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

В сложных компостах, где значительная доля приходится на отходы однолетних злаков, включая полову, численность актиномицетов по подсчетам основных родовых комплексов в опытах была

средней. При значительном количестве свиного навоза общая доля актиномицетов составила около 95 % с заметным обилием представителей рода *Streptomyces*. В сложном компосте с органической массой в виде полуперепревшего навоза КРС доля родовых комплексов актиномицетов была сравнимой с другими видами микроорганизмов (Белюченко и др., 2006).

Повышенная численность актиномицетов, прежде всего рода *Streptomyces*, характерна для сложного компоста по сравнению с другими вариантами опыта; особенно активно развиваются актиномицеты в летний период. Актиномицетам принадлежит важная роль в круговороте минеральных элементов в трофической цепи в качестве микробов-редуцентов (таблица 21). Было установлено, что на голодном агаре численность и видовое разнообразие актиномицетов, выделенных из крахмально-аммиачного агара, были значительно выше контроля. В исследуемых образцах всегда выделялись представители родов *Streptomyces*, *Nocardia*, *Nocardiosis*, *Micromonospora*, относительно редко встречались представители рода *Streptosporangium* (Донец, Белюченко, 2000).

Анализ таксономического разнообразия микроорганизмов в верхнем слое сложного компоста установил наличие представителей родов *Streptomyces*, *Micromonospora*, *Nocardia* и др. Наиболее многочисленным в исследуемой смеси верхнего слоя сложного компоста оказался род *Streptomyces*, виды которого осуществляют процесс разложения сложных органических веществ и отличаются достаточно широким спектром. Полученные данные показали, что наиболее часто выделялись актиномицеты секции *Cinereus*, реже встречались представители серий *Chromogenes*, *Violaceus*, *Aureus* (Белюченко, Подаруева, 1992; Волошина, 2006).

Таблица 21 – Численность микроорганизмов на крахмально-аммиачном и голодном агаре (2011 г.)

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

Исходя из анализа данных, можно заключить, что вовсе не обязательно определять в сложном компосте все виды актиномицетов. Достаточно в нем установить наличие доминирующих видов, определяющих протекание конкретных процессов. Часто принимается условный критерий численности живых организмов (так, на 1 г сложного компоста приходится около 1 млн бактериальных клеток). Для грибов и актиномицетов взяты другие экологические критерии учета их численности, а также особенностей метаболизма. Обычно их численность составляет порядка 10 тыс. клеток на 1 г почвенного субстрата с внесенным сложным компостом (Белюченко, Мокрецов, 1991).

В дальнейших исследованиях нуждаются важные для развития микроорганизмов биологически активные вещества (аминокислоты, антибиотики, стимуляторы и ингибиторы роста, витамины, токсины и т. д.). Изучение функциональной роли микроорганизмов в формировании сложных компостов имеет практическое и теоретическое значение, но количество имеющихся данных еще недостаточное. Сдерживание минерализации органического вещества и трансформации минерального азота, а также другие проблемы при формировании сложного компоста возникают именно по мере превращения сложных соединений, формирующихся при объединении многих отходов в общий субстрат. Прохождение основных процессов трансформации невозможно без активности различных групп микроорганизмов, и в первую очередь к таким процессам относится переработка ряда отходов и их превращение в источник энергии для других организмов, а также их дальнейшее преобразование (Белюченко, 1991).

Сложный компост по своей структуре представляет собой трехфазную систему, способную к созданию среды обитания для различных групп организмов: бактерий, грибов, актиномицетов, микро- и мезофауны и других таксонов. Субстрат сложного компоста аналогичен высокопродуктивной почве, но отличается от нее некоторыми улучшенными условиями для жизни отдельных популяций живых организмов, образующих микросообщества из различных таксонов. Развитие таких колоний микроорганизмов в разных типах сложных компостов имеет важное значение, поскольку активирование их развития во времени и в пространстве, благодаря повышенной концентрации органического вещества и широкого спектра таких соединений, как аминокислоты, белки, крахмал, липиды,

нуклеиновые кислоты, ферменты, антибиотики, витамины, целлюлоза, лигнин, хитин, а также направленность таких важных процессов, как аммонификация, азотфиксация, гидролиз органофосфатов, трансформация многих органических и минеральных веществ, находятся в тесной взаимосвязи (Белюченко и др., 2006).

Верхний слой сложного компоста характеризуется значительным разнообразием физических, химических и биологических свойств и потому способствует сосуществованию различных по функциям популяций живых организмов, которые находят десятки новых экологических ниш с различным химизмом, физическим составом, содержанием питательных веществ и реакцией среды. Многие виды живых организмов сложного компоста – бактерии, грибы, одноклеточные водоросли и актиномицеты – находят здесь подходящие экологические ниши для своего функционирования и размножения. В сложных компостах встречаются также и временные виды микроорганизмов, особенно фитопатогены ризо- и филлопланы, которые способны легко осваивать растительные остатки большинства растительных организмов (Белюченко, Волошина, 2007; Белюченко, 2013).

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

Микроорганизмы по мере «созревания» сложного компоста по своему функциональному значению классифицируются на азотфиксаторов, нитрификаторов, денитрификаторов, аммонификаторов, различают также целлюлозолитические, пектинолитические и другие эколого-трофические группы. Нитрификация осуществляется группой хемолитотрофных бактерий, а гетеротрофная нитрифика-

ция – рядом гетеротрофных бактерий и грибов. Гидролиз трудно-растворимых фосфатов в фосфогипсе сложного компоста, окисление в его составе железа и марганца и их восстановление также осуществляются функционально разными микроорганизмами.

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

Для оценки микробиологических процессов в сложном компосте в целом достаточно выделить в микробоценозах доминирующие виды – индикаторы конкретных процессов. В равнинных ландшафтах важную роль играют лесные системы, оказывающие существенное влияние на соотношение различных экологических групп микроорганизмов (Белюченко, 2009).

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

2. *Эколого-трофические группы микроорганизмов.* Микробиологический анализ проб субстрата сложного компоста до внесения в почву показал, что при его внесении доминирует прокариотный

комплекс организмов, который значительно превышает численность микроскопических грибов (Кураков, Белюченко, 1990; 1994). Общая численность бактерий в почвах после внесения сложного компоста при выращивании сельхозкультур варьирует в широких пределах – от 4 до 73 млн клеток, при преобладании аммонифицирующих микроорганизмов (таблица 22).

Таблица 22 – Изменение численности эколого-трофических групп микроорганизмов в год внесения в почву сложного компоста (2010–2012 гг.)

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

В первый год при внесении в почву сложного компоста, как показали результаты полевых исследований, на полях с сельскохозяйственными культурами наблюдается увеличение популяций микробного сообщества. Микроорганизмы очень быстро реагируют на изменения условий окружающей среды. Так, увеличение показателя рН в среднем до 7,0 (снижение кислотности) и улучшение аэрации способствуют активизации развития бактерий и грибов и приводят к увеличению их видовой и популяционной численности. Установлено, что включение в сложный компост фосфогипса из расчета 7 т/га снижается количество и титр нитрифицирующих микроорганизмов, которые отличаются особенно высокой численностью в почвах под пшеницей (Кураков, Белюченко, 1990).

Наибольшей активностью отличаются микроорганизмы в вариантах опыта со сложным компостом, в сравнении с внесением азота и фосфора доля аммонифицирующих микроорганизмов доходит в среднем до 73*10⁻⁶ КОЕ/г. Достаточно высокий уровень аммонификаторов отмечен также в варианте с полуперепревшим навозом КРС –

до $58 \cdot 10^{-6}$ КОЕ/г. В варианте с внесением только азота и фосфора концентрация микроорганизмов снизилась на 2/3 по сравнению со сложным компостом, существенно снизившим уровень pH до 7,0, а в почве на контроле этот показатель остался в среднем на уровне pH 8,6. Второе место по численности принадлежит популяциям амилотических бактерий. Из остальных групп выделяются нитрифицирующие бактерии, доля которых существенно меньше других эколого-трофических сообществ, а микромицеты в этом варианте слегка превзошли другие группы микроорганизмов.

Живые организмы сложного компоста при внесении его в почву свободно мигрируют по разным направлениям, подбирая наиболее подходящие каналы своего перемещения. Наличие легкоразлагающихся органических веществ в сложном компосте приводит к быстрому увеличению популяций микроорганизмов при их значительном экологическом разнообразии. Сформированный сложный компост выделяется широким видовым варьированием организмов, в первую очередь бактерий и грибов, которые способны продуцировать различные биологически активные вещества, активизирующие разложение многих органических соединений и других веществ (Кураков, Белюченко, 1990; 1994; Волошина, Гукалов, 2009).

При подготовке сложных компостов в буртах соломы дублируются процессы развития микроорганизмов верхнего слоя почвы, и это является благоприятным условием для расширения экологических ниш и увеличения разнообразия популяций живых организмов. В условиях достаточного количества питательных веществ количество клеток живых организмов в сложном компосте достигает значительной величины, но видовой набор обычно снижается; при развитии в менее благоприятных условиях численность клеток микроорганизмов уменьшается, но их видовой состав весьма значителен, и при изменении условий среды они заметно активизируют процессы минерализации органического вещества (Донец и др., 2000; Донец, Белюченко, 2008).

При смешивании и в начале формирования сложного компоста в нем преобладают доступные органические вещества, редукция которых протекает быстро, после чего значительная часть живых организмов переходит в состояние покоя и существует в виде спор или других неактивных форм. Образование комплекса органических и минеральных веществ, как основы сложного компоста, сдерживается

активным развитием микроорганизмов, не способных разлагать свежие растительные отходы. На различных стадиях созревания сложного компоста в нем формируется довольно много легкодоступных органических веществ – сахара, органические кислоты и другие соединения, которые поддерживают жизнедеятельность большой массы живых организмов в течение всего периода формирования компоста (Кураков, Белюченко, 1990; Назарько, Белюченко, 2000).

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

Активное взаимодействие органических и минеральных коллоидов в составе сложного компоста проявляется в наибольшей степени при их смешивании в условиях хорошего увлажнения (60–75 %) и достаточно высокой температуры (27–32 °С); при низких показателях указанных факторов ферментативная активность сложного компоста в почве резко снижается. Частичная разобшенность субстратов сложного компоста очень важна при развитии процессов превращения минеральных веществ, если они содержат соединения кремния, алюминия, железа, кобальта, меди, марганца и ряда других элементов. Для равномерного распределения органических и минеральных соединений, а также образования его поглощающего комплекса обязательным условием является перемешивание всех составных частей при достаточном обеспечении водой – от 40 до 55 % и нейтральной среде – от 7,2 до 7,8 (Кураков, Белюченко, 1990; Belyuchenko, 2014)

3. Сложный компост и его биологическая эффективность при заделке в почву. В развитии сложного компоста основную роль играет прокариотный комплекс, численность которого существенно превышает другие экологические группы микробных сообществ (таблица 23).

Таблица 23 – Численность микроорганизмов некоторых эколого-трофических групп через год после внесения сложного компоста (2014 г.)

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

Через год после внесения в почву сложного компоста, как и перед его внесением, преобладают аммонифицирующие и амилолитические группы организмов – число клеток доходит до 305 млн на 1 г верхнего слоя почвы, смешанной со сложным компостом. На олиготрофные микроорганизмы приходится до 50 % общей численности микробного сообщества: *Penicillium* (до 40 %), *Trichoderma* (до 20 %), *Aspergillus* (до 10 %) и *Fusarium* (до 10 %). Высокий уровень развития почвенных сообществ олиготрофных микроорганизмов в летний период объясняется тем, что эта группа способна хорошо развиваться при относительно низкой влажности и высокой температуре; осенью их численность уменьшается, что связано с повышением влажности и снижением температуры в почве; зимой, очевидно, это связано с низкой температурой.

Очень важная группа организмов в сложном компосте – это плесневые и дрожжевые грибы, занимающие значительное место среди других таксонов по численности и биомассе. Наибольшая встречаемость грибов этих таксонов отмечается тогда, когда на стадии минерализации находится много грубых органических остатков, поскольку именно эта группа организмов активно выделяет разнообразные гидролитические ферменты для их минерализации. Грибы также активно участвуют в превращениях многих соединений азота и способствуют улучшению состава субстрата через агрегирование его частиц (Белюченко, 1991; Belyuchenko, 2014; Belyuchenko et al., 2014).

При внесении сложного компоста в верхний слой почвы наиболее широкое распространение получили представители родов *Penicillium*, *Trichoderma*, *Aspergillus*, *Fusarium*, *Rhizopus*, *Cladosporium*, *Alternaria*.

Среди дрожжевых грибов обычны виды родов *Lipomyces* (до 32 %) и *Candida* (до 27 %). Эти таксоны редуцентов относятся к бактериально-дрожжевому комплексу азотфиксирующих микроорганизмов. При внесении в почву сложного компоста наблюдается также общее увеличение численности микроскопических грибов. В почвах под различными сельскохозяйственными культурами наиболее часто встречаются микромицеты родов *Peniculium* (до 40 %) и *Aspergillus* (до 15 %). Следует отметить, что на полях озимой пшеницы в варианте со сложным компостом грибы рода *Fusarium* встречаются весьма редко (Белюченко и др., 2006; Белюченко, Волошина, 2007).

Живые организмы, будучи внесенными в верхний слой почвы со сложным компостом, осуществляют и достаточно сложные биохимические процессы распада трудноразлагаемых органических веществ (кочерыжки кукурузы, ее корни, стебли, однолетние побеги кустарников и т. д.) за счет взаимодействия различных по экологическим функциям группировок микроорганизмов: молочнокислые, фотосинтезирующие и азотфиксирующие, а также ферментирующие бактерии, грибы, дрожжи, почвенные актиномицеты, одноклеточные водоросли, сообщества микро- и мезофауны почвы. Практически все экологические группы микроорганизмов в различных соотношениях обитают в органических отходах; относительно мало их в грубых растительных остатках (например, солома ячменя), но повышена концентрация во всех видах навоза, осадках сточных вод и в других многокомпонентных органических субстратах. В сложном компосте азотфиксация осуществляется разнообразными прокариотными микроорганизмами: автотрофными и гетеротрофными бактериями, клубеньковыми бактериями, в частности азотобактером, кластридиумом, различными фотосинтезирующими бактериями и другими экологическими группами живых организмов (Белюченко, Назарько, 2000; Белюченко и др., 2006; Belyuchenko et al., 2014).

Микроорганизмы сложного компоста и почвы по своей функциональной роли разделяются на азотфиксаторы, нитрификаторы, денитрификаторы, аммонификаторы, целлюлозолитические, пектинолитические и другие эколого-трофические группы. Нитрификация осуществляется группой хемолитотрофных бактерий, а также рядом гетеротрофных бактерий и грибов. Гидролиз труднорастворимых фосфатов фосфогипса и других соединений в сложном компосте и в смеси с верхним слоем почвы выполняется разными экологически-

ми группами микроорганизмов, которые осуществляют также окисление и восстановление железа и марганца (Белюченко, Подаруева, 1992; Белюченко и др., 2006; Белюченко, 2012).

К группе основных азотфиксаторов относится *Azotobacter*, среди денитрификаторов выделяется *Pseudomonas denitrificans* и ряд других видов. Аналогичные процессы свойственны и другим микроорганизмам с учетом условий среды их обитания. При отсутствии связанного азота в сложном компосте микроорганизмы осуществляют азотфиксацию из органических веществ, в которых при недостатке кислорода и наличии связанного азота усиливается процесс денитрификации (Белюченко, Мокрецов, 1991; Белюченко, 1992; Белюченко, Пономарева, 2005).

В удобренном сложном компостом верхнем слое почвы для своего роста бактерии используют белки и выступают в роли аммонификаторов; в других случаях они могут выступать в качестве нитрификаторов и денитрификаторов, что указывает на полифункциональность многих эколого-трофических групп микроорганизмов; такая же особенность свойственна и грибам, и актиномицетам. Поэтому многие процессы разложения органических углеродов дублируются разнотипными микроорганизмами при объединении сложного компоста с верхним слоем почвы, что ускоряет минерализацию доступных соединений. При усилении кислотности среды сложного компоста ускоряется процесс разложения в почве пестицидов, фенолов и других поллютантов, оказывающих влияние на протекание биохимических процессов в формирующейся смеси. Различные экологические группы микроорганизмов-дублеров занимают сходные экологические ниши в пространстве и времени в аэробных и анаэробных условиях, при высокой и низкой температурах (Белюченко, 2012; Belyuchenko, 2014).

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

восстанавливаются также другие химические элементы с переменной валентностью – марганец, железо, сера и т. д.

В верхнем слое почвы со сложным компостом эти процессы совершаются в основном специальными экологическими группами живых организмов, но также и случайными, что выполняет роль стабилизирующего фактора в течение весьма короткого промежутка времени: при формировании новых условий развития (за 5–6 месяцев) образуются новые экологические ниши, возникают новые соединения органического и органоминерального комплексов (Волошина, Гукалов, 2009; Белюченко, 2013).

В начале формирования субстрата из почвы и сложного компоста могут выделяться участки с концентрацией некоторых элементов (органических веществ, азота, фосфора, кальция, серы и др.), включая различные комплексы соединений. Использование отходов типа осадков сточных вод, куриного помета, свиного навоза, фосфогипса и некоторых других веществ за счет расширения экологических ниш будет способствовать увеличению как численности популяций отдельных организмов, так и их видовой разнообразия (Белюченко, 1991; 1992; Белюченко и др., 2007).

Комплекс живых организмов в системе верхнего слоя почвы и сложного компоста в зависимости от природно-хозяйственных условий очень разнообразен. Встречаются, в частности, весьма активные группы живых организмов-азотфиксаторов: клубеньковые бактерии, азотобактер, некоторые актиномицеты, определение которых осуществляется из расчета минимум сотен тысяч клеток на 1 г образующейся смеси почва + сложный компост. Для идентификации микроорганизмов не всегда можно отбирать и анализировать пробы субстрата, особенно на начальных стадиях формирования сложной смеси. Оценка наличия в сложном компосте тех или иных экологических групп микроорганизмов, учитывая сезонные колебания погоды, адсорбцию почвенных частиц, сукцессионные колебания их состава и обилия, достаточно сложна и требует периодического отбора и повторов значительного количества образцов, проращивания их на различных средах, более тщательного исследования на разных типах субстратов (Белюченко, Мокрецов, 1991; Белюченко, Антоненко, 2015).

Смесь почвы со сложным компостом отличается широким разбросом физических, химических и биологических особенностей, поэтому количество любых живых организмов, свойственных дан-

ной географической или физической территории, в расчете на 1 г комбинированного субстрата будет различным. Внесение сложного компоста одновременно обогащает верхний слой почвы различными видами живых организмов, которые занимают свободные экологические ниши, и именно в связи с этим меняется интенсивность минерализации. Таким образом, сложный компост создает определенную емкость органических веществ, представляющих среду обитания для конкретных групп живых организмов (Белюченко, Мокрецов, 1991).

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

Живые организмы в верхнем слое почвы при внесении сложного компоста осваивают каждую частицу органического вещества, и их размеры и формы позволяют адаптироваться к самым разным условиям среды. Отличаясь высокой скоростью размножения и различными сроками перехода к покою при неблагоприятных условиях, живые организмы способны быстро осваивать органические вещества, составляя отдельные микроколонии из клеток разных видов, которые могут развиваться относительно изолированно во многих природных условиях (Белюченко, 2012).

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

ГЛАВА 5. СМЕШАННЫЕ ПОСЕВЫ РАСТЕНИЙ И ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОЧВ АГРОЛАНДШАФТА

Аграрный ландшафт при внедрении смешанных сортовых и межвидовых посевов устойчиво повышает урожаи при погодных колебаниях факторов среды (температура, осадки, эрозия почв и др.). Весьма эффективная система сеяных лугов при использовании ряда видов трав испытана во многих регионах страны (Подмосковье, Ставрополь, Ростов). Агроландшафт, основными структурами которого можно назвать посевы продовольственных культур, лесные полосы и почвенный покров, на большей части которого естественная растительность заменена посевами и посадками сельскохозяйственных растений, долго существовать без вмешательства человек не может, поскольку не обладает саморегуляцией, не выделяется высокой продуктивностью (Белюченко, 2015).

Основу агроландшафта составляет почвенный покров, содержание которого берет на себя человек в связи с получением максимальной продуктивности через поддержание законченных циклов круговорота вещества и элементов на основе их биологического разнообразия. Ресурсы сегодня имеют стоимость, что стимулирует толчок определенным методам ведения хозяйства. Созданный в США бездефицитный баланс питательных веществ и органического вещества в почвах позволяет получить высокую продукцию без увеличения площадей посевов и освободить под многолетние посевы пятую часть площадей. Создание сложного компоста и его использование в агроландшафтах края поможет получать высокую продукцию без увеличения площадей посева, а освободившиеся площади можно занимать для производства кормов, а также улучшать качество почвы.

Остановимся на сложном компосте, который является полиорганической и полиминеральной многофазной системой, раскрыть возможности которой можно путем всестороннего изучения основ-

ных составляющих с учетом специфики агрегатного состояния коллоидов и степени их дисперсности. Установлены основные закономерности хода обменных реакций в развитии сложного компоста в зависимости от скорости, эквивалентности и емкости обмена различных составляющих. В формировании сложного компоста выделяется несколько вариантов поглотительной способности по аналогии с почвой, основой поглощения которой является илистая фракция с размерами частиц до 5 мк. Измельчение твердых материалов, разрушение горных пород, отмывание загрязнения и очистка воды основаны на использовании особенностей дисперсных систем, часто встречающихся в быту, природе и на производстве, и их поведение в развитии сложного компоста подчиняется аналогичным закономерностям протекания подобных процессов в верхнем слое почвы. Важную роль в формировании сложного компоста играют микробиологические процессы при участии бактерий, грибов, актиномицетов, одноклеточных водорослей. Именно по развитию микроорганизмов, а также органическому и минеральному составу отдельных отходов и реакции их среды определяется биологическая активность сложного компоста. Численность микроорганизмов, по которой можно определять их биомассу, представляет собой отклонение от минимума, свойственного конкретному отходу (Белюченко и др., 2006).

Условия формирования сложного компоста наиболее благоприятны во второй половине весны и первой половине лета, когда оптимальны температура почвы и ее увлажнение. В засушливый летний период тогда смесь отходов необходимо увлажнять – можно с использованием влаги жижеборников, тогда подготовка сложного компоста (полуперепревший навоз КРС, свиней, отходы растениеводства и фосфогипс) длится 3–4 месяца. По мере созревания сложного компоста многие отходы быстрее вступают в контакт и между ними происходят химические реакции с образованием новых соединений (Белюченко и др., 2007).

Большое значение в формировании сложного компоста имеют сообщества микроорганизмов в его составе, особенно ферментирующие грибы. Видовой состав микромицетов обусловлен особенностями компостирования и довольно разнообразен: наиболее обычны и многочисленны плесневые грибы, мицелий которых ветвится и переплетает массу органики. При разложении органического

субстрата грибы продуцируют этиловый спирт, сложные эфиры и другие вещества, подавляющие запахи и препятствующие загрязнению сложного компоста насекомыми и их личинками. Ферментирующие грибы являются также важными деструкторами трудноразлагаемых для бактерий растительных остатков. Сообщества грибов с другими микроорганизмами перерабатывают остатки растений поэтапно со сменой грибных сукцессий (Белюченко, Пономарева, 2005). Многие грибы вступают в симбиоз с корнями высших растений, образуя микоризу и способствуя снабжению растений водой, минеральными соединениями, главным образом фосфорными, а сами получают органический углерод.

Важное значение для черноземных почв имеет подготовка сложного компоста. Приготовленные на основе экстрактов различных органических и минеральных отходов сложные компосты являются безопасным органоминеральным удобрением, быстрее созревают, имеют повышенное содержание углерода, азота и фосфора. При заделке сложного компоста в почву одновременно с удобрениями вносятся и разнообразные микроорганизмы, способствующие восстановлению плодородия почвы, подавляющие развитие их патогенных форм (рисунок 3). Сложные компосты в отличие от простых минеральных (сухих или жидких) и органических удобрений широко и многофункциональны, что основано на широком спектре физических, химических и биологических взаимодействий и особенностях отдельных составляющих (Антоненко и др., 2015).



Рисунок 3 – Состав сложного компоста

Компостирование при использовании органических и минеральных отходов различных производств является важнейшим приемом, способствующим сохранению необходимых для растений минеральных веществ при разложении органики и увеличению доступности растениям многих элементов питания. Внесение сложного компоста улучшает биологическое соотношение углерода, азота и фосфора в верхнем слое почвы. Сложный компост перед его смешиванием поливали полурастворимым перегноем (50 кг органического вещества на 150–200 кг воды), включающим основные эколого-ценотические группы микроорганизмов, при этом процесс разложения органических веществ в сложном компосте существенно ускорялся. В сложный компост для чернозема обыкновенного включали полуперепревший навоз КРС – 50 т/га, фосфогипс – 7, смет и отходы очистки семян зерновых культур – 2, отходы кормления скота (остатки комбикорма и зеленой массы) – 2, обмолоченные шляпки подсолнечника – 2, пшеничную солому – 2 и отходы сахарной свеклы – 2 т/га. Растения кукурузы в опытных вариантах с применением сложного компоста и умеренной влажности достигали высоты до 3 м и более и формировали в среднем по 2 початка на особь (Белюченко, 2005).

1. Структура сложного компоста. Зрелый сложный компост – это почвоподобное образование с содержанием органического вещества до 20 % и выше и с нейтральной реакцией раствора (рН 6,8–7,2), включает значительное количество полутвердых окислов, активно сцепляющих друг с другом минеральные и органические частицы. В создании компоста активно участвуют живые организмы, а продукты их жизнедеятельности играют цементирующую роль в объединении множества мелких частиц. Например, многие микроорганизмы (бактерии, одноклеточные водоросли и грибы) выделяют слизи пептидной и углеводной природы и вместе с глинистыми частицами образуют водопрочные органо-минеральные образования размером до 2 мм. Микроскопические грибы и одноклеточные водоросли не только склеивают различные частицы выделяемыми полисахаридами, но и укрепляют их механически, переплетая своими гифами и нитевидными талломами. Такие частицы органо-минеральной природы достаточно устойчивы к размыванию водой. Это происходит в верхнем слое субстрата от 0 до 15 см при перемешивании сложного компоста каждые 20–25 дней в теплый период года – это ускоряет образование

в нем почвенных структур при активном развитии живых организмов. Сложные компосты являются местообитанием для различных живых организмов с широким разнообразием видов и обилием их сообществ (Белюченко, Боташова, 2003; Белюченко, Глазунова, 2004; Белюченко, Пономарева, 2005).

Микроорганизмы способствуют трансформации питательных веществ и активизации окислительно-восстановительных процессов при формировании сложного компоста. Вначале разлагаются органические вещества растительных остатков, а также идет распад минералов вследствие экстракции из них фосфора, кремния, железа, марганца и многих других элементов. Биота в сложном компосте (микроорганизмы, растительные и животные организмы) в процессе разложения органических веществ освобождает прежде всего органический углерод и азот, а затем серу, фосфор и кальций, осуществляя весьма важную системную функцию – накопление наиболее ценных для организмов структурных, питательных и биологически активных веществ. Очень важны микроорганизмы ризопланы на поверхности живых корней, которые поставляют легкодоступные макроэлементы и многие активные вещества, включая ферменты, ауксины, витамины и другие соединения (Белюченко, 2008).

После внесения сложного компоста в верхний слой почвы отмечается азотфиксация – связывание молекулярного азота атмосферы организмами-прокариотами. Этот процесс имеет важнейшее системное значение для почвы и растений. Симбиотические и несимбиотические азотфиксирующие бактерии развиваются в сложном компосте с различной интенсивностью. Эукариоты, в том числе и грибы, обеспечивают через микоризу растения фосфором, так как способны утилизировать труднодоступные соединения этого элемента. Симбионты-микоризообразователи сложного компоста поставляют для растений из почвы не только кальций и фосфор, но и азот, серу, калий и многие микроэлементы: марганец, медь, цинк, кобальт, разнообразя таким образом «рацион» растений в верхнем слое почвы (Муравьев и др., 2008).

2. *Создание сложного компоста.* Процессы, проходящие при созревании сложного компоста, приводят к образованию ряда веществ: газообразных, особенно азотсодержащих, и других, легко инфильтрующихся в грунтовые воды, а в форме молекулярного азота (N_2) переходящих в атмосферу. Ферменты сложного компоста отличаются

коротким временем биологической активности – всего нескольких суток, а также могут сорбироваться твердой фазой. Пополнение компоста свежими ферментами осуществляется благодаря микроорганизмам, интенсивность этого процесса ко времени созревания составляет 80–90 % и сохраняется 4–5 месяцев. При недостатке биоактиваторов переработка субстрата замедляется, становится малоэффективной, и большая часть органического вещества остается неизрасходованной из-за его недоступности бактериям и грибам. Численность микробных сообществ, как показатель буферности почвы, характеризует реальные возможности трансформации органики, а также интенсивность взаимодействия органических и минеральных веществ. В летний период уже через 2 месяца формируется достаточно активная система сложного субстрата, связанная с началом его перехода в зрелый сложный компост с определенным сочетанием физических, химических и биологических свойств (Belyuchenko, 2005; 2015).

Численность микроорганизмов, прямо связанная с их биомассой, представляет собой отклонение от минимума для конкретного отхода в самый неблагоприятный период. Количество микроорганизмов определяется как варьированием температуры, влажности, содержанием органического вещества, так и связано с составом всех отходов сложного компоста. Качество и количество компонентов компостной смеси, а также различные загрязнения отходов, воздействия агротехнологий и т. д. определяют физические, химические и биологические характеристики процесса развития компоста, которые и вызывают серьезные изменения смеси за относительно короткий срок в летний период (с апреля до октября).

Оптимальное сочетание компонентов способствует сохранению питательных ресурсов сложного компоста и обусловлено как непрогнозируемыми факторами среды всех отходов, так и количеством органики в них, природными температурами и количеством осадков. Очень важную роль играют соотношения в компосте углерода и азота, углерода и фосфора, а также обилие и разнообразие сообществ микроорганизмов в определенный этап его формирования. В северной зоне края летом можно начинать контроль за состоянием сложного компоста уже через 12–15 дней после смешивания компонентов по степени развития сообществ микроорганизмов (Belyuchenko, 2005).

Биологическая активность имеет большое значение в развитии сложных компостов. Перемещение микроорганизмов в массе субстрата, особенно на первом этапе его развития, обычно затруднено в связи с их адсорбцией минеральными веществами – в первую очередь монтмориллонитом. В зависимости от условий при смешивании разных отходов варьируют источники энергии, значения рН, температура и другие факторы. Расширение качественного состава сложных компостов приводит к проявлению новых аэробных и анаэробных процессов, возрастает численность азотфиксирующих и аммонифицирующих организмов. Некоторые микроорганизмы в органических соединениях компостов способны мигрировать в направлении их наименьшей концентрации (Белюченко и др., 2007; Belyuchenko, 2015).

Оптимум в созревании сложного компоста достигается при активации разложения органического вещества и одновременном снижении активности процессов нитрификации и денитрификации, включая и развитие микробоценозов. Развитие микроорганизмов поддерживается наличием различных веществ и в первую очередь органических, поэтому они в сложном компосте приурочены в основном к живым и мертвым макроорганизмам как важнейшим для них источникам энергии, и только некоторые виды способны питаться на минеральных субстратах путем хемосинтеза, используя для этих целей серу, железо и другие элементы (Белюченко, Муравьев, 2008).

Именно микробиологические механизмы регуляции поддерживают устойчивость сложных компостов и их физиологическую и химическую активность. Развитие популяций микроорганизмов в органических отходах – в осадках сточных вод, в отходах переработки овощей, фруктов, сахарной свеклы и другой продукции растениеводства – существенно сдерживается дефицитом необходимых им элементов питания. Лимитирующими факторами в развитии бактерий, грибов, актиномицетов, водорослей, представителей микро- и мезофауны в сложном компосте выступают также нехватка органического вещества и особенно его разнообразия: углеводов, белков, ферментов и других, а в минеральных компонентах – калия, серы, фосфора и т. д. (Белюченко, 2008).

При формировании сложного компоста происходит нарастание числа и массы популяций отдельных организмов в весьма широких пределах. Так, в 1 г сложного компоста на основе полуперепревшего подстильного навоза КРС за два месяца его формирования обра-

зуются в среднем от 22 до 35 млн микробных клеток, а также наблюдается значительное обилие грибных гиф, актиномицетов и водорослей, что существенно превышает аналогичные показатели в массе простого навоза. На 1 м³ компоста приходится до 50–70 кг массы живых организмов. Микроорганизмы в сложных компостах лучше обеспечены растворимыми и нерастворимыми соединениями и прежде всего углеродными и азотными соединениями, подвижным фосфором, микроэлементами, что обеспечивает наиболее благоприятные условия для их выживания, размножения и развития.

На первом этапе формирования компоста как плодородного субстрата и при его дальнейшем развитии действуют разные группы живых организмов. Условно третья группа активно развивается уже при перемешивании сложного компоста и почвы (верхний слой 0–20 см), когда их микробсообщества объединяются и в своем дальнейшем развитии достигают равновесия в составе живых организмов. В созревающих сложных компостах основу сообществ биоты составляют гетеротрофы, которые значительную часть получаемой ими энергии при минерализации органического вещества расходуют на поддержание своей биомассы – до трети энергетического материала идет на рост и размножение (Белюченко и др., 2008).

Грибы в сложном компосте занимают особое место. По разнообразию и численности они занимают третье место после животных и растений и являются весьма разнообразной группой организмов по эволюционному развитию и распространению в природе. Для грибов, по сравнению с другими организмами, характерно такое важное качество, как экономный обмен веществ, использование большого количества органического углерода и азота из разлагаемых ими соединений для построения своего тела (свыше 60 % расщепленных ими веществ переходит в слоевище грибов). С переходом их в почву усиливается биологическая активность и продуктивность сельскохозяйственных культур, особенно это касается фосфорного питания.

Основу сложных компостов составляют различные отходы промышленного и сельскохозяйственного производства, бытового и природного происхождения, заключающие существенные резервы биосферной энергии. Антропогенное воздействие в настоящее время во много раз по масштабам и скорости превышает влияние природных процессов на биосферу. Разрушение ландшафтов, начиная от пустыни Сахары еще до нашей эры, продолжается – до современного еже-

годного отчуждения земель и их превращения в пустыни, засоления и выветривания обедневших почв на больших территориях, чрезвычайного загрязнения рек, морей и океанов, воздушного пространства. Наиболее важным составляющим биосферы являются почвы, которые необходимо спасать человеку от самого себя, и думать, как это лучше сделать (Белюченко, Муравьев и др., 2008).

При размещении смеси различных отходов в буртах образуются сложные компосты, где в определенной степени дублируются процессы развития микроорганизмов в почве. При внесении в верхний слой почвы сложные компосты являются благоприятной средой для создания новых экологических ниш, свойственных широкому кругу живых организмов. Живые организмы в зрелом сложном компосте достаточно свободно мигрируют по различным направлениям. Например, при наличии легкоразлагаемых органических веществ (листовая масса, подстилка, плоды и т. д.) в сложном компосте быстро нарастает численность популяций и разнообразие видов микроорганизмов, способствующих их разложению. Разнообразие микроорганизмов обеспечивает выделение многих веществ, активизирующих разложение, включая аминокислоты, витамины, ферменты, и другие соединения (Белюченко, 2009).

При достаточной обеспеченности пищей количество клеток микроорганизмов в сложном компосте достигает большой численности, но их видовой набор сравнительно ограничен и соответствует стадии его формирования; при развитии в менее благоприятных условиях численность микроорганизмов снижается, но увеличивается их разнообразие. В случае преобладания органических веществ, трансформация которых протекает довольно быстро, значительная часть живых организмов переходит в состояние покоя (споры и т. п. диаспоры). Образование комплекса органических и минеральных отходов при формировании сложного компоста замедляется, особенно во второй половине лета, вследствие снижения активности микроорганизмов, поскольку поступление свежего растительного материала в систему заметно снижается (Белюченко и др., 2010).

3. Микроорганизмы и сложный компост. Микробиологический анализ сложных компостов с преобладанием в нем органической массы показал, что в нем доминируют прокариоты, среди которых на определенной стадии наиболее многочисленны микромицеты. Общая численность бактерий, особенно аммонифицирующих групп,

в почвах при выращивании сельхозкультур варьирует в больших пределах (Белюченко, 2011).

Применение растительных остатков сельхозкультур (озимая пшеница, кукуруза, подсолнечник) при создании сложного компоста приводит к увеличению численности микробного сообщества, что обусловлено изменением химического состава субстрата. Микроорганизмы заметно реагируют на изменения условий среды: снижение рН до нейтральной и улучшение аэрации способствуют активизации микробиологических процессов. Фосфогипс, входящий в состав сложного компоста, ингибирует развитие нитрифицирующих бактерий, снижает их численность, которая наиболее высока в почвах под озимой пшеницей.

Значительное участие в круговороте минеральных элементов принимают актиномицеты, поскольку именно они осуществляют в трофической цепи основные функции редуцентов органики. В исследованных образцах широкое распространение имели представители таких родов, как *Micromonospora*, *Nocardia*, *Nocardioopsis*, *Streptomyces* (Белюченко, 2012).

Наиболее часто в разных вариантах сложных компостов отмечались представители родов *Penicillium*, *Trichoderma*, *Aspergillus*, *Fusarium*, *Rhizopus*, *Cladosporium*, *Alternaria*. Среди дрожжевых грибов очень часто встречались виды родов *Lypomyces* и *Candida*. В сложном компосте, в котором в качестве одного из компонентов применяли растительные остатки озимой пшеницы, патогенные грибы рода *Fusarium* в смешанном варианте выделены не были.

Определенное сочетание бактерий и грибов в сообществе микроорганизмов в сложном компосте имеет большое значение в индикации соотношения в них углерода, азота и фосфора. У бактерий показатель соотношения С:N в 2,0–2,5 раза ниже, чем у грибов, а показатель накопления органического углерода превышает таковой в 15–20 раз, на что убедительно указывают результаты выращивания кукурузы в азотном варианте и в варианте со сложным компостом при участии полуперепревшего навоза КРС и фосфогипса (Белюченко, Никифорова, 2012).

Бактерии, грибы, актиномицеты и другие таксоны микроорганизмов находят в сложном компосте вполне удобные для их развития и размножения новые экологические ниши, поскольку они различаются метаболизмом и его продуктами и по-разному реагируют

на минеральные и органические соединения, которые могут негативно влиять на рост микроорганизмов и либо способствуют, либо препятствуют обезвоживанию клетки физическими барьерами. Размер бактерий составляет примерно 4,0 мкм, а диаметр грибных гиф доходит до 8 мкм. Гифы грибов редко встречаются в микропорах, а бактерии, наоборот, их заселяют и таким образом приобретают защиту от ряда хищников. По сравнению с бактериями грибы тесно взаимодействуют с глинистыми минералами и почвенными агрегатами. От этих факторов зависит скорость отмирания биомассы микроорганизмов: у защищенных она в сутки весьма незначительная, а у незащищенных очень существенная (Белюченко, 2012; Белюченко, Мустафаев, 2013).

4. Общие подходы к созданию сложного компоста. При создании сложного компоста с включением особо активных отходов (кислых или щелочных) нейтрализуются грибковые и бактериальные патогены; различные поверхностноактивные вещества, тяжелые металлы, пестициды, газообразные и другие вредные вещества переводятся в труднодоступные для растений соединения. Сложные компосты, приготовленные в разных сельскохозяйственных зонах, будут отличаться физическими свойствами и химическим составом его составляющих, а также экологическими особенностями из-за их различий. Компоненты сложного компоста имеют разную концентрацию и подвижность отдельных веществ. Основную роль играет органическое вещество, которое принимает на себя роль поглотителя и регулятора миграции отдельных элементов и веществ и определяет количество экологических ниш, постепенно увеличивая биологическое разнообразие смеси. Именно органическое вещество компоста наиболее значимо влияет на его водный и воздушный режимы и, следовательно, условия развития в нем живых организмов, а в последующем – и на почвенный покров (Белюченко, 2013; Белюченко, Попок, 2013).

Сложный компост по своей структуре – открытая термодинамическая система, получающая тепло и энергию из внешней среды и внутренних ресурсов (разложение различных органических веществ), это неоднородный физико-химический субстрат, включающий различные по физической структуре и химическому составу отходы различных производств и быта. Композиции из различных отходов, их соотношение, а также особенности используемого каж-

дым производством сырья определяют разнообразие сложных компостов. Компост можно рассматривать как будущее комплексное удобрение с определенным составом и свойствами: гранулометрический и валовый химический состав, оводненность, агрегирование, воздушный режим, содержание питательных веществ (абиотические характеристики) и таксономический состав (бактерии, грибы, актиномицеты, водоросли, микро- и мезофауна) – биотические характеристики. Производство минеральных удобрений в начале XXI в. стало дорогим и энергозатратным, кроме того, применение минеральных удобрений имеет предел повышения урожайности, поэтому интерес к навозу снова возрос (Белюченко, 2013).

Внесение сложных компостов в верхний слой почвы существенно ее преобразует: усиливается инфильтрация, ускоряется преобразование почвенно-грунтовых вод, повышается качество фильтрации подземных вод, улучшается водно-воздушный режим почв, идет активное обогащение биотой и т. д. Создание и применение сложных компостов вызвано губительными последствиями интенсивного земледелия, которое привело к стремительному разрушению почвенного покрова при внесении больших доз минеральных удобрений, особенно азотных. Сложные компосты являются самостоятельным образованием, подобным почве и создаваемым человеком для защиты и сохранения ее плодородия и экологических функций. Сложный компост способен формировать специфическую среду физического, химического и биологического взаимодействия, а технологии его создания и применения выделяют новые направления теоретических и практических исследований в агрономической науке (рисунок 4).

Внесение сложного компоста заметно увеличивает содержание агрономически ценных агрегатов в почве. Исследования в течение 6 лет (2008–2013 гг.) характеристик агрегатного состава почвы показали, что содержание агрегатов на контроле (при внесении азота и фосфора) сильно упало, но практически не изменилось в варианте с полуперепревшим навозом КРС и NP, а в варианте со сложным компостом уровень ценных агрегатов, кроме очень сухого 2011 г., осталось на уровне 75 % (Белюченко, 2014).

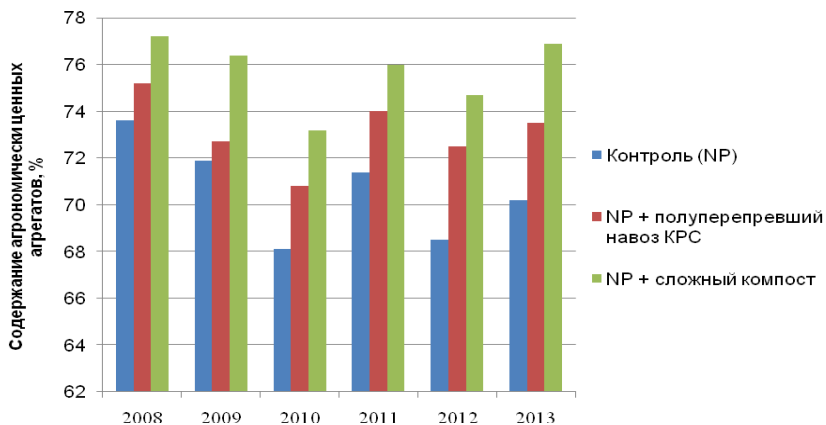


Рисунок 4 – Изменение агрегатного состава почвы при внесении сложного компоста

Структура сложного компоста представляет собой гетерогенное образование, развитие и функционирование которого в процессе его формирования идет по биокосному типу, т. е. по законам живой и неживой природы. В сложном компосте формируется открытая многофазная, гетерогенная и полидисперсная термодинамическая система, где химические и физические взаимодействия проходят в различных фазах – в твердых, жидких и газовых. В создании и поддержании системы играют роль различные биологические структуры: микроорганизмы и разные по организации группы животных при постоянном влиянии на их взаимоотношения физических и других процессов через испарение, увлажнение, температуру, солнечную радиацию и т. д.

В структуре сложных компостов можно выделить несколько основных компонентов: а) минеральные и органические остатки; б) коллоидальные минеральные и органические образования; в) водные и воздушные включения; г) ионы растворимых соединений; д) почвенные животные и микроорганизмы; е) семена, корневища и запасные почки растений. В процессе формирования сложных компостов закладываются основы их совместимости с почвой и расширения ее экологических ниш. При изложении вопросов об экологических функциях сложных компостов мы опираемся на ре-

зультаты наших исследований, а также на данные других авторов (Белюченко, 2014; Белюченко и др., 2015).

Классификация сложных компостов может опираться как на физические свойства: влажность, температура, плотность, гранулометрический и валовый состав, так и на биологический состав: различные зачатки живых организмов, в том числе микроорганизмов, семена растений, яйца и личинки беспозвоночных. Благодаря этим свойствам выполняются важнейшие функции создаваемого субстрата – предоставление жизненного пространства для широкого круга живых организмов в отличие от чисто минеральных сухих или жидких удобрений. Компосты обеспечивают не только возможность жить, но и защищают организмы от холода и жары, чему способствуют благоприятные условия увлажнения и температуры. Сложный компост улучшает водный режим и условия питания всех живых организмов, обитающих в нем (Белюченко, 2015).

Сложные компосты обладают сорбционной активностью, которая проявляется в механическом и химическом поглощении поступивших в них органических и минеральных соединений, а также в накоплении популяций микроорганизмов на поверхности органоминеральных коллоидов. Эта особенность сложных компостов имеет важное значение, так как благоприятствует изменению активности и направленности биологических процессов, активируемых при их внесении в верхний слой почвы (Белюченко, 2015).

5. Сложный компост как почвоподобное формирование. Почва, как сложная природная система суши, является многокомпонентной системой атмо-, гидро-, био- и литосферы, определяющей их взаимодействие между собой. Она располагается в верхней части литосферы – в твердофазной литосферной матрице и одновременно является каркасом системы и очень важным веществом. Выделяющиеся из каркаса жидкие и газообразные продукты накапливаются внутри него и постепенно меняют химический состав, превращая каркас в материнскую породу. Почва постепенно становится самостоятельной системой, входя частично в подсистему атмосферы, литосферы и других оболочек биосферы. Сложный компост внешне схож с почвой по составным частям, структуре и т. д., но отличается от нее химическим составом – в 2–3 раза и больше содержит органического вещества, заметно больше макро- и микроэлементов, лучше сохраняет влагу, имеет более высокий уровень коллоидаль-

ности. Различия касаются также физических свойств, агрономических характеристик – сложный компост оптимизирует агрономические свойства почвы в течение 5–6 лет при заметном улучшении использования растениями элементов питания, их физиологических и биологических характеристик.

Биосферные, гидросферные, атмосферные и литосферные функции почв с внесением сложных компостов существенно трансформируются, активизируются, заметно оптимизируются, улучшаются также структурные, вещественные, энергетические и информационные функции. Химические процессы в почве под влиянием сложного компоста приводят к образованию новых соединений: подстилка, органическое вещество, гумус, различные органоминеральные соединения, отличающиеся физическими, физико-химическими и химическими свойствами; хелаты, новообразованные гумусовые соединения, видоизмененные минералы, легкорастворимые соли, карбонаты, ил, тонкая пыль, гипс, дисперсные фракции мелкозема и другие. Создаются новые экологические ниши (Белюченко, 2014; Belyuchenko, 2015).

В минеральных отходах нет организованных сообществ бактериальных и грибных организмов, наблюдается полное отсутствие не только животного мира, но и возможностей его жизнеобеспечения. Ведущими факторами формирования сложных компостов, создающими возможности сближения их химико-биологических основ, являются влага и тепло. По мере развития физических и химических взаимодействий между различными отходами сложный компост начинает приобретать аналогичные формированию почвы закономерности и основным источником энергии для него становится солнце. Основная часть солнечной радиации используется на повышение температуры сложного компоста, испарение его воды, развитие и жизнеобеспечение микроорганизмов, а также на разложение органического вещества и распад горной породы и другие процессы (Белюченко, 2014).

Органические отходы лучше удерживают воду, полученную в технологическом процессе, а также воду дождей, что наилучшим образом поддерживает и способствует жизнедеятельности населяющих их организмов и регулирует их обмен. Вода способствует миграции различных веществ и отдельных элементов, обмену между солями простых растворов с последующим усилением их коллоидности.

В отходах компостов идет переход от простых реакций в жидкой среде к участию в этих реакциях жидких и твердых фаз, а затем и газообразных веществ. Наличие в органических отходах влаги и минеральных коллоидов содействует медленному развитию в них окислительно-восстановительных процессов. Высокая влажность органических отходов (навоз, помет, отходы свекловичного производства, осадки сточных вод и др.) создает восстановительные условия, особенно в нижней части буртов, и замедляет развитие перегноя.

Созревание компостов невозможно без живых организмов, избирательно использующих нужные им элементы из состава отходов и потому служащих важным фактором переработки самих отходов. Кроме того, дождевые черви, жуки и другие представители компостной мезофауны перемещают различные части растений и отмерших животных и тем самым усиливают физическую и химическую трансформацию отходов. Органическое вещество отходов в начальный период компостирования содержит относительно мало микроорганизмов и животных, поэтому минерализуется медленно и его основная часть гумифицируется. Примерно одна часть (10–15 %) органического вещества минерализуется и используется для развития микроорганизмов, другая, тоже незначительная часть (примерно 10–15 %) используется на питание животных (червей, жуков) и третья часть – до 70 % – гумифицируется и закрепляется минеральной частью отходов. Скорость трансформации органических отходов будет зависеть от активности процессов миграции животных, интенсивности и частоты перемешивания механическим способом, развития животного и микробного населения (Белюченко, Антоненко и др., 2014).

В основе переработки отходов органического происхождения и их гумификации лежит избирательная способность живых организмов использовать отдельные вещества и соединения в сложном компосте. Важной частью отходов является органический углерод, а также азот и фосфор. Промывной режим при наличии в отходах микроорганизмов приводит со временем к накоплению и других элементов – калия, серы, кальция. Условия среды и биологические особенности, складывающиеся со временем в слоях компоста, превращают его в своеобразный перегной с гумификацией основной органической части. Если отходы не компостировать, они превратятся в бесполезную труху: и их ценная для плодородия часть вы-

ветрится, азот уйдет частично в воздух, а частично в грунтовые воды (Белюченко, 2015).

б. Скорость формирования сложного компоста. Важное значение в изменениях во времени и пространстве разных видов сложных компостов имеет активность развития микроорганизмов, которая, в свою очередь, зависит от концентрации органического вещества (полуперепревший навоз КРС, солома пшеницы, ячменя, кукурузы, стебли подсолнечника и т. п.), разнообразия органических (аминокислоты, белки, крахмал, нуклеиновые кислоты, ферменты, витамины, целлюлоза) и минеральных соединений и интенсивности ряда разнонаправленных и в то же время взаимосвязанных важных процессов (аммонификация, азотфиксация, трансформация многих органических и минеральных веществ, минералов и др.). В сложном компосте микроорганизмы находят десятки экологических ниш с разными физическими свойствами, химизмом, составом и содержанием питательных веществ, а также реакцией среды (Белюченко, 2015; Belyuchenko, 2015).

Продукты жизнедеятельности многих живых организмов выполняют цементирующую роль в создании множества мелких дисперсных и коллоидных частиц, в результате чего формируется состав и структура сложного компоста, подобные почве. Многие бактерии, актиномицеты, водоросли и грибы в сложном компосте образуют слизи пептидной и углеводной химической природы, формируют водопрочные образования с глинистыми частицами. Микроскопические грибы и некоторые одноклеточные водоросли оструктурируют субстрат сложных компостов посредством выделения различных сахаров и пептидов, скрепляют своими нитевидными талломами мелкие структуры субстратов и формируют новые агрегаты. Значение бактерий и актиномицетов в структуризации субстрата выражено меньше (Белюченко, 2015).

На кислых и засоленных субстратах (например, на фосфогипсе, золе и др.) мелкие одноклеточные водоросли благодаря выделению слизистых веществ объединяют мелкие коллоидные частицы органо-минеральной природы, делая их достаточно устойчивыми. Некоторые живые организмы выделяют вещества, разрушающие комковатую почвообразную структуру (подкисляющие бактерии), особенно при внесении азотных удобрений. Сложные компосты служат хранилищем многих видов живых микроорганизмов определенной

географической зоны и представляют широкое разнообразие почвенных и растительных микробоценозов (Belyuchenko, 2014).

Гифы грибов способствуют построению мостиков между внутренними и поверхностными слоями сложного компоста и меньше всего зависят от пространственного расположения разных отходов. Грибы разлагают и трансформируют отдельные формы лигниновых комплексов, выделяя необходимые специфические ферменты. В сложном компосте и в почве, куда он вносится, сравнительно долго сохраняются остатки растительных и грибных структур (в основном стенки клеток и гиф), содержащих трудно разлагаемые вещества: меланин, хитин, лигнин, целлюлоза и другие. Роль микоризных грибов как облигатных симбионтов в стабилизации органического углерода в сложных компостах весьма существенная, а их внесение активирует освоение растениями большого объема почвы, что сказывается на концентрации в биомассе самих грибов (около $1 \cdot 10^3$ кг/га) устойчивого к разложению хитина. В мицелии грибов сложного компоста органический углерод может накапливаться также в форме гломалина, устойчивого к распаду гликопротеида, активно взаимодействующего с минералами почвы и отходами промышленности (например, фосфогипсом), что сказывается на существенном упрочнении их агрегатов. Микоризные грибы через свои гифы вместе с мелкими корнеподобными выростами водорослей формируют густую сеть, уплотняющую органоминеральные частицы сложного компоста, и при его внесении в почву усиливают их прочность в агрегатах.

Разложение фосфолипидов из клеточных мембран происходит относительно быстро, что существенно снижает количество углерода и в целом органического вещества в субстрате. Бактерии и микромицеты в системе сложного компоста существенно влияют на протекание в нем окислительно-восстановительных процессов. При разложении растительных остатков и дисперсии минералов, а также экстракции фосфора, кремния, железа и других элементов живыми организмами образуются органические кислоты. В трансформации углекислого газа велика роль автотрофных бактерий. Большое значение имеют аэробные микроорганизмы, которые способны вегетировать на поверхности корней растений, поставляя им необходимые макроэлементы (в основном N, P, S) и другие активные биогены (Белюченко, 2015).

По скорости разложения растительные остатки в компостах в осенне–зимне–весенний период можно расположить в следующий ряд: сахарная свекла → озимая пшеница → кукуруза → подсолнечник → озимый ячмень. Остатки сахарной свеклы минерализуются полностью, и сформированная масса сложного компоста будет однородной.

Таким образом, биота сложного компоста в ходе разложения биологических структур и органических веществ освобождает органический углерод и азот, серу, кальций и другие биогены, осуществляя основную функцию в системе отбора и накопления питательных веществ, и тем самым влияет на скорость формирования компоста.

7. *Внесение сложного компоста в почву.* В сложном компосте сохраняется существенный запас органического вещества, который израсходован в значительной мере живыми организмами и достиг определенного уровня минерализации. В верхнем слое сложного компоста распределение органического вещества обычно рассеянное с широким варьированием состава организмов. Отсутствие поступления в сложный компост свежего растительного материала переводит основную часть микроорганизмов в состояние покоя. При добавлении в сложный компост растительных отходов (солома озимой пшеницы, ячменя, стебли кукурузы, подсолнечника, отходы сахарной свеклы и др.) в разложение активно включаются различные виды микроорганизмов, которые при благоприятных условиях (влаги, температура, питательные вещества) доводят химический состав и структуру смеси до определенного равновесного уровня (Белюченко, 2014).

Каждый вид отходов (дефекат, свиной навоз, куриный помет и т. д.) характеризуется определенным содержанием органических соединений (белков, сахаров, аминокислот, витаминов, ферментов и т. д.) и неорганических (аммония, подвижного фосфора и других), а также уровнем рН. Специфика этих показателей зависит от региона. Сформировавшиеся сложные компосты отличаются хорошей агрегированностью, пористой мелкозернистой структурой, сыпучестью и устойчивой влажностью на уровне 15–20 %. Передвижение микроорганизмов в разных направлениях от места концентрации существенно затрудняется их адсорбцией почвенными частицами, особенно органическими веществами, а также глиной. Мелкие поры между частицами сложного компоста и почвы также вызывают затруднения в их перемещении, особенно в начальный период. Развиваются популяции

микроорганизмов, осуществляющих аммонификацию, нитрификацию, азотфиксацию, а также трансформирующих органические и минеральные вещества и разлагающих в том числе целлюлозу и другие труднодоступные соединения (Белюченко, 2014; 2015).

Понимание механизмов регуляции при формировании сложного компоста является очень важным для получения продуктивного субстрата, применяемого в сельском хозяйстве для повышения плодородия почвы как важнейшей составляющей любого агроландшафта. Сложившийся в сложном компосте комплекс микроорганизмов обеспечивает многообразие химических реакций между органическими и минеральными отходами и превращает их в верхнем слое почвы в единую биогеохимическую систему. Микроорганизмы в сложных компостах являются основными источниками главных парниковых газов: двуокиси углерода, окислов азота, метана, а также фосфорных соединений.

Использование сложных компостов для улучшения верхнего слоя почвы способствует его долговременному (на 5–6 лет) обогащению органическими и минеральными соединениями азота и фосфора. В связи с накоплением значительного количества органических веществ сложный компост существенно превосходит по набору видов и обилию отдельных популяций микроорганизмов окружающие почвенные частицы. При внесении сложного компоста верхний слой почвы активно пополняется микроорганизмами, что усиливает обмен энергией и веществами между различными составляющими агроландшафта (Белюченко и др., 2014).

Очень важные биохимические процессы в образовании сложного компоста – разложение трудноразлагаемых органических веществ (кочерыжки кукурузы, ее корни, стебли, однолетние побеги кустарников и т. д.) – выполняют разнообразные по своей экологотрофической функции микроорганизмы: молочнокислые, фотосинтезирующие, азотфиксирующие и ферментирующие бактерии, грибы, дрожжи, почвенные актиномицеты и др. группы. Большинство указанных групп в разном количестве встречается практически во всех органических отходах; сравнительно мало их в растительных остатках, но много содержится во всех видах навоза, осадках сточных вод, курином помете и других субстратах. Азотфиксация осуществляется многими прокариотами: автотрофными и гетеротроф-

ными микроорганизмами, в частности клубеньковыми бактериями, представителями родов *Azotobacter*, *Clostridium* и многими другими.

Функциональные роли микроорганизмов в сложном компосте распределены между азотфиксаторами, нитрификаторами, денитрификаторами, аммонификаторами, целлюлозолитическими, пектинолитическими и другими трофическими группами. Нитрификация осуществляется группой хемолитотрофных бактерий, а гетеротрофная нитрификация – рядом гетеротрофных бактерий и грибов. Гидролиз труднорастворимых фосфатов в фосфогипсе сложного компоста, окисление в его составе железа и марганца и их восстановление также осуществляется функционально разнообразными микроорганизмами.

Некоторые микробиологические процессы в сложном компосте являются особенно важными. К примеру, *Azotobacter* относится к группе основных азотфиксаторов. Среди денитрификаторов выделяются *Pseudomonas denitrificans* и другие виды. В случае отсутствия в сложном компосте связанного азота осуществляется азотфиксация; при недостатке кислорода и наличии связанного азота усиливается интенсивность процессов нитрификации и денитрификации. При определенном режиме развития сложного компоста наличие кислорода регулирует соотношение азотфиксации и денитрификации.

Определять и изучать в сложном компосте все виды микроорганизмов нет необходимости. Достаточно выделить доминирующие виды, характеризующие развитие конкретных процессов. Для оценки численности бактерий нередко принимается условный показатель: например, на 1 г субстрата приходится около 1 млн клеток. Для грибов и актиномицетов в сложных компостах можно принять другие экологические параметры численности, размеров, а также особенностей метаболизма. Обычно их численность составляет порядка 1×10^4 КОЕ/г субстрата. В равнинных ландшафтах важную роль играют лесные массивы, оказывающие существенное влияние на соотношение различных групп микроорганизмов.

Серьезные исследования необходимы для изучения в сложных компостах состава биологически активных веществ (аминокислоты, антибиотики, стимуляторы и ингибиторы роста, ферменты, витамины, токсины), в которых нуждается биота. Так, газообразные вещества быстро перемещаются и существенно влияют на газообмен во всей системе компоста, а при правильной композиции смеси могут формировать соли отдельных удобрений (азотных, фосфорных

и т. д.). Жидкие вещества перемещаются существенно медленнее, но заметно влияют на водный обмен в сложном компосте и при удачном соотношении его составляющих также способствуют образованию различных солей, улучшают пищевой режим как животных, так и высших растений. Третье место принадлежит твердым веществам, которые определяют активность газообразных и жидких веществ и тем самым поддерживают условную стабильность развития в целом всего сложного компоста (Белюченко, 2015).

Таким образом, функциональная роль живых организмов в системе сложных компостов чрезвычайно велика, но изучена недостаточно, хотя этот вопрос имеет важное практическое и теоретическое значение. Минерализация органического вещества и трансформация органического и минерального азота, а также ряд других вопросов формирования сложных компостов лежит в основе постепенного превращения многих отходов в однородную плодородную смесь. Проанализировав некоторые микробиологические процессы в сложных компостах, в первую очередь следует обратить внимание на переработку ряда отходов и их превращение в источник питания для грибов, бактерий, актиномицетов, водорослей, некоторых представителей мезо- и микрофауны. Трансформация отходов формирует новые соединения, существенно расширяющие и углубляющие экологические ниши в целом всего субстрата. Сложный компост, как четырехфазная система, состоящая из твердой, жидкой и газообразной фаз и биоты, способен создавать и трансформировать условия обитания различных групп биоты, формируя в целом жизненное пространство для живых систем. Развитие основного субстрата сложного компоста проходит по аналогии с почвой и в то же время отличается спецификой скорости и условий прохождения некоторых стадий физико-химических процессов и фенофаз для представителей биоты, образующих свои специфические сообщества, что значительно преобразует смесь органических и минеральных отходов в нужные для плодородия почвы структуры и соединения.

Физико-химические аспекты верхнего слоя почвы агроландшафта.

Для рекультивации почв в агроландшафтах используется сложный компост, представляющий собой новое направление в практической земледелии и экологии. В основе сложного компоста лежит искусственное создание комплексных смесей различных отходов

промышленного и сельскохозяйственного производства, а также бытовых остатков и природных материалов для разнообразия органических и минеральных дисперсных и коллоидных систем с целью совершенствования физико-химических и биолого-экологических функций субстрата (Белюченко, 2011).

Промышленность и сельское хозяйство и жизнеобеспечение населения являются источниками большого количества отходов, которые с нашей планеты никуда не исчезнут, а ежегодно накапливаются, занимая все новые территории, в том числе и значительные площади сельскохозяйственных угодий. Между тем многие отходы, имеющие в своей основе природное происхождение, могут быть использованы в качестве вторичного сырья с целью улучшения физико-химических свойств верхнего слоя почв (Белюченко, Мельник, 2010). Кафедра общей биологии и экологии Кубанского госагроуниверситета совместно с кафедрой физики почв МГУ в течение ряда лет исследует отходы химических заводов, производящих фосфорные и калийные удобрения, а также цемент, органические отходы (навоз КРС, свиней, куриного помета) деревообрабатывающей промышленности и других производств в плане возможного их использования для улучшения качества почвы (Belyuchenko, 2005).

В общепринятом понимании отдельные отходы промышленных производств (фосфогипс, известняковая мука, зола и др.) не являются коллоидными системами, но они содержат массу сверхтонких частиц сульфата кальция, кремнефторидов натрия и калия, фосфатов полуторных окислов, соединений серы, различных агрегатов, адсорбированных на поверхностях их частиц. Эти частицы проявляют коагуляционные свойства при перемешивании с почвой и различными органическими отходами сельского хозяйства, формируя комплексные органоминеральные соединения, которые представляют собой искусственную смесь органических, минеральных и органоминеральных выбросов сельскохозяйственного, промышленного, бытового и природного происхождения и из которой формируется впоследствии сложный компост. При комплексном образовании сложный компост способен существенно улучшить физические, химические и биологические свойства верхнего слоя почвы через обогащение питательными веществами и коллоидными агрегатами (Белюченко, 2013; Белюченко, Славгородская, 2013).

Сельскохозяйственные отходы включают все виды и формы навоза – твердый и жидкий (КРС и свиней, куриный помет) и остатки растениеводческой продукции (солома зерновых, стебли кукурузы, корзинки подсолнечника, листья и отходы сахарной свеклы и овощей, выжимки плодов и т. д.); промышленные отходы – это твердые и жидкие минеральные отходы переработки естественного сырья (фосфогипс, галиты, сильвиниты, известковая мука, зола и др.); отходы быта – это сточные воды и их пастообразные осадки; природные отходы имеют в основном органическое происхождение и представляют опад листьев, плодов, устаревшей коры, однолетние ветки кустарников, деревьев, ветошь трав, а также минеральные материалы осыпей и разрушения горных пород (Белюченко, Мельник, 2010; Белюченко, Славгородская, 2013).

Структура сложного компоста зависит от количества ионов кальция и магния и делится на мелкозернистую (минеральные коллоиды разбросаны и не связаны друг с другом) и комковатую (коллоиды соединены в сравнительно стойкие агрегаты). Комковатый компост лучше пропускает влагу и хорошо обеспечен кислородом. Состав и структуру сложного компоста определяет видовой и популяционный состав живых организмов – бактерий, актиномицетов, одноклеточных водорослей, а также многочисленных представителей микро- и мезофауны (Белюченко и др., 2010; Белюченко, 2013).

Кальций, поступающий в сложный компост в основном с твердыми и жидкими минеральными отходами, усиливает водопотребление нового образования, определяет прочность структурных агрегатов, образуемых в основном дисперсными и коллоидными минеральными системами, обезвреживает токсичное действие многих солей тяжелых металлов. Его источником в компосте может быть фосфогипс, доломит, мел, известковая мука и другие природные минералы, а также остатки соединений органических образований – зола древесных пород, кукурузы, отходов лужки подсолнечника и т. д. (Белюченко и др., 2007).

Водоудерживающая способность компоста зависит от наличия в нем коллоидов – минеральных, органических и органоминеральных, имеющих огромную суммарную поверхность (на 1 см³ их коллоидных структур приходится до 1 га общей суммарной поверхности), что объясняет их большую способность к физической адсорбции – поглоще-

нию и удержанию на поверхности воды и растворенных в ней питательных веществ (Славгородская и др., 2010; Белюченко и др., 2012).

Свойства отходов. Для минеральных отходов характерна большая гетерогенность гранулометрического состава, отличающегося физической и химической стабильностью и длительным сохранением физико-химических свойств вследствие слабой их растворимости. Химическая стабильность минеральных отходов и их способность продолжительное время (десятилетия) сохранять свои свойства является итогом длительного геологического периода формирования минералов из группы осадочных пород, что обусловило определенное соотношение реакционно активных и относительно инертных элементов, находящихся в малорастворимых соединениях (Белюченко, 2015; Антоненко и др., 2015).

Способность минеральных отходов сохранять высокую стабильность при их введении в сложный компост в дисперсном варианте, медленно трансформируясь в органоминеральные соединения, является важным и весьма ценным в практическом отношении свойством по поддержанию благоприятных для живых организмов физических, химических и биологических характеристик субстрата. Для агрономии в сложном компосте важно иметь лабильные и легко растворимые минеральные соединения, быстро высвобождающие для развития живых организмов в больших количествах питательные вещества (Ca, S, P и др.) (Белюченко, 1997; Белюченко, Славгородская, 2013).

Физические и химико-биологические свойства минеральных отходов стабилизируют развитие природной среды, благоприятствуя сохранению в сложном компосте органического вещества и снижая его минерализацию. Сокращение скорости минерализации органического вещества в сложном компосте обеспечивает более экономное расходование органического и минерального азота и стабилизирует показатель отношения C : N от 20 : 1 до 25 : 1 (Муравьев и др., 2008).

В гранулометрическом отношении минеральные отходы представлены минеральными частицами разного размера (от 0,0001 до 20 мм) и различной конфигурации. В чистом виде они состоят из физически и химически инертных и механически прочных исходных минеральных соединений; характеризуются как устойчивые и в определенных условиях химически инертные материалы, труднодоступные для микроорганизмов в силу их особого гранулометрического строения. Определенную стабильность минеральным отхо-

дам, которые быстро набухают при смачивании, в природной среде придают серная, фосфорная и другие кислоты; кислая среда субстрата легко очищает поверхность частиц от бактерий и других микроорганизмов. Со временем привносимая органоминеральная пыль постепенно меняет реакцию поверхности частиц минеральных отходов и начинается их поэтапное освоение микроорганизмами, водорослями, а затем и более крупными продуцентами. Такие участки, накапливающие бактерии и грибы, водоросли и почвенных животных, остатки разных стадий развития и разложения биоты, включая семена, споры и гифы грибов, становятся весьма привлекательным и энергетически емким субстратом для живых организмов, формируя участки микробной биомассы с высокой биологической активностью (Белюченко, 2004; Белюченко, Мустафаев, 2013).

Гранулометрические фракции минеральных отходов различаются по емкости катионного обмена и его потенциальной способности формировать органоминеральные комплексы. Содержание в них водорастворимых соединений является важнейшим показателем их биологической доступности, с одной стороны, и способности длительно поддерживать определенную устойчивость субстрата, защищая от быстрой деградации, с другой. В связи с гранулометрической многокомпонентностью, разноразмерностью и полифункциональностью частей минеральных отходов (зола, известковая мука, фосфогипс и др.), многообразием компонентов их трансформации, а также функциональной устойчивости физических и биологических характеристик они являются важными в физико-химическом отношении мелиорантами.

Почвенные микроорганизмы, использующие в качестве источника энергии помимо органического углерода почвы также некоторые другие элементы (S, P, Mo и т. д.), выступают важным биологическим агентом трансформации сложных соединений минеральных отходов. Микроорганизмы разлагают сложные минеральные соединения на простые, которые подвергаются химической и биологической реутилизации. Разложение потенциально прочных соединений минеральных отходов происходит медленно, что и обеспечивает долговременное действие при их внедрении в сложный компост; взаимодействие дисперсных минеральных частиц таких отходов с органическими соединениями и образование органоминеральных комплексов являются важнейшими механизмами стабилизации органического вещества

получаемой смеси и началом формирования почвенных агрегатов, физически защищающих органическое вещество почвы (Белюченко, Славгородская, 2013; Белюченко, 2001).

Минеральные соединения осуществляют физическую и химическую стабилизацию органического вещества сложного компоста через уменьшение в нем влаги и инактивацию редуцентов, размещающихся на поверхности микроагрегатов в связи с наличием и возможным образованием серной кислоты. Наибольшая доля микроорганизмов свойственна внешней части микроагрегатов, внутри которых размещаются микрочастицы минеральных отходов, имеющие силикатную основу и образующие гидрофобные зоны. Поскольку навоз, дефекат, осадки сточных вод и другие отходы органических веществ представлены в основном биохимически лабильными материалами, они активнее поддаются физической и химической стабилизации органических смесей (Александрова, 1980).

Важнейшей основой стабилизации органического вещества в сложном компосте является агрегирование его частиц. Основным объектом аккумуляции органического углерода и азота являются микроагрегаты, представляющие вторичные комплексы минеральных коллоидов с органическими частицами отходов. Микроагрегаты формируются в процессе перестройки органических частиц и их осаждения на коллоидах минеральных отходов. Предстоит решить еще немало вопросов в изучении механизма агрегирования в сложном компосте как минеральных, так и органических отходов. Ядром формирующихся агрегатов при комбинации минеральных и органических отходов, на наш взгляд, выступают их коллоидные частицы: именно они выполняют основную роль в поддержании стабильности микроагрегатов, определяющих своего рода физико-химические барьеры на пути развития сообществ микроорганизмов, влияющих на трофические связи, состояние минеральных элементов, накопление ими воды и т. д. (Берсенева, 1995; Муравьев, Белюченко, 2007; 2013).

Основной механизм агрегирования при внесении минеральных отходов, на наш взгляд, определяется образованием органоминеральных комплексов через связывание лабильных органических веществ достаточно устойчивыми агрегирующими образованиями (прежде всего гуминовыми кислотами) с минеральными микрочастицами, что легко выявляется при увлажнении и перемешивании органических и минеральных веществ. Образование микроагрегатов с участием ми-

неральных структур наблюдается уже на 2–3-й день после правильного смешивания и перемешивания разнородных субстратов с накоплением органических веществ на поверхности частиц минеральных коллоидов. По разным причинам с внесением в сложный компост минеральных отходов интенсивность разложения органического вещества в нем снижается, а период полураспада гумуса повышается. Проблемы агрегирования органических и минеральных отходов представляют большой научный и практический интерес, а потому их исследования весьма важны и перспективны (Муравьев и др., 2008; Белюченко, 2013).

Минеральные отходы содержат в разных соотношениях оксиды, составляющие основу земной коры (CaO, Fe₂O₃, FeO, MgO, TiO₂, MnO₂, Cr₂O₃, CuO, SiO₂, BaO), запасы которых в настоящее время в почвах сократились из-за выноса их с урожаем, выветривания и выщелачивания, что, естественно, сказывается на количестве субстрата верхнего слоя почвы, а также на количестве и качестве урожая сельскохозяйственных культур. Поступление в почву таких веществ даже в малых дозах способствует ее обогащению и благоприятствует развитию растений и формированию ими качественного урожая. Внесение в почву сложного компоста способствует ее обогащению кальцием, магнием, железом, цинком, серой и другими элементами, которые необходимы для растений (Кононова, 1984; Белюченко и др., 2013).

С внесением сложного компоста в почву повышается содержание минеральных коллоидов, усиливается их агрегирование, улучшается аэрация, больше накапливается и сохраняется влаги, экономнее расходуется азот, интенсивнее разлагаются стерневые остатки кукурузы, подсолнечника, суданской травы и т. д. В зерне озимой пшеницы повышается содержание белков, углеводов, провитамина А, витаминов группы В, аминокислот, растворимых полисахаридов, биотина, бетаглюкана и минеральных элементов: Mg, Ca, S, P, Si, Fe, K, Zn и др. (Белюченко и др., 2010; Белюченко, 2013).

В результате хозяйственной деятельности человека произошло уничтожение почвы на значительной территории суши, существенно усилилась деградация почвенного и растительного покрова, увеличилось загрязнение почвы и водных систем. Отмечается гибель многих популяций и видов организмов – от бактерий, грибов, актиномицетов до высших цветковых растений и млекопитающих животных, а значительные территории земель покрылись отходами промышленности

(терриконы шахтных разработок, отвалы твердых бытовых, химических и полиметаллических отходов), сельского хозяйства (навоз свиной и КРС, куриный помет), осадки сточных вод и т. д. (Белюченко, Бережная, 2012; Белюченко, Мустафаев, 2013).

За период своей деятельности человек утратил примерно 2 млрд га ранее плодородных земель. Хорошо известны случаи гибели плодородных почв в Северной Африке, в междуречье Тигра и Евфрата и их превращения в пустыню в Передней Азии. Немалые площади земель превратились в «техногенные пустыни», в водные системы и т. д. Сегодня площадь обрабатываемых земель в мире составляет около 1,5 млрд га, часть из которых ежегодно отчуждается, в основном для строительства (6–8 млн га), и примерно столько же приходит в непригодность из-за сильной водной и ветровой эрозии, засоления, закисления, загрязнения. Наибольшую опасность представляет почвенная эрозия, вызванная усилением процессов выветривания и вымывания в связи с интенсивным уничтожением лесов, гибелью лесных посадок, непродуманным использованием земель и т. д. (Добровольский, Никитин, 1986; Белюченко и др., 2012; Белюченко, 2014).

Современное состояние верхнего слоя почв. Проблемы почв сегодня характеризуются широким замещением биосферы техносферой со всеми новыми подходами к их изучению. Одним из случаев замещения блока экосистемы техносферой является превращение природных почв в малоподобные естественным образованиям субстраты, выполняющие в основном функцию производства продукции сельскохозяйственных растений, но потерявшие многие другие функции, свойственные в прошлом естественной почве (Добровольский, Никитин, 1986). Техногенная почва нарушает многие отношения между составляющими биосферы. В первую очередь это касается сокращения видового многообразия биоты, упрощения экологических связей в экосистеме, резкого сокращения пищевых сетей и т. д. В такой ситуации почва находится под постоянным давлением из-за атмосферного загрязнения тяжелыми металлами, почвы – пестицидами, нефтью, внесением удобрений (минеральных и органических), размещением твердых и жидких отходов, трансграничными переносами поллютантов через атмосферу и воздух и других факторов (Белюченко, Никифорова, 2012; Белюченко и др., 2014).

Сельское хозяйство использует почву как основу для получения урожая через внесение минеральных удобрений, а также заметно ог-

раничивает ее экологическую функцию в биосфере, нарушая растительный покров, сокращая содержание гумуса, существенно загрязняя пестицидами, тяжелыми металлами, нефтью и другими веществами. Обращается слабое внимание на изменение экологических функций почв, и эта проблема изучается недостаточно (Kurakov et al., 1994; Смагин, 2011; Попок, Белюченко, 2013).

В нашем крае сравнительно небольшая площадь природных угодий имеет ненарушенный почвенный покров, а основная часть ее равнинной территории представлена почвами сильной степени нарушения: рекультивированные отвалы, искусственные почвы, почвоподобные тела и другие формы с весьма ограниченными экологическими функциями и прежде всего заметным снижением физического, химического и биологического разнообразия. Заметно сокращается влияние почвы на другие составляющие биосферы и прежде всего на их водную составляющую со всеми живыми организмами. Газовые функции почвы, включающие образование аммиака, метана, углекислого газа и других выделений, усиливают парниковый эффект, что вызывает заметное изменение климата пока отдельных частей планеты (Белюченко, 2001; Муравьев и др., 2008).

Эволюция почвенного покрова проходит в условиях согласованной жизнедеятельности растений и животных, автотрофов и гетеротрофов, бактерий и грибов, актиномицетов и одноклеточных водорослей, что обеспечивает благоприятное соотношение между множеством физических и химических свойств верхнего слоя почв и населяющими их живыми организмами (Александрова, 1980). С некоторых пор, но особенно в XX в., наблюдается резкое нарушение сложившегося процесса общего развития верхнего слоя почвенного покрова, в целом в биосфере наметились угрожающие тенденции снижения разнообразия как живых организмов, так и ухудшения свойств самих почв (физических, химических и биологических) из-за очень сильного вмешательства человека во взаимодействия различных составляющих природы (Белюченко, 2009; 2010; 2013).

Остается все меньше почв в истинном понимании этого слова, и все больше возникает почвоподобных образований с новыми свойствами и качествами субстратов. Такое положение вызвано двумя причинами: 1) деградацией верхнего слоя почв в связи с вмешательством человека в их системы (эрозия, вызванная обработкой почвы; выделение территорий на другие цели, в частности под промышленное

строительство, загрязнение пестицидами, ТМ, нефтью и т. д.), 2) отчуждением с ежегодным урожаем сельхозкультур и выносом питательных веществ – органических, минеральных и органоминеральных. Серьезной альтернативы негативным изменениям почв сегодня не предлагается, но все больше площадей занимается разными отходами, что в целом вызывает дисбаланс активности практически всех функций почвенного покрова (Мельник, 2009; Белюченко, Мельник, 2010; Белюченко, 2012).

Именно проблема поддержания плодородия почв и ставит задачу сохранения почвенного разнообразия, включая структуру почвенного покрова, сохранение его физических, химических и биологических свойств. Выделяя важные задачи экологического функционирования почв, следует уделить особое внимание жизнедеятельности почвенных организмов, их многообразию, популяционному обилию и т. д., а также преобразованию отходов быта, жизнедеятельности растений и животных. Преобразование различных отходов, образовавшихся не только при функционировании животных и растений, а в первую очередь промышленностью и бытом, следует рассматривать как серьезную задачу, требующую решения на биосферном уровне (Белюченко, 2009; Белюченко и др., 2010; Belyuchenko, 2014).

Масса самых разнообразных отходов – химических, металлургических, животноводческих, бытовых и других – покрывают земельные площади страны и края. Как с ними поступать? Исследования, которые предприняты в Кубанском государственном аграрном университете, показывают, что эту проблему можно и нужно решать, но использовать различные отходы не по отдельности, а в системе подготовки и применения сложных компостов, подбирая подходящие по физическим и химическим свойствам компоненты. Правильное соотношение компонентов ускоряет время созревания сложного компоста, дает возможность создавать разнообразные по своим свойствам сложные смеси, разрабатывать нормы их внесения и решать другие практические задачи. Оплачивать работу подобного рода по использованию отходов должны те компании, которые их создают, загрязняя в самом широком смысле окружающую среду, ухудшая ее для человека (Белюченко, 2009).

В стране следует изменить систему контроля за отходами. Не штрафами надо ограничиваться, а заняться решением экологических проблем: помогать компаниям, которые образуют отходы, решать эти

проблемы. Основополагающей функцией таких контрольных органов должна быть обязательная охрана почв и водных систем от разрушения и гибели, особенно сельскохозяйственных земель. Учитывая серьезность проблемы сохранения почвенного покрова, в этой главе мы рассмотрим некоторые вопросы подготовки и использования сложных компостов с целью улучшения экологических функций верхнего слоя почв (Белюченко, 2011; Белюченко, Славгородская, 2011).

Свойства сложного компоста зависят от состава включаемых в него органических и минеральных отходов. Сложный компост отличается определенной спецификой физического, химического и биологического состояния, не имея ни определенного строения, ни сколько-нибудь сформировавшихся сообществ живых биологических объектов, и на этапе смешивания не проявляет определенных экологических функций. После соединения разных отходов, которые вначале бесструктурны, органические вещества в них в скором времени вызывают образование новых органоминеральных агрегатов, являющихся результатом взаимодействия минеральных и органических соединений различных компонентов (Белюченко, 2013).

Сложный компост формируется с использованием промышленных и сельскохозяйственных отходов, а также отходов быта в соотношении примерно 10 % органических и 20 % активных минеральных и до 70 % нейтральных или долго разлагающихся компонентов (опилки, отходы от обработки кукурузных початков, риса и т. д.). Особенность сложного компоста связана с включением особо активных отходов (кислых или щелочных), способных нейтрализовать грибковые и бактериальные патогены, различные поверхностно активные вещества, переводить тяжелые металлы, пестициды, газообразные вещества и т. д. в труднодоступные для растений соединения. Сложный компост одной сельскохозяйственной зоны будет отличаться от другой в основном соотношением физических и химических свойств его составляющих, а также экологическими особенностями вследствие различий в них видового состава живых организмов (Славгородская, Гукалов, 2011). В целом формирование сложных компостов независимо от типа угодия имеет общие принципы (множественность видов отходов), а основное отличие определяет соотношение их составляющих (Белюченко, 2009; Славгородская, Гукалов, 2011).

Наиболее активные компоненты сложного компоста определяют подвижность и концентрацию отдельных веществ. Основную роль в сложном компосте играет органическое вещество, которое принимает на себя роль поглотителя и регулятора миграции отдельных элементов и веществ и определяет количество экологических ниш, постепенно увеличивая их число и многообразие. Органическое вещество сложного компоста влияет на водный и воздушный режимы и развитие в нем живых организмов, а в последующем – и на почвенный покров, в который будет вноситься эта смесь. Сложные компосты, оказывающие влияние на почвенный покров, отличаются спецификой регионального разнообразия природных и антропогенных источников образования отходов.

Внесение в верхний слой почвы сложного компоста, содержащего до 55 т/га органического вещества и 7 т/га фосфогипса, способствовало снижению плотности сложения почвенного покрова и повышению в нем удельного объема пор. Так, в первый год после применения компоста (2008 г.) в посевах сахарной свеклы плотность почвы на контрольном участке составила $1,25 \pm 0,05$, на опытном – $1,17 \pm 0,04$ г/см³. Удельный объем пор, характеризующий отношение их объема к массе твердой фазы почвы, повысился на 10,5 %, что увеличило объем порового пространства почвы и положительно сказалось на развитии бактерий (таблица 24) (Белюченко и др., 2013).

Почва контрольного участка была уплотнена сильнее – значение плотности находилось на границе максимального диапазона для культуры. Поэтому корнеплоды сахарной свеклы испытывали заметное механическое сопротивление, что вызывало их деформацию, замедляло рост и снижало урожай. На опытном участке отмечено формирование более крупных корнеплодов, а доля нестандартных (неправильной формы) была значительно ниже и составила 5,2 % (в контроле 17,1 %). Урожайность сахарной свеклы в 2008 г. достигла на контрольном участке 410,2 и на опытном 450,5 т/га (Белюченко, Мустафаев, 2013).

В посевах озимой пшеницы (2-й год после внесения сложного компоста) плотность почвы на опытном участке в среднем была на 5,7 % ниже, чем на контроле – $1,16 \pm 0,04$ г/см³; удельный объем пор выше на 7,0 %. Такие изменения сказались на развитии корневой системы злака. Для растений, выращенных на почве со сложным компостом, характерна мощная и разветвленная корневая система с

формированием большого количества придаточных и боковых корней. Отмечено повышение ее массы и объема, что увеличило активную всасывающую поверхность подземных органов и лучше обеспечивало растение элементами питания и водой.

Таблица 24 – Плотность сложения и удельный объем пор чернозема обыкновенного в вариантах опыта

Вариант	Плотность, г/см ³	Удельный объем пор, см ³ /г
Сахарная свекла, 2008 г.		
Контроль (NP)	1,25 ± 0,05	0,38 ± 0,02
Сложный компост	1,17 ± 0,04	0,42 ± 0,02
Озимая пшеница, 2009г.		
Контроль (NP)	1,23 ± 0,04	0,40 ± 0,01
Сложный компост	1,16±0,04	0,43 ± 0,02
Кукуруза, 2010 г.		
Контроль (NP)	1,24 ± 0,03	0,39 ± 0,02
Сложный компост	1,16 ± 0,01	0,4310,01
Озимый ячмень, 2011г.		
Контроль (NP)	1,22 ± 0,03	0,40 ± 0,01
Сложный компост	1,15±0,02	0,45 ± 0,02
Озимая пшеница, 2012г.		
Контроль (NP)	1,29 ± 0,01	0,40 ± 0,02
Сложный компост	1,16±0,01	0,46 ± 0,01

В 2010 г. плотность сложения контрольной почвы под посевом кукурузы изменилась по сравнению с предыдущими годами и составила $1,24 \pm 0,03$ г/см³, а с внесением сложного компоста – $1,16 \pm 0,01$. Применение сложного компоста обусловило более интенсивный прирост корней кукурузы и объем их распространения в почве. Для четвертого года исследований последствие сложного компоста также сказалось на изменении плотности сложения и удельного объема пор почвы. Различия в вариантах по плотности почвы (г/см³) были статистически значимы для всего периода исследований (Белюченко, Славгородская, 2013; Гукалов, Славгородская, 2011; 2013).

Составление сложного компоста. По своей структуре сложный компост можно представить как открытую термодинамическую систему, получающую тепло и энергию из внешней среды (Солнце) и внутренних ресурсов (разложение органического вещества, углеводов, белков, жиров, ферментов и др.), стимулируя их упорядочивание и совмещение. Сложный компост, включающий в первую очередь различ-

ные по физическому и химическому составу отходы различных производств и быта, представляет собой неоднородный физико-химический субстрат, вносимый в верхний слой почвы. Разнообразие сложных компостов связано с их компоновкой из различных отходов, их соотношением, а также со сложностью физического и механического строения используемого каждым производством сырья. Сложный компост можно рассматривать как будущее комплексное удобрение, дублирующее состав и свойства почвы – абиотические (гранулометрический и валовый состав, оводненность, агрегирование, воздушный режим, содержание питательных веществ) и биотические (бактерии, грибы, актиномицеты, водоросли, микро- и мезофауна).

Первые представления о компостах мы находим у А.Т. Болотова (вторая половина XVIII века) – одного из основоположников русской агрономической науки. До 50-х гг. XX в. это понятие соотносилось с использованием отходов в основном крупного рогатого скота и лошадей с целью внесения органического вещества на пашне (Болотов, 1931). Затем роль этих отходов упала до минимума, потому как широко стали использовать минеральные удобрения. В начале XXI в., во-первых, минеральные удобрения стали дорогами, а во-вторых, установлено, что минеральные удобрения имеют предел повышения урожайности, и интерес к органическим удобрениям снова стал возвращаться. К сожалению, потеряны многие технологии перевозки и внесения навоза, заброшено производство по этому направлению, и использование навоза стало весьма проблематичным. Кроме того, внесение одного навоза по ряду причин, на которых мы остановимся ниже, совершенно не устраивает сегодня земледельцев. Куда интереснее, эффективнее, а самое главное – экологичнее проявила себя новая форма подготовки смешанных удобрений, или сложных компостов.

Все сельскохозяйственные почвы имеют пониженные экологические функции, и прежде всего снижен видовой и популяционный состав живых организмов, определяющих их биоразнообразие, а также обеднен их физический и химический состав. Подготовка сложного компоста и его внесение в верхний слой почвы существенно его преобразует: усиливается инфильтрация, идет активное обогащение живыми организмами, ускоряется преобразование почвенно-грунтовых вод, повышается, по сути дела, качество фильтрата подземных вод, улучшающих водно-воздушный режим почв, и т. д. Раз-

вите сложных компостов и их применение возникло в ответ на губительные последствия в земледелии – стремительное разрушение почвенного покрова при внесении больших норм минеральных удобрений, особенно азотных (Белюченко, 2012).

Сложные компосты, по нашему мнению, при их правильном формировании (подбор и соотношение компонентов, сроки подготовки, внесение, глубина заделки и др.), являются самостоятельным почвоподобным образованием, создаваемым человеком в поддержку естественных законов природы с целью защитить и сохранить плодородие верхнего слоя почвы. Развитие этого направления станет возможным в случае признания в земледелии и прикладной экологии научного и практического значения сложных компостов на основе подбора отходов, позволяющих формировать физическое и химическое многообразие субстрата, способных расширить возможности улучшения самой почвы и создать на этой основе новые экологические ниши (Белюченко, Славгородская, 2011; Белюченко, Мустафаев, 2013). Сложный компост представляет собой смесь разнообразных органических и минеральных отходов, пригодных для формирования специфической среды для физического, химического и биологического взаимодействия, а также выделения на этой основе новых направлений в развитии экологических ниш, а также в области теоретических и практических исследований современной агрономической науки.

Неоднородность сложных компостов и их пестрота по физико-химическому составу практически исследована мало. Однако опыт изучения физического состава сложных компостов, создаваемых в степной зоне Краснодарского края, позволяет высказать предположение, что их неоднородность значительно уже по сравнению с мозаичностью строения верхнего слоя почвы. С учетом такого обстоятельства и возможностей искусственного регулирования их состава можно компоновать сложные компосты, приближенные по наиболее важным агротехническим свойствам к основному типу почвы.

По своему строению сложный, или комплексный, компост представляет собой весьма многообразное гетерогенное образование, развитие и функционирование которого в процессе его формирования идет по законам живой и неживой природы (по биокосному типу). Весьма значимо то, что сложный компост в целом формирует открытую многофазную гетерогенную полидисперсную термодинамиче-

скую систему, где химические и физические взаимодействия проходят при активном участии твердых, жидких и газовых фаз, а также различных биологических составляющих – микроорганизмов (бактерий, грибов, актиномицетов, одноклеточных водорослей) и разновывневых по организации групп животных микро- и мезофауны при постоянном влиянии на эти взаимоотношения физических и других процессов через солнечную радиацию, испарение, увлажнение, температуру, ветер и другие факторы (Белюченко, 1997; 2005).

Сложный компост отражает экологические особенности конкретной природно-климатической зоны, специфику использования тепла, осадков, испарения и выделяется своими минеральными и органическими свойствами. Структура сложного компоста определяется особенностями развития верхнего слоя почвы в зависимости от ее неоднородности и геоморфологического состава и строения. Сложный компост выделяется самостоятельностью своего развития и в то же время соответствием на конечном этапе основным составляющим почвенного покрова, в чем и проявляется важная суть его значения и формирования как структурного образования (Белюченко, 2008).

Сложный компост объективно отличается весьма оригинальным органоминеральным составом, отличным от отдельных его составляющих, и без конкретной характеристики его агрономической и экологической ценности не может быть применен эффективно. Изучение структуры сложного компоста дает возможность оценить агрономическое значение и разнообразие его физико-химических характеристик и определить целесообразность времени и способа его внесения в верхний слой почвы. Структура сложного компоста, представляющего совокупность всех разнообразных составляющих, имеет конкретный физико-химический состав, подчиняющийся определенному механизму взаимосвязей и взаиморегулирования с верхним слоем почвы (Белюченко, 2008). Безусловно, сложные компосты, различающиеся физико-химическим составом, имеют свои особенности развития и сроки формирования. Следует отметить, что сложный компост выделяется по сравнению с верхним слоем почвы новыми свойствами, которые по отдельности в основном отсутствуют у составляющих его отходов.

Агрегатное состояние субстрата. При внесении в почву минеральные коллоиды отходов взаимодействуют с органическими коллоидами субстрата и формируют органоминеральные комплексы, ко-

торые закрепляются в виде пленок-гелей на поверхности частиц ила и мелкой пыли. Если пылеватые частицы ила в сложном компосте контактируют друг с другом, то они образуют физически связанные агрегаты, которые и формируют агрономически ценную структуру. Образование сложного компоста и его внесение в верхний слой почвы способствует его оструктуриванию (таблица 25).

Таблица 25 – Агрегатный анализ почвы

Глубина слоя, см	Размер агрегатов (мм) и их содержание (%)						Kс	
	>10	10–5	5–2	2–1	1–0,5	0,5–0,25		< 0,25
Контроль (без сложного компоста)								
0–20	13,61	19,23	16,42	18,30	18,48	7,96	6,00	4,10
20–40	42,92	30,22	13,57	6,94	3,37	1,68	1,31	1,26
40–60	32,31	32,08	20,52	8,32	4,14	1,60	1,03	2,00
60–80	31,99	27,13	19,16	9,06	6,16	3,69	2,80	1,87
80–100	27,93	28,86	20,70	10,09	6,17	3,58	2,68	2,27
100–120	29,56	24,03	19,40	11,58	7,67	4,22	3,53	2,02
120–140	16,80	23,82	21,85	16,25	10,36	6,61	4,31	3,74
140–160	10,57	24,65	25,22	15,96	11,16	7,17	5,27	5,31
>160	23,27	24,13	23,20	12,21	7,87	4,96	4,37	2,62
Опыт с внесением сложного компоста								
0–20	13,66	30,74	19,09	20,04	8,27	5,05	3,15	4,95
20–40	34,74	26,31	15,29	6,80	3,90	1,96	1,01	1,52
40–60	33,03	28,26	19,68	9,02	5,13	2,85	2,03	1,85
60–80	34,41	24,01	19,37	10,81	5,86	3,21	2,32	1,72
80–100	19,97	27,53	21,09	13,59	9,05	5,32	3,45	3,27
100–120	25,59	25,42	22,42	11,03	7,33	4,58	3,63	2,42
120–140	35,66	21,28	18,80	10,61	6,66	3,83	3,16	1,58
140–160	12,03	23,86	24,59	17,55	8,94	6,49	6,54	4,39
>160	33,97	29,26	16,04	8,45	5,28	3,34	3,66	1,66

На основе агрегатного анализа почвенных проб опытного участка нами установлен коэффициент структурности пахотного слоя на уровне 4,95, что позволяет отнести данную почву к оструктуренной. В почве контрольного участка этот показатель составил всего 4,1. В почвенных слоях опытного участка с внесением сложного компоста коэффициент структурности существенно выше контроля.

В некоторых слоях контрольного разреза коэффициент структурности почвы снижался, что связано с увеличением количества крупных агрегатов (>10 мм), которые не входят в ее агрономически ценную часть (Белюченко и др., 2010; Белюченко, 2013). При состав-

лении сложного компоста учитываются химические свойства полученных смесей, заметно влияющих на структуру связей и физические характеристики. Структура сложного компоста отличается автономностью и устойчивой способностью к возникновению новых свойств и вместе с этим развитием новых качеств (значительное изменение количества органического вещества, pH раствора, водоудерживающей способности и т. д.). По мере формирования сложного компоста, весьма активно приобретающего внутреннее равновесие через динамику совмещения комплексного развития всех составляющих отходов, увеличения численности экологических ниш, становления баланса отдельных биогенов и обмена энергией, а также формирования детритного типа круговорота веществ, растет потенциал его плодородия. Многие из указанных процессов зарождаются и протекают внутри сложного компоста, который является открытой системой, способной принять из внешней среды энергию (прежде всего от солнца) и воду из атмосферы (Белюченко, 2010; 2013).

Составляемый сложный компост отличается определенными физическими свойствами, которые не всегда соответствуют почвенным условиям, для которых он формируется. Основа сложного компоста – это достаточно комплексная по внутренним свойствам морфологическая структура, определяющая его физические (плотность, накопление воды и другие характеристики), химические (pH раствора, содержание органических и минеральных коллоидов, концентрация органического вещества, биогенов и т. д.) и биологические свойства (освоение видами и популяциями растений и животных новых экологических ниш). С течением времени (3–5 мес.) в сложном компосте в теплый период образуются чередующиеся и генетически связанные между собой различные группы микро- и мезофауны, мозаично размещающиеся в зависимости от комбинации разных веществ (органических, минеральных и гумусовых).

Структура сложного компоста обусловлена неоднородностью отходов, связанных с источником сырья (промышленные отходы) и типом сельскохозяйственных отходов (куриный помет, свиной навоз и т. д.), а также с отходами растениеводства и отходами быта. В таких компостах отмечается сложение компонентов, вступающих реже в двусторонние, а чаще в многосторонние связи. В отдельных структурах может преобладать односторонняя связь под преимущественным влиянием какого-то одного компонента (например, кури-

ного помета, свиного навоза), за счет которого идет преобразование неоднородного первоначального состава в комплексность сложного компоста, что проявляется в основном для степной зоны края, где из-за недостатка тепла зимой и влаги летом в зависимости от рельефа и условий года его формирование идет разными темпами.

Формирование сложного компоста каждого региона характеризуется в основном большим разнообразием отходов, вызванных, с одной стороны, разнообразием биоты и выращиваемых культур, с другой – вырабатываемыми отходами промышленности, с третьей – использованием природных минеральных ресурсов, которые применяются в строительстве и при добыче других полезных ископаемых и могут вызывать оползни, обвалы, аллювиальные процессы, и с четвертой – варьированием отходов быта по сезонам года. Гетерогенность структуры сложных компостов определяется в основном антропогенными факторами (Белюченко, 2013).

Важной спецификой многих отходов, особенно сельскохозяйственного производства, является значительная емкость их катионного обмена (ЕКО), зависящая от строения и гранулометрического состава смешанного субстрата (таблица 26).

Таблица 26 – Доля илистой фракции и уровень ЕКО в почве и некоторых отходах производства

Вариант	% фракции <0,1мм	ЕКО, мг-экв./100 г
Почва	0,1	62,4–72,9
Перегной	4,36	36,6–85,4
Фосфогипс	12,13	20,0–35,2
Осадки сточных вод	6,02	50,7–74,8
Дефекат	1,31	65,7–80,7
Отход винограда	1,00	30,5–42,6
Опилки	1,74	20,4–29,8
Птичий помет	8,42	45,4–67,2
Рисовая шелуха	10,72	21,8–28,1

Особенности взаимодействия разных отходов. Остановимся на анализе особенностей сложного компоста и характере взаимодействия различных отходов на фоне внесения органических удобрений (полуперепревший навоз). В почве частицы с размерами от 1 до 0,001 мм составляют ее илстую фракцию, а менее 0,25 мкм – относятся к коллоидам, которые вместе с илом определяют важнейшие

физические свойства формирующегося субстрата: твердость, способность к набуханию, липкость, поглотительную способность. Такие же физические свойства характерны и для сложного компоста, который приобретает их в отличие от почвы постепенно (Мельник, Славгородская, 2008; Муравьев, Белюченко, 2008).

Органические коллоиды в почве образуются в процессе разложения растений и животных, и потому в верхнем слое их больше и составлены они гуминовыми кислотами, фульвокислотами, лигнином, протеином, клетчаткой и другими органическими соединениями, включающими 10 основных элементов – С, О, Н, N, P, S, Ca, Mg, K, Na и в меньших количествах – Fe, Cu, Zn, Cl. Минеральные коллоиды почвы в основном состоят из алюмосиликатов, куда входят окись кремния (до 60 % и больше), окись Al (до 25 %), окись Fe (до 10 %) и относительно мало соединений Ca, Mg, Ti, Mn, K, Na, P, S, а также ряда микроэлементов – В, Zn, Co, Cu. В черноземе обыкновенном уровень ЕКО доходит до 70-80 мг-экв./100 г, что указывает на весьма благоприятный состав основных составляющих его ППК (Белюченко, 2013).

Уровень сложности компостов следует иметь в виду при учете состава севооборота, проектировании мелиорации почв (рН, валовый состав, обеспеченность питательными веществами), проблем их охраны и т. п. От вариабельности состава сложных компостов зависит их сложение, физические и химические свойства, продолжительность развития и функционирования при внесении в верхний слой почвы с точки зрения содержания органического вещества, изменения коллоидного состава, катионного обмена, устойчивости почвы, рН солевой вытяжки и т. д. Использование сложного компоста способствует снижению потерь органических веществ (углерода) и органического азота (Белюченко, 2013).

В сложном компосте емкость катионного обмена представлена минеральной и органической частями. При обычном хранении навоза отмечаются большие потери в нем азотных соединений, особенно аммиака, который находится в основном в газообразной форме и вместе с жижой стекает в грунт, в результате чего теряется важнейший элемент питания растений. Сохранение азота в навозе является важной практической и экологической задачей, и поэтому наши исследования были направлены на поиски приемов, предупреждающих его непродуктивные потери. В вегетационных опытах нами установлено, что потери азота в полуперепревшем навозе при обыч-

ном хранении достигают до двух третей и больше от первоначального его содержания. Компостирование полуперепревшего навоза в сложном компосте способствует, с одной стороны, ускорению его созревания, а с другой, заметному сохранению в нем органического вещества и общего азота (таблица 27) (Славгородская, Гукалов, 2011; Мельник, 2012; 2013).

Таблица 27 – Влияние сложного компоста на содержание азота и органического вещества (ОВ) в полуперепревшем навозе (% на сухое вещество)

Вариант	Срок хранения	Сохранение ОВ, %	Потери ОВ, %	N, %
Навоз	Свежий	92,0	10,1	0,72
Навоз полуперепревший	3 мес.	65,42	34,6	35,7
Навоз + сложный компост 15:1	3 мес.	72,83	27,3	25,6
Навоз + сложный компост 15:2	3 мес.	81,5	18,5	18,7

Рассмотрим влияние сложного компоста на потери органического вещества и азота при различных способах хранения полуперепревшего навоза. Наиболее эффективно применение сложного компоста проявилось с послойным размещением различных отходов. При чередовании слоев отдельных отходов происходит поглощение аммиака в связи с обменом катионов, например, в фосфогипсе на ион аммония. В расчете на 100 т полуперепревшего навоза в сложном компосте при участии фосфогипса сохраняется до 500 кг азота. Высокая емкость катионного обмена и органических веществ определяет значительное поглощение большей части аммония и его закрепление в гранулах. Сумма поглощенных оснований составляет от 30 до 40 мг-экв./100 г, что при замещении всего 30 % емкости поглощения минеральными катионами фосфогипса в компосте будет сохранять сульфата аммония примерно 10–12 мг-экв./100 г субстрата, или 100–120 кг на 1 т фосфогипса.

Весьма «плотным экраном» для проникновения газообразного аммиака и других соединений азота выступает фосфогипс и другие отходы, содержащие минеральные коллоиды, находящиеся в растворенной форме в жидкой фазе. Например, фосфогипс плохо пропускает через себя навозную жижу, его частицы набухают, поглощая влагу, в массе она прирастает на 60–70 %, не пропуская в подстилающий грунт жидкую часть полуперепревшего навоза. Вместе с азотными удобрениями задерживаются фосфогипсом также калий и углерод в силу их сильного

агрегирования с полуперепревшим навозом. Чем суше фосфогипс, тем выше положительный эффект от его компостирования с полуперепревшим навозом (Муравьев, Белюченко, 2008).

Внесение сложного компоста и его заделка в верхний слой почвы способствует улучшению ее гранулометрического состава, гумусированности, накоплению влаги, а также выравниванию в субстрате содержания органических веществ, азота и других элементов. Такие элементы, как калий и фосфор, скапливаются в понижениях, а на повышенных участках сложного компоста их существенно меньше, что сказывается на развитии и урожайности сельхозкультур. Внесение сложного компоста сильнее отражается, по нашим данным, на урожае корнеплодов и меньше – зерновых. Например, при внесении под свеклу разница в прибавке урожая составила до 60 ц/га, а у озимой пшеницы только 6–7 и реже до 12 ц/га (Белюченко, Славгородская, 2013).

В полевом опыте в 2011 г. продуктивность кукурузы (зерно) при внесении сложного компоста была на 24 ц/га больше, чем на контроле. У озимой пшеницы при понижении доли азота на 40 кг/га по сравнению с контролем урожай был больше на 5 ц/га в 2008, на 4 – в 2009, на 6 – в 2010 и на 5 ц/га в 2011 г. Столь заметные прибавки в продуктивности культур, безусловно, говорят об эффективности технологий с применением сложного компоста, что приведет к повышению и плодородия полей, и урожайности культур, и улучшению качества получаемого урожая (Мельник, Славгородская, 2010; Мельник, 2012; Белюченко, 2013).

Таким образом, большие различия в составе сложного компоста, что обычно связывается с неравномерностью перемешивания и соотношения составляющих отходов при подготовке, снижает его эффективность, а доведение всей массы до гомогенного состояния представляет собой важный фактор улучшения плодородия почвы и повышения продуктивности сельхозкультур при его внесении в верхний слой. Безусловно, первоначальная гетерогенность при смешивании различных отходов, а также их различия в геоморфологии – это важные факторы создания ценного сложного компоста. Чрезвычайно важна роль гомогенизации сложного компоста, без которой невозможно получить его равномерный качественный состав. Большую роль в формировании сложного компоста играют сами отходы, а их соотношение определяет разнообразие субстрата и сроки его готовности для использования в качестве мелиоранта.

Современный подход к снижению в почве содержания ТМ. Почвы хозяйства, где проводились исследования (Краснодарский край, Ленинградский район, ОАО «Заветы Ильича»), представлены в основном черноземом обыкновенным, который характеризуется следующими свойствами: содержание органического вещества в пределах 3,8–4,0 %, запасы гумуса в пахотном слое 97–102 т/га, содержание подвижных форм фосфора 2,5–4,0 мг/100 г, что заметно отличается от оптимальных значений, характерных для культурных черноземных почв (таблица 28). Выявлено низкое содержание органического вещества и запасов гумуса, отмечены средний уровень содержания подвижных форм фосфора и относительное снижение содержания тонкодисперсных фракций в пахотном слое почвы. Внесение сложного компоста существенно меняет уже через год основные агрономические характеристики почвы.

Таблица 28 – Состояние верхнего слоя чернозема обыкновенного в агроландшафте

Показатель	Фактическое содержание	Через год после внесения сложного компоста
Гумус, %	3,8–4,0	4,7
Запасы гумуса в слое 0–20 см, т/га	97,0–102,0	145
Подвижный фосфор, мг/100 г	2,5–3,0	3,7
Азот общий, %	> 0,35	0,38
Доля обменного кальция от ЕКО, %	62,0–65,0	80
рН водной вытяжки	8,3–8,4	7,2
Физическая глина, %	50,0–55,0	60
Агрономические ценные агрегаты, %	60,0–62,5	65
Водопрочные агрегаты > 0,25 мм, %	45,0–48,0	62
Плотность, г/см ³	1,27–1,30	1,15

За последние 10 лет равнинные территории хозяйства потеряли 7–8, а склоновые – 15–20 см гумусового горизонта, что связано прежде всего с развитием эрозионных процессов и дегумификацией почвенного покрова. Большое значение имеет содержание в почве гумусовых веществ, важную роль в котором играет минеральный состав и соотношение между характеристиками различных групп соединений. Минеральный состав высокодисперсной части сложного компоста определяется подстилающими породами, которые

представлены на территории Центральной части России в основном четвертичными отложениями.

Период исследований концентрации тяжелых металлов в верхнем слое почвы мы условно разделили на 2 этапа: 2001–2006 гг. – основу технологии составляли старые методы обработки почвы: практически ежегодная пахота всех площадей, частые культивации междурядий пропашных культур и ежегодное внесение в почву минеральных удобрений; в 2007–2012 гг. (условно 2-й этап) перешли на шестипольный севооборот с пахотой только под сахарную свеклу и разовым внесением сложного компоста (в основном под кукурузу или озимую пшеницу) и ежегодным внесением минеральных удобрений. Провели сравнение показателей баланса тяжелых металлов при разных технологиях выращивания культур (Алексеев, 1987).

Комбинирование полезных характеристик отходов в зависимости от экологического состояния почвенного покрова позволяет создавать сложные компосты, внесение которых в почву существенно дополняет и улучшает ее физические, химические и биологические свойства и функционально усиливает их экологические взаимосвязи. Такой подход к восстановлению экологических функций почвы является серьезной альтернативой существующим в настоящее время агротехнологиям возделывания сельскохозяйственных культур. На стационарном полигоне многолетнего мониторинга (2001–2006 гг.) выявлено ухудшение основных свойств почвы, что отрицательно сказалось на ее плодородии и продуктивности сельскохозяйственных культур.

В сентябре 2007 г. были заложены полевой и производственный опыты по изучению влияния модернизации технологических приемов возделывания сельскохозяйственных культур. В полевом опыте под посев озимой пшеницы был внесен сложный компост на основе смеси отходов промышленных и сельскохозяйственных производств из расчета 65–70 т/га. Площадь полевого опыта составила 1 га: каждый вариант занял 3340 м², каждая повторность составила по 660 м², число повторностей 5.

Сложный компост включал в себя следующие компоненты из расчета на 1 га: полуперепревший навоз КРС (50 т), фосфогипс (7 т), пшеничную и ячменную солому (2 т), дефекаат (2 т), древесные опилки (1 т), шелуху семян подсолнечника (1 т), по 1 т/га – отходы сахарной свеклы, выжимки овощных культур, золу, растительные остатки кукурузы, смет отходов очистки семян и фуража с фермы.

Площадь производственного участка с внесением сложного компоста и минеральных удобрений составила 25 га; с внесением минеральных удобрений и полуперепревшего навоза – 25 га и контрольного участка – внесение минерального удобрения NP – 25 га. За период с 2007 по 2012 гг. севооборот производственного участка был занят следующими сельскохозяйственными культурами: 1-й год – озимая пшеница, 2-й год – кукуруза на зерно, 3-й год – озимая пшеница, 4-й год – сахарная свекла, 5-й год – озимая пшеница. Число проб в полевом опыте составило 30 по почвам и растительности в каждой повторности и 150 по каждому варианту; в производственном опыте по каждому варианту отбиралось и обрабатывалось по 100 проб почвы.

1. Влияние сложного компоста на физические, химические и биологические свойства почвы и растений. Сложный компост, представляющий искусственную смесь органических, минеральных и органо-минеральных отходов сельскохозяйственного, промышленного, бытового и природного происхождения, способен улучшать физические, химические и биологические свойства верхнего слоя почвы через обогащение его дисперсными и коллоидными системами (Мельник и др., 2013). Сельскохозяйственные отходы включают все виды и формы навоза (КРС, свиней, куриный помет, твердый, жидкий), остатки растениеводческой продукции (солома пшеницы, стебли кукурузы, подсолнечника, листья сахарной свеклы и овощей, выжимки плодов и т. д.); промышленные отходы – твердые или жидкие минеральные отходы переработки естественного сырья (фосфогипс, галиты, сильвиниты, известковая мука и др.); отходы быта – сточные воды и их пастообразные осадки. Природные отходы имеют в основном органическое происхождение и представляют собой опад листьев, плодов, однолетние побеги кустарников, деревьев, ветошь трав, а также минеральные материалы осыпей и разрушения горных пород.

2. Сложный компост и агрохимические свойства почвы. В результате проведенных исследований было установлено, что прибавка в содержании органического вещества в первый год внесения сложного компоста по вариантам составила 0,52 % при существенном снижении его минерализации благодаря коагуляции минеральных коллоидов фосфогипса, дефеката и органических коллоидов полуперепревшего навоза КРС, растительных остатков и почвы (таблица 29). Это создало лучшие условия для стабилизации уровня распада органического вещества в почве опытного участка с внесением сложного компоста по

сравнению с контролем в первый год исследования и весьма убедительно отразилось на исследуемом показателе на второй и последующие 5–6 лет действия сложного компоста. Так, содержание органического вещества в почве опытного варианта в посевах кукурузы в 2009 г. составило $4,03 \pm 0,07$, тогда как на контроле – $3,46 \pm 0,05$ %, а в посевах озимой пшеницы в 2010 г. соответственно $4,26 \pm 0,09$ и $3,52 \pm 0,07$ %. В последующем в посевах сахарной свеклы (2011 г.) и озимой пшеницы (2012 г.) на участке со сложным компостом наблюдалось некоторое уменьшение в черноземе обыкновенном содержания органического вещества, однако его уровень превышал контрольный вариант на 0,4–0,5 %.

Таблица 29 – Агрохимические свойства смесей через 5 месяцев компостирования

Вариант	Органическое вещество, %	N, %	NH ₄ ⁺ , %	P _{общ.} , %	рН	CaO, %	SO ₄ ²⁻ , %
			на исходную влажность				
Контроль (NP)	$4,63 \pm 0,95$	$0,48 \pm 0,01$	$0,05 \pm 0,01$	$0,18 \pm 0,01$	$8,43 \pm 0,15$	$0,14 \pm 0,01$	$0,03 \pm 0,01$
Полуперепревший навоз КРС	$5,22 \pm 0,91$	$0,69 \pm 0,01$	$0,07 \pm 0,01$	$0,27 \pm 0,01$	$8,18 \pm 0,14$	$0,33 \pm 0,01$	$0,04 \pm 0,01$
Сложный компост	$6,08 \pm 1,01$	$0,67 \pm 0,01$	$0,10 \pm 0,01$	$0,33 \pm 0,01$	$6,51 \pm 0,10$	$0,42 \pm 0,01$	$0,12 \pm 0,01$

В процессе компостирования различных по физическому и химическому составу отходов происходит ослабление процессов денитрификации и заметное повышение концентрации органического вещества и азота в аммонийной форме. Содержание аммонийного азота в процессе приготовления сложного компоста за счет добавления фосфогипса повысилось и к концу завершения его формирования в среднем составило $0,10 \pm 0,01$, тогда как в навозе КРС – $0,06 \pm 0,01$ %. При смешивании навоза с фосфогипсом и другими отходами, участвующими в образовании агрегатов, активизируется процесс структурообразования сложного компоста, улучшаются его физико-химические свойства и качественный состав ППК.

3. *Наличие патогенов в органических удобрениях.* При закладке опыта в полуперепревшем навозе КРС были обнаружены следующие виды паразитов: *Ascaris suum*, *Oesophogostomum dentatum*,

Strongyloides ransomi, *Trichocephalus suis*, представляющих класс *Nematoda*. На период закладки опыта содержание яиц указанных паразитов по вариантам колебалось в пределах ошибки опыта. Через месяц в опыте отмечено снижение количества жизнеспособных яиц всех паразитов. Наиболее устойчивыми оказались *Ascaris suum* и *Oesophogostomum dentatum*. Через два месяца компостирования навоза в обоих вариантах содержание яиц паразитов резко сократилось и в опытном варианте остались живые яйца паразитов только у *Ascaris suum* в количестве 4,2 шт./кг массы; к четвертому месяцу на контрольном варианте число яиц этого паразита составило в среднем 0,7, а в опытном варианте – 0,05 шт./кг массы. Через 5 месяцев компостирования в варианте со сложным компостом жизнеспособных яиц *Ascaris suum* не сохранилось.

4. *Сложный компост и агрофизические свойства почвы.* Гранулометрический состав является одним из важных признаков качественной оценки почвы, оказывающим влияние на все ее свойства – тепловые, водные, воздушные, физико-химические, биохимические, обеспечение растений элементами питания и уровень плодородия в целом. Экологическая значимость гранулометрического состава определяется прежде всего связанным с ним богатством и бедностью почвы. По мере возрастания количества илистых частиц увеличивается и плодородие почвы.

Чернозем обыкновенный на опытном поле в хозяйстве во все годы исследований (2007–2012) имел хорошее агрегатное состояние. По полученным нами данным, содержание агрономически ценных агрегатов и коэффициент структурности почвы на контроле (без внесения сложного компоста) был ниже по сравнению с вариантом, где вносился сложный компост. Содержание агрономически ценных агрегатов в первый год исследований в опытном варианте (с внесением сложного компоста) был в среднем на $5,20 \pm 0,23$ % выше по сравнению с контролем. Коэффициент структурности, следовательно, также статистически значимо увеличивался и составлял $1,52 \pm 0,03$ на контроле и $1,89 \pm 0,04$ в варианте с внесением сложного компоста соответственно.

Внесение сложного компоста в почву способствует усилению агрегирования в ее корнеобитаемом слое, созданию благоприятной комковато-зернистой структуры, которая в свою очередь оптимизирует условия для роста и развития сельскохозяйственных растений.

Усиление агрегации почвы является важным процессом для сокращения потерь ее органического вещества, поскольку образующиеся агрегаты выполняют роль основного хранителя органического углерода (Славгородская, 2010; 2011; 2012; Белюченко, 2014).

5. *Сложный компост и биологические свойства почвы.* Сравнительный микробиологический анализ почвы участка с внесением сложного компоста показал, что доминирующее положение здесь занимает прокариотный комплекс, численность которого на несколько порядков превышает численность микроскопических грибов. Общая численность бактерий на опытных участках в период проведения исследований составляли от $8 \cdot 10^{-6}$ до $24 \cdot 10^{-6}$ КОЕ/г (таблица 30).

Таблица 30 – Влияние сложного компоста на численность эколого-трофических групп микроорганизмов

Вариант опыта	Микроорганизмы				Микромицеты, $\cdot 10^{-3}$ КОЕ/г
	Аммонифицирующие, $\cdot 10^{-6}$ КОЕ/г	Амилотитические, $\cdot 10^{-6}$ КОЕ/г	Олиготрофные, $\cdot 10^{-5}$ КОЕ/г	Нитрифицирующие, титр	
Контроль (NP)	16	8	34	10^{-5}	6
Полуперепревший навоз КРС	19	12	34	10^{-4}	8
Сложный компост	24	16	38	10^{-3}	12

6. *Сложный компост и продуктивность растений.* Сравнивая состояние побегов озимой пшеницы в фазе молочно-восковой спелости по вариантам опыта, можно отметить, что на опытном участке зеленых листьев у значительной части побегов сохранилось больше, чем на контроле. Окраска листьев более темная, желтеть начинают только верхушки средних и верхних листьев, а на контрольном участке все верхние листья к этому времени уже имели желтую окраску. Различалась по вариантам опыта и окраска колосьев: в варианте с внесением сложного компоста они имели светло-зеленые колоски, а на контроле сильно пожелтевшие.

В варианте с использованием сложного компоста количество побегов в расчете на единицу площади значительно превысило контрольный вариант и составило соответственно 585 и 396 на 1 м^2 (таблица 31).

Таблица 31 – Влияние сложного компоста на развитие растений озимой пшеницы, 2008 г.

Показатель	Среднее	Стандартная ошибка	Коэффициент вариации, %	Максимум	Минимум
Сложный компост					
Количество побегов/м ²	585,0	27,14	31,74	647,4	495,8
Колосков в колосе, шт.	17,1	0,36	11,15	20,0	15,2
Число колосьев/м ²	529,0	27,13	32,14	554,7	509,6
Масса 1000 зерен, г	40,2	0,17	21,84	41,8	39,6
Полуперепревший навоз КРС					
Количество побегов/м ²	417,3	25,3	31,25	650,3	480,5
Колосков в колосе, шт.	18,3	0,37	12,17	20,7	15,6
Число колосьев/м ²	429,3	18,32	31,19	550,4	500,3
Масса 1000 зерен, г	40,1	0,17	20,19	40,9	38,7
Контроль (NP)					
Количество побегов/м ²	396,0	24,72	35,46	475,5	342,7
Колосков в колосе, шт.	18,9	0,39	14,17	22,0	15,8
Число колосьев/м ²	389,0	14,75	27,14	421,2	368,5
Масса 1000 зерен, г	40,4	0,16	20,9	42,6	39,9

Анализ количественных показателей растений озимой пшеницы, отобранных перед уборкой урожая в июле 2010 г., также показал наибольшее количество колосьев на 1 м² в опытном варианте со сложным компостом. При сравнении массы 1000 зерен (г) отмечено более высокое ее значение в варианте с внесением сложного компоста во все годы исследований, что в свою очередь отразилось и на урожайности озимой пшеницы.

Сравнительная оценка экономических показателей технологии возделывания сахарной свеклы на четвертый год действия сложного компоста показала ее экономическую эффективность. При выращивании сахарной свеклы повышение ее себестоимости на 13,7 % увеличивает уровень рентабельности на 26,7 процентных пункта по сравнению с контрольным вариантом (таблица 32).

7. *Баланс тяжелых металлов в агроландшафте.* Сочетание полезных характеристик отходов в зависимости от экологического состояния почвенного покрова позволяет создавать разнообразные сложные компосты, внесение которых в почву существенно дополняет и улучшает ее физические, химические и биологические свой-

ства, функционально усиливает экологические взаимосвязи в ней. Такой подход к восстановлению экологических функций почвы является серьезной альтернативой существующим в настоящее время агротехнологиям возделывания сельскохозяйственных культур, основанных на использовании мощной техники, больших доз минеральных удобрений и пестицидов.

Таблица 32 – Показатели технологии возделывания сахарной свеклы в ОАО «Заветы Ильича» Ленинградского района, 2011 г.

Показатель	Сахарная свекла (2011 г.)	
	Контроль	Сложный компост
Урожайность, ц/ га	326,3	453,7
Прибавка урожая, ц/ га	–	+127,4
Цена реализации 1 ц, руб.	150	150
Стоимость валовой продукции, руб. в т.ч. дополнительной	48945 –	68055 19110
Себестоимость 1 ц, руб.	110,0	91,3
Производственные затраты на 1 га, руб. в т.ч. затраты на внесение компоста, на уборку дополнительного урожая, сумму дополнительных затрат	35893 – – –	41407,2 422,5 5091,7 5514,2
Чистый доход с 1 га, руб. в т.ч. дополнительный	13052 –	26647,8 13595,8
Уровень рентабельности, %	36,4	63,1

Конкретные практические мероприятия должны отличаться переходом на взаимовыгодный характер отношений человека и природы, направленный, с одной стороны, на приостановление деградиционных процессов в агроландшафтах и их основных составляющих (почвенного и растительного покровов), а с другой – на получение экологически безопасной продукции.

Результаты исследований показали, что использование сложного компоста в качестве комплексного мелиоранта чернозема обыкновенного существенно влияет на агрономические свойства почвы, функционирование почвенных организмов, урожайность сельскохозяйственных культур и качество их продукции. Отмечено улучшение почвенной структуры чернозема обыкновенного и его противозрозионной способности. Разуплотнение пахотного слоя почвы под воз-

действием сложного компоста способствует интенсивному развитию подземных структур растений сельскохозяйственных культур, а улучшение его водно-физических свойств (накопление и сохранение воды в почве) сказывается на формировании благоприятных условий их вегетации.

8. *Баланс ТМ при внесении минеральных удобрений.* При выращивании сельскохозяйственных культур в севообороте с внесением минеральных удобрений (2001–2006 гг.) в верхнем слое чернозема обыкновенного концентрация отдельных элементов в почве заметно превышает их вынос. Наоборот, доля цинка и марганца снижается, что, очевидно, связано с тем, что указанные элементы выступают важными источниками питания, особенно технических культур (Муравьев, Белюченко, 2008). Концентрация тяжелых металлов в верхнем слое почвы определяется уровнем содержания в нем гумуса, гранулометрическим составом, емкостью поглощения отдельных элементов и другими свойствами. Для значительной части элементов «минеральный» вариант их накопления в почве превышает вынос, способствуя их аккумуляции в верхнем слое почвы за относительно короткий период (2001–2006 гг.) (таблица 33).

Таблица 33 – Баланс тяжелых металлов в зерново-пропашном севообороте на черноземе обыкновенном при внесении в почву минеральных удобрений, кг/га в год (ОАО «Заветы Ильича», среднее за 2001–2006 гг.)

Показатели	Co	Zn	Cu	Mn	Pb	Cd	Ni
Поступление элементов в почву, кг/га							
Всего поступило, кг/га	27,12	165,09	56,08	1528,20	45,62	1,03	116,63
Вынос элементов из почвы, кг/га							
Всего вынос, кг/га	0,30	4,96	2,42	7,52	1,12	0,15	0,92
Баланс, кг/га	26,81	160,13	53,66	1520,69	44,50	0,88	115,71

При сравнении содержания тяжелых металлов в верхнем слое почвы установлено, что в течение 5 лет «минерального варианта» происходит ежегодное увеличение количеств меди, свинца, кадмия и никеля; остальные металлы к пятому году несколько снижают свое содержание в верхнем слое почвы. Главным источником поступления тяжелых металлов в агроландшафте являются минеральные удобрения, с которыми в почву их поступает около 90 %, включая Zn – 91, Cd – 87, Cu – 89, Pb – 84, Mn – 92, Ni – 86, Co – 8 %. Важной статьей

баланса тяжелых металлов является их вынос с отчуждаемым урожаем. Ежегодное накопление в почве ТМ составляет от десятых до сотых долей от их фонового содержания в черноземе обыкновенном, и большого негативного влияния они пока не оказывают.

Относительно большое поступление тяжелых металлов в почву характерно для меди, кадмия, свинца и никеля. Внесение органических удобрений за период 2001–2006 гг. особого влияния не имело, поскольку оно за этот период было незначительным (5–7 т/га). Значительное поступление ряда тяжелых металлов отмечено при внесении фосфорных удобрений, у которых их содержание в примесях (особенно цинка, марганца, никеля и меди) было относительно высоким. Обработка почвы, особенно пахота, культивации, а также посев и уборка культур оказали существенное влияние на увеличение в субстрате содержания цинка (свыше 0,15 кг/га), марганца (до 0,07), свинца (до 0,08 кг/га). При внесении азотных удобрений повышается содержание цинка (0,45), меди (свыше 0,1), марганца (0,3), никеля (0,12) и свинца (0,15 кг/га). Калийные удобрения в среднем на 1 га увеличивают количество тяжелых металлов до 30 кг/га, и их привнос отразился в основном на содержании цинка (свыше 0,2) и марганца (0,74 кг/га).

Значительным поступлением ТМ в почву выделяется пыль, доля которой с 2001 по 2006 г. составила в среднем 143 кг/га в год. В оседающей пыли отмечается высокая концентрация цинка (свыше 2 кг/га); марганца (свыше 3), а концентрации меди (свыше 0,5), никеля (0,6), кадмия (0,15), свинца (0,08) и кобальта (0,02 кг/га) существенно ниже. Привнос ТМ с посевным материалом был незначительным. Можно отметить только цинк, марганец и медь, содержание которых превысило 0,1 кг/га.

В почву поступает определенное количество ТМ с отходами соломы: марганца около 1 кг/га и цинка до 0,1 кг/га. Поступление остальных ТМ было весьма незначительным. С корнями растений в среднем поступило в почву до 0,6 кг/га марганца, до 0,1 цинка и никеля. Остальные металлы поступили на уровне сотых и тысячных долей кг/га. В целом содержание ТМ в почве широко варьировало по отдельным элементам. Поступление в почву ТМ с удобрениями, атмосферными осадками и другими составляющими по разным элементам различалось в довольно больших пределах.

Важное значение представляют выносы элементов из почвы, что в значительной степени зависит от урожая отдельных культур. Основная часть выноса ТМ с урожаем приходится на пшеницу, посевы которой на зерно составили 40 % при урожае 50 ц/га, подсолнечник, площади под которым составили 25 % при урожае 22 ц/га, кукурузу на зерно,

соответственно 10 % и 70 ц/га, корнеплоды свеклы, 15 % и 350 ц/га. Площади, занимаемые люцерной на зеленую массу, в среднем составили 15 %, а урожай ее зеленой массы – 180 ц/га. Значительная часть выноса тяжелых металлов приходится на ветровую и водную эрозии.

9. *Баланс ТМ при внесении сложного компоста.* В 2006 г. нами были начаты экспериментальные исследования по приготовлению сложного компоста на 2007 г. с включением полуперепревшего навоза КРС и свиней, фосфогипса и других промышленных и сельскохозяйственных отходов для получения сложной смеси, обогащенной макроэлементами (серой, кальцием и фосфором) и многими микроэлементами. Полученные результаты показали перспективность получения эффективного сложного удобрения, обогащенного органическим веществом, с одной стороны, и комплексным набором минеральных элементов и их смешанным коллоидным составом, с другой (Белюченко и др., 2012). Ряд элементов (Ca, S, P) и микроэлементов (особенно Co, Mn, Ni, Zn и другие) и значительное содержание азота благоприятствуют улучшению водного и воздушного режимов почвы, переходу в труднодоступное состояние основных ТМ и неметаллов. Для исследования периодически отбирались образцы верхнего слоя почвы на полигоне мониторинга.

Результаты внедрения севооборота на основе использования упрощенной технологии подготовки почвы по типу посев – уборка с внесением сложного компоста (таблица 34) показали, что по сравнению с 2006 накопление к 2012 г. кобальта, свинца и меди было незначительным. Несколько повысилось накопление марганца, цинка и никеля. Сравнительное изучение тяжелых металлов в верхнем слое почвы указывает на возможности поиска условий снижения их концентрации.

Таблица 34 – Валовые запасы ТМ в верхнем слое почвы в 2001–2012 гг. (кг/га)

Год анализа	Co	Zn	Cu	Mn	Pb	Cd	Ni
2001	22,46	155,90	47,08	1461,66	40,58	0,23	98,66
2006	25,54	145,30	54,00	1454,10	45,38	0,44	104,02
2012	26,81	158,40	55,08	1509,00	43,80	0,70	115,00
Среднее за 2001–2006 гг.	0,60	–2,10	1,38	–1,51	0,96	0,04	1,07
Среднее за 2007–2012 гг.	0,25	2,62	0,22	10,92	–0,32	0,05	2,19

Результаты практического испытания сложных компостов показали перспективность использования различных органических и

минеральных отходов в качестве сырья для получения удобрения, сдерживающего накопление валовых запасов ТМ, снижающего их накопление растениями и заметно улучшающего физические свойства почвы (Белюченко, Мельник, 2010).

Сложный компост, в котором регулируется кислотность и уровень содержания органического вещества, можно получить при смешивании определенного количества навоза, отходов растениеводства, а также отходов химического производства (например фосфогипса), внося его в почву после созревания в позднелетний и раннеосенний периоды. Такой компост способен поддерживать влажность в верхнем слое на 12 % и выше по сравнению с контролем, что определенным образом сказывается на переводе растворенных форм ТМ в труднодоступные за сравнительно короткий период (таблица 35).

Таблица 35 – Баланс тяжелых металлов в агроландшафте зернопропашного севооборота на черноземе обыкновенном с использованием сложного компоста в ОАО «Заветы Ильича», кг/га в среднем за 2007–2012 гг.

Показатели	Co	Zn	Cu	Mn	Pb	Cd	Ni
Поступление элементов в почву							
Всего поступило, кг/га	26,875	164,420	55,980	1518,65	43,920	0,840	115,720
Вынос элементов из почвы							
Всего вынос, кг/га	0,300	4,430	2,140	6,150	0,960	0,156	0,750
Баланс, кг/га	26,580	159,960	53,840	1512,50	42,960	0,684	114,970

Таким образом, с учетом вышеизложенного при весьма заметной трансформации верхнего слоя почвы под влиянием человека возможна организация научно обоснованной системы по борьбе с их загрязнением ТМ. Переход на подготовку сложных компостов и их использование в севообороте по 6-летнему типу будет существенно влиять на стабильность процессов осаждения растворимых ТМ и поддержания концентрации их подвижных форм на относительно низком уровне (Белюченко, 2005; Белюченко, Никифорова, 2012).

Баланс ТМ в изучаемом 6-польном севообороте рассчитывался с учетом вновь разработанного плана внесения удобрений на основе новой технологии: сокращение обработки почвы и переход на двухзвенный цикл выращивания сельхозкультур (посев – уборка). Изменение технологии выращивания растений, включая и систему удоб-

рений, существенно улучшает количество и качество их продукции (Белюченко, 2011).

Содержание подвижных форм тяжелых металлов в почвах хозяйства и районах степной зоны края. Изучение распределения тяжелых металлов в пределах одного хозяйства (его площадь свыше 8000 га) на основе отбора проб почвы с шагом 500×500 м при площадных съемках, выполненных в основном в 2001 и 2006 гг. по верхнему слою почвы, а также мониторинг их динамики по сезонам года (площадь мониторинга 450 га) дает возможность анализа полученных результатов. Учитывая, что 22 района северной зоны края характеризуются сходными условиями почвообразования, хозяйствования и использования земель, климатическими и природными параметрами, мы поставили задачу сравнения статистических материалов, полученных в хозяйстве «Заветы Ильича», с данными соответствующих районов. Полученные результаты побудили нас проанализировать статистические показатели среднего содержания подвижных форм свинца и цинка в хозяйстве «Заветы Ильича» в сравнении с другими административными районами степной зоны края, обследованными нами в 2006 г. (таблицы 36, 37).

Сравнение среднего содержания подвижных форм цинка в почве агроландшафта ОАО «Заветы Ильича» и административных районов степной зоны края было выполнено с использованием t -критерия Стьюдента с вероятностью $\alpha = 0,05$. Аналогичная работа выполнена и для свинца.

Было установлено, что практически во всех случаях $|t_{набл}| < t_{крит}(\alpha, f)$ принимается нулевая гипотеза о том, что на 5 % уровне значимости нет различий между показателями среднего содержания подвижных форм свинца в почвах агроландшафта ОАО «Заветы Ильича» и других районов степной зоны края.

С учетом анализа полученных результатов можно сделать следующие выводы:

1. Сельскохозяйственное производство сопровождается образованием жидких, газообразных и твердых отходов, выход которых за пределы объектов оказывает влияние на почвы, водные системы, растения, животных, что указывает на необходимость разработки мероприятий по охране ландшафтов.

2. Для твердых отходов (экскременты, удобрения) предложена система мероприятий по их широкому использованию в сельскохо-

зайтвенном производстве (промышленное использование для производства органических и органоминеральных удобрений).

3. Для сбросов отмечается необходимость совершенствования системы очистки и остановки работы СТФ, для выбросов и сбросов – применение современных методов очистки и их промышленной переработки; в целом предложена система охраны ландшафтных систем и прежде всего почв.

Таблица 36 – Статистические характеристики среднего содержания в почве подвижных форм цинка по районам степной зоны края

Административный район	Кол-во проб	Среднее значение	Стандартная ошибка	Доверительный интервал при $P_{0,05}$		$t_{набл}$	$t_{крит}$
				нижний	верхний		
1. х. Коржи	106	5,09	0,18	4,73	5,45	-	-
2. Брюховецкий	52	4,64	2,29	20,03	29,24	3,17	1,98
3. Выселковский	67	4,88	0,92	10,03	13,73	3,87	1,97
4. Динской	86	4,59	1,51	10,59	16,59	3,60	1,97
5. Ейский	101	4,27	1,32	6,65	11,90	3,34	1,97
6. Кавказский	101	4,86	0,93	13,03	16,70	3,03	1,97
7. Калининский	94	4,86	0,93	13,03	16,70	4,03	1,97
8. Каневской	60	5,02	0,46	4,91	6,73	4,15	1,97
9. Кореновский	67	4,71	0,72	3,27	6,15	4,06	1,97
10. Красноармейский	60	5,07	0,55	4,29	6,46	4,06	1,97
11. Крыловской	97	4,69	1,52	10,66	16,73	3,72	1,97
12. Куцевский	84	4,31	0,20	1,91	2,72	4,01	1,97
13. Ленинградский	77	4,89	1,20	11,49	16,29	3,92	1,97
14. Новопокровский	72	4,15	0,73	6,70	9,59	3,44	1,97
15. Павловский	56	4,58	0,67	6,24	8,91	4,37	1,97
16. Приморско-Ахтарский	45	5,00	0,53	3,94	6,06	4,02	1,97
17. Славянский	71	5,09	0,43	4,24	5,95	5,00	1,97
18. Староминский	79	5,09	0,41	4,86	6,52	5,17	1,97
19. Тбилисский	63	4,82	1,66	17,48	24,17	4,40	1,98
20. Тимашевский	56	4,21	0,76	5,70	8,72	3,32	1,97
21. Тихорецкий	52	4,09	1,66	19,79	26,39	3,19	1,98
22. Усть-Лабинский	67	4,47	1,55	13,38	19,57	3,92	1,97
23. Старощербиновский	86	5,05	0,95	7,15	10,96	4,54	1,97

Таблица 37 – Статистические характеристики среднего содержания подвижных форм свинца по районам степной зоны края

Административный район	Кол-во проб	Среднее значение	Стандартная ошибка	Доверительный интервал при $P_{0,05}$		$t_{набл}$	$t_{крит}$
				нижний	верхний		
1. х. Коржи	106	3,37	0,05	3,27	3,48	-	-
2. Брюховецкий	52	3,23	0,11	1,51	1,94	2,75	2,00
3. Выселковский	67	2,25	0,07	2,23	2,53	2,22	2,02
4. Динской	86	2,68	0,10	2,48	2,88	2,65	2,09
5. Ейский	86	2,96	0,13	1,71	2,22	2,08	2,09
6. Кавказский	101	3,22	0,09	1,63	2,01	2,43	2,57
7. Калининский	65	2,57	0,09	1,39	1,74	2,03	2,02
8. Каневской	94	3,16	0,04	1,08	1,25	3,22	2,18
9. Кореновский	60	2,92	0,10	1,73	2,12	2,55	2,01
10. Красноармейский	67	2,01	0,11	1,79	2,22	1,32	2,02
11. Крыловской	60	3,23	0,15	2,93	3,54	3,11	2,01
12. Куцевский	97	3,14	0,17	3,60	4,28	3,02	2,26
13. Ленинградский	61	2,91	0,16	2,59	3,23	2,34	2,01
14. Новопокровский	84	1,95	0,07	1,81	2,08	1,73	2,07
15. Павловский	92	3,08	0,13	3,12	3,64	3,11	2,14
16. Приморско-Ахтарский	77	2,61	0,09	1,43	1,78	1,87	2,05
17. Славянский	72	2,51	0,14	2,23	2,79	1,66	2,03
18. Староминский	56	3,39	0,22	2,96	3,83	3,01	2,01
19. Тбилисский	45	3,33	0,19	3,44	4,21	3,32	2,00
20. Тимашевский	71	2,44	0,13	1,19	1,69	1,63	2,03
21. Тихорецкий	79	3,40	0,15	3,40	3,99	2,22	2,05
22. Усть-Лабинский	63	2,83	0,10	2,63	3,02	2,58	2,02
23. Старощербиновский	56	2,96	0,22	3,51	4,40	2,33	2,01

4. Поддержание экологически чистой почвенной среды подразумевает системное и обоснованное применение механических, химических и технологических методов снижения количества тяжелых металлов с использованием различных вариантов фиторемедиации, включая фитостабилизацию и фитоэкстракцию (экскавация загрязненного слоя почвы и ее транспортировка, химическая обработка, выщелачивание из почвы кислых растворов и т. д.).

5. Различий между показателями среднего содержания подвижных форм цинка и свинца в почвах агроландшафта хозяйства и административных районов степной зоны Краснодарского края во всех случаях $|t_{набл}| < t_{крит}(\alpha, f)$ на 5 % уровне значимости не отмечено, что дает нам возможность контроля изучаемых элементов по их концентрации в любом пункте.

6. Экологические закономерности устойчивости и продуктивности агроландшафтов в целом при изменении погодных условий, физических, химических, включая тяжелые металлы и других загрязнителей почвенного покрова, а также биологических особенностей их лесопосадок пока еще находятся в стадии проработки и пока без четкого выделения отдельных позиций.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. А. с. № 1753978, Российская Федерация, Способ создания полидоминантных пастбищ / И. С. Белюченко; заявка 4649215; зарег. в Гос. реестре изобретений 15.04.1992.
2. Антоненко Д. А. Отходы производства и потребления как сырьевая основа сложных компостов / Д. А. Антоненко, И. С. Белюченко // Экол. вестник Сев. Кавказа. – 2014. – Т. 10. – № 3. – С. 14–24.
3. Атлавините О. П. Экология дождевых червей и их влияние на плодородие почвы в Литовской ССР / О. П. Атлавините – Вильнюс : Москлас, 1975. – 202 с.
4. Безбородов Г. А. Влияние численности дождевых червей на водопроницаемость сероземов / Г. А. Безбородов, Р. А. Халбаева // Почвоведение. – 1985. – № 12. – С. 83–86.
5. Белик Н. Л. Агрофитоценозы, их строение и биологические основы повышения продуктивности / Н. Л. Белик // Биология и экология культурных растений. – Тамбов, 1994. – С. 1–9.
6. Белюченко И. С. Канавалия (*Canavalia ensiformis* (L) DC) и некоторые особенности ее культуры : дис. ... канд. с.-х. наук / И. С. Белюченко. – М., 1966. – 24 с.
7. Белюченко И. С. Злаковые кормовые растения тропического пояса / И. С. Белюченко. – М. : УДН, 1969. – Ч. 1. – 318 с.
8. Белюченко И. С. Злаковые кормовые растения тропического пояса / И. С. Белюченко. – М. : УДН, 1970. – Ч. 2 – 211 с.
9. Белюченко И. С. Сравнительная оценка кормовых достоинств тропических бобовых растений / И. С. Белюченко // Вопр. троп. и субтроп. сельского х-ва. – М. : УДН, 1969. – Вып. 2. – С. 110–134.
10. Белюченко И. С. Интенсивность фотосинтеза и активность дыхания субтропических кормовых растений / И. С. Белюченко // Вопр. троп. и субтроп. сельского х-ва. – М. : УДН, 1975. – Вып. 7. – С. 123–134.
11. Белюченко И. С. Влияние удобрений на рост и развитие кормовых растений тропиков и субтропиков / И. С. Белюченко // Вопр. троп. и субтроп. сельского х-ва. – М. : УДН, 1975. – Вып. 7. – С. 135–152.
12. Белюченко И. С. Паспалум расширенный – ценное пастбищное растение для влажных субтропиков СССР // Новые культуры в

народном хозяйстве и медицине : Материалы науч. конф. – Киев, 1976. – Ч. II. – С. 56–57.

13. Белюченко И. С. Значение консорциев в организации биоценозов / И. С. Белюченко // Биологические науки. – 1976. – № 1. – С. 71–77.

14. Белюченко И. С. О консортивных связях тропических злаков / И. С. Белюченко // Значение консорт. связей в организации биогеоценозов. – Пермь, 1976. – С. 51–54.

15. Белюченко И. С. Некоторые аспекты создания полидоминантных пастбищ круглогодичного использования в субтропиках СССР / И. С. Белюченко // Физиол. основы растениеводства и проблемы интенсивного использования земель. – Душанбе, 1977. – С. 11–14.

16. Белюченко И. С. Особенности отрастания паникоидных и эрагостоидных многолетников / И. С. Белюченко // Материалы 13-го Междунар. конгр. по луговодству. – Лейпциг, 1977. – С. 107–116.

17. Белюченко И. С. Особенности структуры урожая монодоминантных травостоев некоторых многолетников / И. С. Белюченко // Вопр. троп. и субтроп. сельского х-ва. – М. : УДН, 1978. – Вып. 11. – С. 13–354.

18. Белюченко И. С. К вопросу об изучении и внедрении в производство тропических злаков на юге СССР / И. С. Белюченко // Биология кормовых злаков троп. и субтроп. – М. : УДН, 1979. – С. 3–6.

19. Белюченко И. С. Изучение жизненных форм паникоидных и эрагостоидных многолетников / И. С. Белюченко. – М. : УДН, 1979. – С. 41–88.

20. Белюченко И. С. Тропические многолетние кормовые злаки (особенности биологии и интродукции) : автореф. дис. ... д-ра биол. наук : 03.00.05 / И. С. Белюченко. – Гл. бот. сад АН СССР. – М. : 1985. – 32 с.

21. Белюченко И. С. Особенности развития и урожайность надземной массы и семян тропических и бореальных злаков в Таджикистане / И. С. Белюченко, И. А. Каримов // Основы повышения продуктивности сельского хоз-ва развивающихся стран : тез. докл. науч.-теор. конф. – М. : УДН, 1985. – С. 43–44.

22. Белюченко И. С. Некоторые особенности биологии паникоидных и эрагостоидных многолетников / И. С. Белюченко // Интро-

дукция троп. растений в южные районы СССР. – М. : УДН, 1986. – С. 128–166.

23.Белюченко И. С. Урожайность зеленой массы тропических и бореальных злаков на юге Таджикистана / И. С. Белюченко, И. А. Каримов // Доклады ВАСХНИЛ. – 1987. – № 10. – С. 24–26.

24.Белюченко И. С. Научные аспекты создания полидоминантных многолетних травостоев в континентальных субтропиках / И. С. Белюченко // Вопросы интенсиф. производительности с.-х. производства. – М., 1989. – С. 72–74.

25.Белюченко И. С. Разработка энергосберегающей и экологически чистой технологии создания травосмесей на юге Таджикистана / И. С. Белюченко // Вопросы интенсиф. производительности с.-х. производства. – М., 1989. – С. 44.

26.Белюченко И. С. Перспективы интенсификации полевого кормопроизводства в Южном Таджикистане / И. С. Белюченко // Известия АН Тадж. ССР, отд. биол. наук. – 1989. – № 3. – С. 78–96.

27.Белюченко И. С. Экологически чистая и энергосберегающая технология создания сложных травосмесей круглогодичного использования на юге Таджикистана / И. С. Белюченко // Развитие кормопроизводства в колхозе «Россия». – Курган-Тюбе, Таджикистан, 1990. – С. 101–119.

28.Белюченко И. С. Преимущества и недостатки многокомпонентных травосмесей / И. С. Белюченко // Материалы докл. науч. конф. с.-х. факультета. – М. : Изд-во УДН, 1990. – С. 72–73.

29.Белюченко И. С. Научные основы организации многолетних травосмесей / И. С. Белюченко // Применение физ.-хим. методов исследования в науке и технике : тез. докл. III конф. науч. Центра. Ч. 2. – М. : Изд-во УДН, 1990. – С. 63–65.

30.Белюченко И. С. Микроскопические грибы пастбищных и хлопковых агроценозов Южного Таджикистана / И. С. Белюченко, А. В. Кураков // Бюл. МОИП, отд. биол. – 1990. – Т. 95. – Вып. 2. – С. 113–131.

31.Белюченко И. С. Микобиота филлосферы злаков тропического происхождения на юге Таджикистана / И. С. Белюченко, А. В. Кураков // Изв. АН Тадж. ССР, отд. биол. наук. – 1990. – № 2. – С. 65–68.

32.Белюченко И. С. Суточная динамика нитратов в надземной массе многолетних травостоев на юге Таджикистана / И. С. Белю-

ченко, Г. П. Державина, Г. Г. Мокрецов // Применение физ.-хим. методов исследования в науке и технике : тез. докл. III конф. науч. Центра. – Ч. 2. – М. : УДН, 1990. – С. 59–62.

33. Белюченко И. С. Состав микроорганизмов коричневой карбонатной почвы при возделывании многолетних злаков и хлопчатника / И. С. Белюченко, А. В. Кураков // Доклады ВАСХНИЛ. – 1990. – № 3. – С. 23–26.

34. Белюченко И. С. Почвенная мезофауна в агроценозах многолетних злаков и хлопчатника на юге Таджикистана / И. С. Белюченко, В. И. Подаруева // Доклады ВАСХНИЛ. – 1990. – № 9. – С. 48–52.

35. Белюченко И. С. Динамика некоторых групп крупных беспозвоночных в различных агроценозах Южного Таджикистана / И. С. Белюченко, В. И. Подаруева // Вопросы повышения производительности сельскохозяйственного производства в различных почвенно-климат. зонах. – М. : УДН, 1990. – С. 93–97.

36. Белюченко И. С. Сложные травосмеси круглогодичного использования на юге Таджикистана / И. С. Белюченко // Вестник с.-х. науки. – 1991. – № 7. – С. 94–96.

37. Белюченко И. С. Создание травосмесей – перспективное направление в развитии кормопроизводства на юге Таджикистана / И. С. Белюченко // Изв. АН Тадж. ССР. – 1991. – № 3–4. – С. 65–77.

38. Белюченко И. С. Деградация пастбищ в регионе Калахари-Намиб (Южная Африка) и меры по их улучшению / И. С. Белюченко // Растительные ресурсы. – 1991. – № 3. – С. 135–149.

39. Белюченко И. С. Поиски новых технологий выращивания зерновых культур / И. С. Белюченко // Междунар. агропромышл. журнал. – 1991. – № 6. – С. 42–45.

40. Белюченко И. С. Влияние многолетней травосмеси на почвенную биоту в условиях континентальных субтропиков / И. С. Белюченко // Материалы науч. конф. профессорско-препод. состава с.-х. факультета. – М. : УДН, 1991. – С. 68–69.

41. Белюченко И. С. Изменение свойств коричневой карбонатной почвы под влиянием травостоев / И. С. Белюченко, Г. Г. Мокрецов // Докл. ВАСХНИЛ. – 1991. – № 3. – С. 62–66.

42. Белюченко И. С. Сравнительное изучение травосмесей с участием злаков различного происхождения на юге Таджикистана / И. С. Белюченко // Растит. ресурсы. – 1992. – Вып. 1. – С. 83–109.

43.Белюченко И. С. Растительность Калахари в пределах Ботсваны и Замбии (Южная Африка) и ее хозяйственное использование / И. С. Белюченко // Растит. ресурсы. – 1992. – Вып. 2. – Т. 28. – С. 89–112.

44.Белюченко И. С. Особенности развития многолетних кормовых злаков различного происхождения в южных районах СНГ / И. С. Белюченко // Растит. ресурсы. – 1992. – Вып. 4. – Т. 28. – С. 78–102.

45.Белюченко И. С. Развитие многолетних злаков различного происхождения под влиянием высокой температуры / И. С. Белюченко // Докл. ВАСХНИЛ. – 1992. – № 1. – С. 25–29

46.Белюченко И. С. Устойчивость многолетних злаков различного происхождения к низким температурам / И. С. Белюченко // Докл. РАСХН. – 1992. – № 7. – С. 11–17.

47.Белюченко И. С. Микроартроподы в агроценозах многолетних кормовых злаков на юге Таджикистана / И. С. Белюченко, В. И. Подаруева // Бюл. МОИП, отд. биол. – 1992. – Вып. 6. – Т. 97. – С. 87–100.

48.Белюченко И. С. Экологические аспекты развития пастбищ в Калахарской зоне Ботсваны / И. С. Белюченко, Т. А. Сайко // Проблемы освоения пустынь. – 1992. – № 4. – С. 45–52.

49.Белюченко И. С. Morphological and cytobiochemical aspects of branching in grasses / И. С. Белюченко // Экол. проблемы интродукции растений на соврем. этапе : вопросы теории и практики. Материалы междунар. конф. – Краснодар, 1993. – С. 46–49.

50.Белюченко И. С. Динамика запасных веществ и устойчивость злаков различного происхождения к экстремальным условиям / И. С. Белюченко // Бюл. МОИП, отд. биол. – 1993. – Т. 98. – Вып. 1. – С. 78–96.

51.Белюченко И. С. Микрофлора филло- и ризосферы некоторых интродуцентов Ботанического сада КГАУ / И. С. Белюченко, А. А. Коростелева // Эколог. проблемы интродукции растений на соврем. этапе : вопросы теории и практики : материалы междунар. конф. – Краснодар, 1993. – С. 42–45.

52.Белюченко И. С. Посевные качества семян тимофеевки луговой и голубого проса при внесении микроэлементов / И. С. Белюченко, И. И. Шаталова // Докл. РАСХН. – 1993. – № 4. – С. 24–31.

53.Белюченко И. С. Экологизация технологий выращивания пшеницы на Кубани / И. С. Белюченко // Экол. проблемы сельскохозяйственного производства. – Воронеж, 1994. – С. 49–51.

54.Белюченко И. С. Эволюция зоны побегообразования в семействе злаков / И. С. Белюченко // Успехи экологической морфологии растений. – М., 1994. – С. 64–68.

55.Белюченко И. С. Экологически чистая технология выращивания сахарной свеклы / И. С. Белюченко // Экол. проблемы сельскохозяйственного производства. – Воронеж, 1994. – С. 52–55.

56.Белюченко И. С. Экологические аспекты выращивания многолетних кормовых злаков в чистых посевах и в травосмесях / И. С. Белюченко, И. А. Каримов // Известия АН Таджикистана, отд. биол. – Душанбе, 1994. – № 1. – С. 61–63.

57.Белюченко И. С. Влияние микроэлементов на содержание минеральных и органических веществ в проростках голубого проса и тимофеевки луговой / И. С. Белюченко, И. И. Шаталова // Докл. РАСХН. – 1994. – № 4. – С. 14–16.

58.Белюченко И. С. Содержание макро- и микроэлементов в кормовой массе злаков различного происхождения, выращиваемых в южных районах СНГ / И. С. Белюченко // Растит. ресурсы. – 1995. – Т. 31. – Вып.1. – С. 94–111.

59.Белюченко И. С. Некоторые аспекты вегетативного размножения интродуцентов Ботанического сада / И. С. Белюченко // Бюл. Ботсада им. И. С. Косенко. – 1995. – № 2. – С. 52–63.

60.Белюченко И. С. Экологические основы стратегии развития природных систем Восточного Приазовья / И. С. Белюченко // Экологические проблемы Кубани. – 1996. – № 1. – С. 142–146.

61.Белюченко И. С. К вопросу о некоторых направлениях в эволюции растений / И. С. Белюченко // Бюл. Ботсада им. И. С. Косенко. – 1997. – № 4. – С. 68–109.

62.Белюченко И. С. Особенности развития многолетних травостоев с участием растений различного происхождения на юге СНГ (на примере Таджикистана) / И. С. Белюченко, В. Ю. Погодина // Бюл. Ботсада им. И. С. Косенко. – 1998. – № 8. – С. 7–29.

63.Белюченко И. С. Особенности биологии и экологии природных популяций *Glycyrrhiza glabra* L. на Тамани / И. С. Белюченко, Н. В. Швыдкая // Бюл. Ботсада им. И. С. Косенко. – 1998. – № 9. – С. 40–138.

64.Белюченко И. С. К вопросу о сопряженности эволюции организмов и экологических систем / И. С. Белюченко // Экологические проблемы Кубани. – 1999. – № 4. – С. 3–21.

65.Белюченко И. С. К вопросу об эволюции жизненных форм растений / И.С. Белюченко // Бюл. Ботсада им. И. С. Косенко. – 1999. – № 16. – С. 3–11.

66.Белюченко И. С. Некоторые аспекты эволюции лекарственных растений / И. С. Белюченко // Бюл. Ботсада им. И. С. Косенко. – 1999. – № 16. – С. 11–20.

67.Белюченко И. С. Создание совместных посевов – современная экологическая проблема / И. С. Белюченко // Экологические проблемы Кубани. – 2000. – № 7. – С. 3–14.

68.Белюченко И. С. Конкурентные отношения между полевыми культурами в совместных посевах / И. С. Белюченко // Экологические проблемы Кубани. – 2000. – № 7. – С. 67–70.

69.Белюченко И. С. Роль биотического и абиотического комплексов в эволюции биосферы и ее составляющих / И. С. Белюченко // Экологические проблемы Кубани. – 2000. – № 7. – С. 118–127.

70.Белюченко И. С. Фоновая оценка состояния микробеценозов в почвах природных и агроландшафтных экосистем северных районов Кубани / И. С. Белюченко, М. Д. Назарько // Экологические проблемы Кубани. – 2000. – № 8. – С. 29–66.

71.Белюченко И. С. Состояние изученности поведения растений в совместных посевах / И. С. Белюченко, В. Н. Гукалов, Н. В. Шугай // Экологические проблемы Кубани. – 2000. – № 7. – С. 15–47.

72.Белюченко И. С. Биотические взаимоотношения в посевах полевых культур в Центральной зоне Кубани / И. С. Белюченко, Н. В. Шугай // Экологические проблемы Кубани. – 2000. – № 7. – С. 104–117.

73.Белюченко И. С. Эволюционная экология / И. С. Белюченко. – Краснодар : КГАУ, 2001. – 504 с.

74.Белюченко И. С. Экологические аспекты симбиогенной эволюции в биосфере / И. С. Белюченко // Бюл. Ботсада им. И. С. Косенко – 2002. – № 19. – С. 121–155.

75.Белюченко И. С. Экологические и цитобиохимические аспекты процесса кущения у злаков / И. С. Белюченко // Тез. докл. II Меж-

дунар. конф. по анатомии и морфологии растений. – СПб., 2002. – С. 78–80.

76.Белюченко И. С. Морфологические особенности кушения злаков / И. С. Белюченко // Тез. докл. II Междунар. конф. по анатомии и морфологии растений. – СПб., 2002. – С. 81–83.

77.Белюченко И. С. Научные и практические аспекты интродукции злаков с С₄-типом фотосинтеза на юге СНГ / И. С. Белюченко // Интродукция растений : Междунар. научной конференции». – Воронеж, 2002. – С. 56–59.

78.Белюченко И. С. К вопросу о характере развития побегов в системе особой злаков / И. С. Белюченко // Бюл. Ботсада им. И. С. Косенко – 2002. – № 20. – С. 84–91.

79.Белюченко И. С. Цитобиохимическая концепция развития процесса кушения у злаков / И. С. Белюченко // Бюл. Ботсада им. И. С. Косенко – 2002. – № 20. – С. 172–189.

80.Белюченко И. С. Экологические ниши и их роль в организации и функционировании агроландшафтов (в порядке обсуждения) / И. С. Белюченко // Экологические проблемы Кубани. – 2003. – № 21. – С. 3–6.

81.Белюченко И. С. Состав основных консортов фито- и энтомофагов озимой пшеницы в засушливой зоне Ставрополя / И. С. Белюченко, Н. Н. Боташева // Экологические проблемы Кубани. – 2003. – № 19. – С. 37–51.

82.Белюченко И. С. К вопросу о специфичности речной гидрологии Краснодарского края / И. С. Белюченко // Экологические проблемы Кубани. – 2004. – № 26. – С. 5–9.

83.Белюченко И. С. Экология Кубани / И. С. Белюченко. – Краснодар : КубГАУ, 2005. – Ч. I – 513 с.

84.Белюченко И. С. Экология Кубани / И. С. Белюченко. – Краснодар : КубГАУ, 2005. – Ч. II – 470 с.

85.Белюченко И. С. Ландшафты как важнейшая эволюционно-экологическая составляющая биосферы / И. С. Белюченко // Экол. вестник Сев. Кавказа. – 2005. – Т. 1. – № 1. – С. 32–66.

86.Белюченко И. С. Хозяйственная деятельность человека и природные катаклизмы / И.С. Белюченко // Экол. вестник Сев. Кавказа. – 2005. – Т. 1. – № 1. – С. 73–77.

87. Белюченко И. С. К вопросу о решении пестицидной проблемы / И. С. Белюченко // Экол. вестник Сев. Кавказа. – 2005. – Т. 1. – № 1. – С. 78–80.

88. Белюченко И. С. Грибные консорты озимой пшеницы в степной зоне Кубани / И. С. Белюченко, Ю. В. Пономарева // Экологические проблемы Кубани. – 2005. – № 27. – С. 20–163.

89. Белюченко И. С. Региональный мониторинг – научная основа сохранения природы / И. С. Белюченко // Экол. вестник Сев. Кавказа. – 2006. – Т. 2. – № 1. – С. 25–40.

90. Белюченко И. С. Углерод и его роль в развитии биосферы земли / И. С. Белюченко, Т. В. Бозина // Экол. вестник Сев. Кавказа. – 2006. – Т. 2. – № 2. – С. 46–50.

91. Белюченко И. С. Разнообразие мезо- и микрофауны в почвах агроландшафта (на примере ОАО «Заветы Ильича» Ленинградского р-на) / И. С. Белюченко, В. Н. Гукалов, О. А. Яковлева // Экологические проблемы Кубани. – 2006. – № 32. – С. 161–164.

92. Белюченко И. С. Влияние условий среды на содержание жирорастворимых витаминов в кормах и некоторых тканях крупного рогатого скота / И. С. Белюченко, С. Б. Баранова // Экол. вестник Сев. Кавказа. – 2006. – Т. 2. – № 1. – С. 78–86.

93. Белюченко И. С. Экологические аспекты практической интродукции растений на современном этапе / И. С. Белюченко // Экол. вестник Сев. Кавказа. – 2007. – Т. 3. – № 3. – С. 5–14.

94. Белюченко И. С. Оценка экологического состояния бассейна реки Понура и предложения по улучшению его функционирования / И. С. Белюченко, Г. В. Волошина, Е. И. Муравьев // Экол. вестник Сев. Кавказа. – 2007. – Т. 3. – № 3. – С. 73–83.

95. Белюченко И. С. Влияние микроорганизмов на накопление органического вещества в пойменных почвах реки Понура / И. С. Белюченко, Г. В. Волошина // Экологические проблемы Кубани. – 2007. – № 33. – С. 24–27.

96. Белюченко И. С. Влияние рельефа на содержание подвижного фосфора по профилю почвы / И. С. Белюченко, В. Н. Гукалов, А. А. Теучеж // Тр. КубГАУ. – № 4 (8). – 2007. – С. 75–78.

97. Белюченко И. С. Динамика органического вещества и проблемы его трансформации в почвах агроландшафта степной зоны края / И. С. Белюченко, В. Н. Гукалов, О. А. Мельник // Экол. вестник Сев. Кавказа. – 2007. – Т. 3. – № 1. – С. 5–17.

98. Белюченко И. С. Содержание органического вещества и питательных элементов в почвах ОАО «Заветы Ильича» Ленинградского района / И. С. Белюченко, В. Н. Гукалов, О. А. Мельник // Экол. пробл. Кубани, 2007. – № 33. – С. 78–152.

99. Белюченко И. С. Технология ускорения переработки жидкого свиного навоза и возможности его использования в качестве удобрения / И. С. Белюченко, А. П. Носаленко, Ю. В. Пономарева // Экологические проблемы Кубани. – 2007. – № 33. – С. 18–23.

100. Белюченко И. С. Особенности формирования растительного покрова на техногенно-нарушенных территориях Причерноморья / И. С. Белюченко // Экол. вестник Сев. Кавказа. – 2008. – Т. 4. – № 1. – С. 62–72.

101. Белюченко И. С. Влияние фосфогипса на трансформацию азота в черноземе обыкновенном степной зоны Кубани / И. С. Белюченко // Экол. вестник Сев. Кавказа. – 2008. – Т. 4. – № 2. – С. 144–147.

102. Белюченко И. С. Влияние рекреационных нагрузок на содержание почвенного гумуса / И. С. Белюченко, В. Г. Щербина // Тр. КубГАУ. – 2008. – Т. 1 (10). – С. 93–96.

103. Белюченко И. С. Анализ степени рекреационной трансформации обилия и разнообразия травяно-кустарничкового покрова / И. С. Белюченко, В. Г. Щербина // Экол. вестник Сев. Кавказа. – 2008. – Т. 4. – № 2. – С. 24–33.

104. Белюченко И. С. Использование фосфогипса для рекультивации чернозема обыкновенного в степной зоне Кубани / И. С. Белюченко // I Всерос. науч. конф. – Краснодар, 2009. – С. 54–59.

105. Белюченко И. С. Проблемы рекультивации отходов быта и производства (по материалам I Всерос. науч. конф. по проблемам рекультивации отходов) / И. С. Белюченко // Экол. вестник Сев. Кавказа. – 2009. – Т. 5. – № 3. – С. 72–77.

106. Белюченко И. С. Возможности использования отходов мебельного и деревообрабатывающего производства в составе органоминерального удобрения / И. С. Белюченко, Н. М. Емтыль, О. А. Мельник, А. А. Скудин // I Всерос. науч. конф. – Краснодар, 2009. – С. 54–59.

107. Белюченко И. С. Влияние отходов промышленного и сельскохозяйственного производства на физико-химические свойства

почв / И. С. Белюченко, Е. И. Муравьев // Экол. вестник Сев. Кавказа. – 2009. – Т. 5. – № 1. – С. 84–86.

108. Белюченко И. С. К вопросу о роли леса в функциональном восстановлении бассейнов степных рек края / И. С. Белюченко // Экол. вестник Сев. Кавказа. – 2010. – Т. 6. – № 3. – С. 3–16.

109. Белюченко И. С. Экологическое состояние бассейнов степных рек Кубани и перспективы их развития / И. С. Белюченко // Экол. вестник Сев. Кавказа. – 2010. – Т. 6. – № 2. – С. 5–12.

110. Белюченко И. С. Роль регионального мониторинга в управлении природно-хозяйственными системами края / И. С. Белюченко // Экол. вестник Сев. Кавказа. – 2010. – Т. 6. – № 4. – С. 3–16.

111. Белюченко И. С. Экологические особенности фосфогипса и целесообразность его использования в сельском хозяйстве / И. С. Белюченко, Е. П. Добрыднев, Е. И. Муравьев // II Всерос. науч. конф. – Краснодар, 2010. – С. 13–22.

112. Белюченко И. С. Сельскохозяйственная экология : учеб. пособие / И. С. Белюченко, О. А. Мельник. – Краснодар : КубГАУ, 2010. – 297 с.

113. Белюченко И. С. Практикум по экологии : учеб.-метод. пособие / И. С. Белюченко, Л. Б. Попок. – Краснодар : КубГАУ, 2010. – 293 с.

114. Белюченко И. С. Введение в антропогенную экологию: учебное пособие / И. С. Белюченко. – Краснодар, 2011. – 265 с.

115. Белюченко И. С. Экологические проблемы степной зоны Кубани, причины их возникновения и пути решения / И. С. Белюченко // Экол. вестник Сев. Кавказа. – 2011. – Т. 7. – № 3. – С. 47–64.

116. Белюченко И. С. Введение в экологический мониторинг : учебное пособие / И. С. Белюченко. – Краснодар, 2011. – 297 с.

117. Белюченко И. С. К вопросу о формировании и свойствах органоминеральных компостов и реакции растений кукурузы на их внесение / И. С. Белюченко // Экол. вестник Сев. Кавказа. – 2011. – Т. 7. – № 4. – С. 65–74.

118. Белюченко И. С. Практические основы использования отходов промышленности и сельского хозяйства в качестве мелиоранта чернозема обыкновенного / И. С. Белюченко, В. Н. Гукалов // Тр. КубГАУ. – Краснодар, 2011. – № 31. – С. 152–153.

119. Белюченко И. С. Влияние внесения органоминерального компоста на плотность сложения и порозность чернозема обыкновенного / И. С. Белюченко, Д. А. Славгородская // Тр. КубГАУ. – Краснодар, 2011. – № 32. – С. 88–90.

120. Белюченко И. С. Сложный компост и его роль в улучшении почв / И. С. Белюченко // Экол. вестник Сев. Кавказа. – 2012. – Т. 8. – № 2. – С. 75–86.

121. Белюченко И. С. Использование отходов быта и производства для создания сложных компостов с целью повышения плодородия почв / И. С. Белюченко // Тр. КубГАУ. – Краснодар, 2012. – № 38. – С. 68–72.

122. Белюченко И. С. Применение органических и минеральных отходов для подготовки сложных компостов с целью повышения плодородия почв / И. С. Белюченко // Тр. КубГАУ. – Краснодар, 2012. – № 39. – С. 63–68.

123. Белюченко И. С. К вопросу о механизмах управления развитием сложных компостов / И. С. Белюченко // Экол. вестник Сев. Кавказа. – 2012. – Т. 8. – № 3. – С. 88–113.

124. Белюченко И. С. Влияние осадков сточных вод на плодородие почвы, развитие озимой пшеницы и качество ее зерна / И. С. Белюченко, В. П. Бережная // Тр. КубГАУ. – Краснодар, 2012. – № 34. – С. 148–150.

125. Белюченко И. С. Влияние сложных компостов на свойство почвы и формирование почвенной биоты / И. С. Белюченко, Ю. Ю. Никифорова // Экол. вестник Сев. Кавказа. – 2012. – Т. 8. – № 4. – С. 3–50.

126. Белюченко И. С. Содержание стронция по профилю различных почв в районе предприятия по производству фосфорных удобрений (на примере ОАО «Еврохим-БМУ», г. Белореченск) / И. С. Белюченко, Д. В. Петренко // Тр. КубГАУ. – Краснодар, 2012. – № 35. – С. 123–127.

127. Белюченко И. С. Влияние органоминерального компоста на плотность сложения и порозность чернозема обыкновенного / И. С. Белюченко, Д. А. Славгородская, В. В. Гукалов // Тр. КубГАУ. – Краснодар, 2012. – № 34. – С. 88–91.

128. Белюченко И. С. Сложные компосты как источник расширения экологических ниш культурных растений в системе почвенного покрова / И. С. Белюченко // Проблемы рекультивации отходов

быта, промышленного и сельскохозяйственного производства : Тр. Междунар. конф. – Краснодар, 2013. – С. 12–14.

129. Белюченко И. С. Дисперсные и коллоидные системы отходов и их коагуляционные свойства / И. С. Белюченко // Экол. вестник Сев. Кавказа. – 2013. – Т. 9. – № 1. – С. 13–38.

130. Белюченко И. С. Применение органических и минеральных отходов при подготовке сложных компостов для повышения плодородия почв / И. С. Белюченко // Проблемы рекультивации отходов быта, промышленного и сельскохозяйственного производства : Тр. III Междунар. конф. – Краснодар, 2013. – С. 26–30.

131. Белюченко И. С. Коллоидные системы отходов разных производств и их роль в формировании сложного компоста [Электронный ресурс] / И. С. Белюченко // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – Краснодар : КубГАУ, 2013. – № 93. – С. 787–811.

132. Белюченко И. С. Природные и техногенные системы края и возможности их развития с применением сложных компостов / И. С. Белюченко // Тр. КубГАУ. – Краснодар, 2013. – № 45. – С. 86–91.

133. Белюченко И. С. Агрегатный состав сложных компостов [Электронный ресурс] / И. С. Белюченко // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета – Краснодар : КубГАУ, 2013. – № 93. – С. 812–830.

134. Белюченко И. С. Трофические аспекты формирования сложного компоста [Электронный ресурс] / И. С. Белюченко // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета – Краснодар : КубГАУ, 2013. – № 94. – С. 253–264.

135. Белюченко И. С. Дисперсность отходов и их свойства [Электронный ресурс] / И. С. Белюченко // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – Краснодар : КубГАУ, 2013. – № 92. – С. 121–230.

136. Белюченко И. С. Проблемы развития сложных компостов [Электронный ресурс] // И. С. Белюченко / Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета – Краснодар : КубГАУ, 2013. – № 94. – С. 140–151.

137. Белюченко И. С. Сложный компост в решении проблемы охраны пахотного слоя чернозема обыкновенного / И.С. Белюченко // Тр. КубГАУ. – Краснодар, 2013. – № 44 – С. 47–52.

138. Белюченко И. С. Использование сложного компоста при выращивании сахарной свеклы в пятилетнем севообороте / И. С. Белюченко, О. А. Мельник, Ю. Ю. Никифоренко, Д. А. Славгородская // Fundamental science and technology promising gdevelopments : сб. докл. Междунар. науч.-практ. конф. – М., 2013. – Vol. 1. – С. 134–136.

139. Белюченко И. С. Интродукция растений как метод расширения видового состава культурных фитоценозов в южных районах СНГ / И. С. Белюченко, Б. А. Мустафаев // Экол. вестник Сев. Кавказа. – 2013. – Т. 9. – № 4. – С. 73–89.

140. Белюченко И. С. Отходы производства и потребления – вторичное сырье для производства сложных компостов / И. С. Белюченко, Ю. Ю. Никифоренко // Научно-техническое творчество молодежи – путь к обществу, основанному на знаниях : Сб. докл. V Междунар. науч.-практ. конф. – М., 2013. – С. 189–193.

141. Белюченко И. С. Изменение плотности и аэрации пахотного слоя чернозема обыкновенного под влиянием сложного компоста / И. С. Белюченко, Д. А. Славгородская // Доклады РАСХН. – 2013. – № 2 – С. 40–43.

142. Белюченко И. С. Изменение агрегатного состава чернозема обыкновенного при внесении органоминерального компоста / И. С. Белюченко, Д. А. Славгородская // Доклады РАСХН. – 2013. – № 4. – С. 23–25.

143. Белюченко И. С. Изменение водно-физических свойств пахотного слоя чернозема обыкновенного при внесении сложного компоста / И. С. Белюченко Д. А. Славгородская // Доклады РАСХН. – 2013. – № 6. – С. 47–49.

144. Белюченко И. С. Влияние сложного компоста на свойства почвенного покрова [Электронный ресурс] / И. С. Белюченко // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – Краснодар : КубГАУ, 2014. – № 95. – С. 275–294.

145. Белюченко И. С. Вопросы защиты почв в системе агроландшафта [Электронный ресурс] / И. С. Белюченко // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – Краснодар : КубГАУ, 2014. – № 95. – С. 232–241.

146. Белюченко И. С. Роль живых организмов в развитии сложного компоста [Электронный ресурс] / И. С. Белюченко // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – Краснодар : КубГАУ, 2014. – № 96. – С. 442–469.

147. Белюченко И. С. Происхождение и эволюция злаков и методы изучения их биоморфологии [Электронный ресурс] / И. С. Белюченко // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – Краснодар : КубГАУ, 2014. – № 96. – С. 555–572.

148. Белюченко И. С. Сложный компост как важный источник обогащения почвенного покрова питательными веществами [Электронный ресурс] / И. С. Белюченко // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – Краснодар : КубГАУ, 2014. – № 97. – С. 203–223.

149. Белюченко И. С. Морфологические и цитобиохимические основы побегообразования злаков [Электронный ресурс] / И. С. Белюченко // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – Краснодар : КубГАУ, 2014. – № 97. – С. 138–159.

150. Белюченко И. С. Сложный компост и круговорот азота и углерода в агроландшафтных системах [Электронный ресурс] / И. С. Белюченко // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – Краснодар : КубГАУ, 2014. – № 97. – С. 160–180.

151. Белюченко И. С. Сложный компост и детоксикация агроландшафтных систем [Электронный ресурс] / И. С. Белюченко // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – Краснодар : КубГАУ, 2014. – № 97. – С. 86–96.

152. Белюченко И. С. Сложный компост и трансформация азота в верхнем слое чернозема обыкновенного / И. С. Белюченко // Экол. вестник Сев. Кавказа. – 2014. – Т. 10. – № 1. – С. 71–79.

153. Белюченко И. С. Дерновинные формы многолетних злаков [Электронный ресурс] / И. С. Белюченко // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2014. – № 100. – С. 305–316.

154. Белюченко И. С. Корневищевидные формы многолетних злаков [Электронный ресурс] / И. С. Белюченко // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2014. – № 100. – С. 256–275.

155. Белюченко И. С. Экологические основы функционирования смешанных посевов в агроландшафтах Кубани [Электронный ресурс] / И. С. Белюченко // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2014. – № 101. – С. 522–551.

156. Белюченко И. С. Экологическое состояние агроландшафтов Кубани [Электронный ресурс] / И. С. Белюченко // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2014. – № 101. – С. 552–577.

157. Белюченко И. С. Роль сложного компоста в биологическом круговороте элементов и веществ и устойчивости агроландшафтов [Электронный ресурс] / И. С. Белюченко // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2014. – № 101. С. 843–874.

158. Белюченко И. С. Специфичность функционирования экологических систем степной зоны Кубани / И. С. Белюченко // Экол. вестник Сев. Кавказа. – 2014. – Т. 10. – № 2. – С. 14–31.

159. Белюченко И. С. Особенности минеральных отходов и целесообразность их использования при формировании сложных компостов [Электронный ресурс] / И. С. Белюченко // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2014. – № 101. – С. 875–895.

160. Белюченко И. С. Сложный компост и экологические ниши живых организмов в агроландшафте [Электронный ресурс] / Белюченко И. С. // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2014. – № 101. – С. 1005–1031.

161. Белюченко И. С. Конкуренция растений в смешанных посевах / Белюченко И. С. // Экол. вестник Сев. Кавказа. – 2014. – Т. 10. – № 3. – С. 85–90.

162. Белюченко И. С. Совмещенные посевы однолетних культур – важная проблема практической экологии [Электронный ресурс] / И. С. Белюченко // Политематический сетевой электронный

научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2014. – № 102. – С. 1219–1243.

163. Белюченко И. С. Влияние сложного компоста на свойства почвы и расширение экологических ниш в агроландшафте [Электронный ресурс] / И. С. Белюченко // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2014. – № 102. – С. 739 – 759.

164. Белюченко И. С. К вопросу о функциональной устойчивости почвенного покрова агроландшафтов / И. С. Белюченко // Экол. вестник Сев. Кавказа. – 2014. – Т. 10. – № 4. – С. 79–89.

165. Белюченко И. С. Органические и минеральные отходы производства как сырьевая основа сложных компостов / И. С. Белюченко // Перспективы и проблемы размещения отходов производства и потребления в агроэкосистемах : материалы Междунар. науч.-практ. конф. – Нижний Новгород, 2014. – С. 41–47.

166. Белюченко И. С. Влияние сложного компоста на развитие проростков и кущение растений озимой пшеницы в осенний период / И. С. Белюченко, О. А. Мельник // Вестник РАСХН. – 2014. – № 1. – С. 30–32.

167. Белюченко И. С. Влияние сложного компоста и азотных удобрений на свойства чернозема обыкновенного и развитие посевов озимой пшеницы / И. С. Белюченко, О. А. Мельник // Вестник РАСХН. – 2014. – № 2. – С. 14–16.

168. Белюченко И. С. Использование сложного компоста при выращивании озимой пшеницы / И. С. Белюченко, О. А. Мельник // Доклады РАСХН. – 2014. – № 3. – С. 29–31.

169. Белюченко И. С. Влияние сложного компоста на развитие и продуктивность озимой пшеницы / И. С. Белюченко, О. А. Мельник // Вестник РАСХН. – 2014. – № 5. – С. 51–52.

170. Белюченко И. С. Влияние сложного компоста на содержание органического вещества в черноземе обыкновенном / И. С. Белюченко, О. А. Мельник // Вестник РАСХН. – 2014. – № 6. – С. 18–20.

171. Белюченко И. С. Экологические особенности развития ландшафтных систем в зоне влияния Белореченского химического завода / И. С. Белюченко, Е. И. Муравьев // Экол. вестник Сев. Кавказа. – 2014. – Т. 10. – № 1. – С. 14–30.

172. Белюченко И. С. Отходы быта и производства как сырье для подготовки сложных компостов : монография / И. С. Белюченко. – Краснодар : КубГАУ, 2015. – 418 с.

173. Белюченко И. С. Формы простых и сложных удобрений и их применение в севооборотах агроландшафта / И. С. Белюченко // Экол. вестник Сев. Кавказа. – 2015. – Т. 11. – № 1. – С. 66–78.

174. Белюченко И. С. Влияние дозы фосфогипса на состав и агрономические свойства сложного компоста / И. С. Белюченко // Экол. вестник Сев. Кавказа. – 2015. – Т. 11. – № 1. – С. 84–92.

175. Белюченко И. С. Проблемы формирования сложных компостов и их использование в севооборотах агроландшафта / И. С. Белюченко // Проблемы рекультивации отходов быта, промышленного и сельскохозяйственного производства. – Краснодар, 2015. – С. 45–60.

176. Белюченко И. С. Соотношения органического углерода и азота, как важное экологическое свойство сложного компоста / И. С. Белюченко // Проблемы рекультивации отходов быта, промышленного и сельскохозяйственного производства. – Краснодар, 2015. – С. 749–754.

177. Белюченко И. С. Малые реки Кубани и перспективы развития их биоты [Электронный ресурс] / И. С. Белюченко // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2015. – № 106. – С. 772–793.

178. Белюченко И. С. Экологические основы симбиогенного развития растений в сложных травостоях / И. С. Белюченко // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета [Электронный ресурс]. – Краснодар : КубГАУ, 2015. – № 03(107). – С. 1451–1473.

179. Белюченко И. С. Взаимоотношения между сельскохозяйственными культурами в различных типах посевов в степной зоне края / И. С. Белюченко // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета [Электронный ресурс]. – Краснодар : КубГАУ, 2015. – № 04 (108). – С. 56–70.

180. Белюченко И. С. Перспективы развития агроландшафтных систем в степной зоне края / И. С. Белюченко // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета [Электронный ресурс]. – Краснодар : КубГАУ, 2015. – № 04 (108). – С. 232–247.

181. Белюченко И. С. Деградация почв и роль лесополос в мелиорации земель / И. С. Белюченко // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета [Электронный ресурс]. – Краснодар : КубГАУ, 2015. – № 05 (109). – С. 1132–1153.

182. Белюченко И. С. Абиотические особенности развития ландшафтов малых рек степной зоны края / И. С. Белюченко // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета [Электронный ресурс]. – Краснодар : КубГАУ, 2015. – № 05 (109). – С. 126–145.

183. Белюченко И. С. Организация мониторинга почвенного покрова северных склонов горного Кавказа и возможности их защиты от водной эрозии / И. С. Белюченко // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета [Электронный ресурс]. – Краснодар : КубГАУ, 2015. – № 06 (110). – С. 1233–1262.

184. Белюченко И. С. Перспективы развития агроландшафтных систем Кубани / И. С. Белюченко // Экол. вестник Сев. Кавказа. – 2015. – Т. 11. – № 2. – С. 34–44.

185. Белюченко И. С. Сложные компосты и рекультивация отходов быта и производства (по материалам IV Международной научной экологической конференции) / И. С. Белюченко // Экол. вестник Сев. Кавказа. – 2015. – Т. 11. – № 2. – С. 75–89.

186. Белюченко И. С. Отходы производства и потребления как основа сложных компостов / И. С. Белюченко // Тр. КубГАУ. – 2015. – № 53. – С. 74–80.

187. Белюченко И. С. Отходы производства и возможности их использования в развитии агроландшафтных технологий / И. С. Белюченко // Экол. вестник Сев. Кавказа. – 2015. – Т. 11. – № 3. – С. 57–64.

188. Белюченко И. С. IV Международная научная экологическая конференция «Проблемы рекультивации отходов быта, промышленного и сельскохозяйственного производства» в пленарных докладах / И. С. Белюченко // Экол. вестник Сев. Кавказа. – 2015. – Т. 11. – № 3. – С. 75–91.

189. Белюченко И. С. Загрязнение черноземов Кубани и возможности его ограничения в современном агропроизводстве / И. С. Белюченко // Роль почв в биосфере и жизни человека : материалы Между-

нар. науч. конф. к 100-летию со дня рождения академика Г. В. Добровольского, к Международному году почв : материалы докл. – М. : МАКС Пресс, 2015. – С. 26–28.

190. Белюченко И. С. Сложный компост и его влияние на агрохимические свойства чернозема обыкновенного / И. С. Белюченко // Сельскохозяйственные науки: вопросы и тенденции развития : сб. научн. тр. по итогам междунар. науч.-практ. конф. – Красноярск, 2015. – С. 12–14.

191. Белюченко И.С. Внедренческий этап мониторинга почвенного покрова северных склонов Кавказа / И. С. Белюченко // Наука и образование: проблемы и стратегии развития : материалы Междунар. науч.-практ. конф. – Уфа, 2015. – С. 3–11.

192. Белюченко И. С. Мониторинг почвенного покрова северных склонов Кавказа / И. С. Белюченко // Наука и образование : проблемы и стратегии развития : материалы Междунар. науч.-практ. конф. – Уфа, 2015. – С. 3–11.

193. Белюченко И. С. Сравнительная оценка природных и агроландшафтных систем Кубани / И. С. Белюченко // Инновационные процессы и технологии в современном мире : материалы III Междунар. науч.-практ. конф. – Уфа, 2015. – С. 72–82.

194. Белюченко И. С. Растительность, микрофлора и мезофауна ландшафтов Кубани / И. С. Белюченко // Инновационные процессы и технологии в современном мире : материалы III Междунар. науч.-практ. конф. – Уфа, 2015. – С. 82–91.

195. Белюченко И. С. Органические и минеральные отходы как основа сложных компостов / И. С. Белюченко // Экол. вестник Сев. Кавказа. – 2015. – Т. 11. – № 4. – С. 54–62.

196. Белюченко И. С. Образование отходов и перспективы их использования в севообороте (IV Междунар. науч. экол. конф.) / И. С. Белюченко // Экол. вестник Сев. Кавказа. – 2015. – Т. 11. – № 4. – С. 80–96.

197. Белюченко И. С. Влияние сложного компоста на агрегатный состав и водно-воздушные свойства чернозема обыкновенного / И. С. Белюченко, Д. А. Антоненко // Почвоведение. – 2015. – № 7. – С. 858–864.

198. Белюченко И. С. Особенности коллоидов в отходах различного происхождения (вместо предисловия) / И. С. Белюченко, Д. А. Антоненко, О. А. Мельник // Проблемы рекультивации отхо-

дов быта, промышленного и сельскохозяйственного производства. – Краснодар, 2015. – С. 3–6.

199. Белюченко И. С. Изменение агрохимических свойств чернозема обыкновенного и урожайности озимой пшеницы в Западном Предкавказье при внесении сложного компоста / И. С. Белюченко, Д. А. Антоненко // Доклады РАСХН. – 2015. – № 1–2. – С. 41–44.

200. Белюченко И. С. Изменение агрономических свойств чернозема обыкновенного и урожайности озимой пшеницы при использовании сложного компоста / И. С. Белюченко, Д. А. Антоненко, О. А. Мельник, Л. Н. Ткаченко // Труды КубГАУ. – 2015. – № 53. – С. 80–85.

201. Белюченко И. С. Сохранение плодородия чернозема обыкновенного при использовании сложного компоста / И. С. Белюченко, Д. А. Антоненко, О. А. Мельник // Роль почв в биосфере и жизни человека : материалы Междунар. науч. конф. : к 100-летию со дня рождения академика Г. В. Добровольского, к Международному году почв. – М. : МАКС Пресс, 2015. – С. 15–17.

202. Бенц В. А. Поливидовые посевы в кормопроизводстве: теория и практика / В. А. Бенц. – Новосибирск, 1996. – 228 с.

203. Берг Л. С. Климат и жизнь / Л. С. Берг. – М., 1947. – 356 с.

204. Биомониторинг состояния окружающей среды : учеб. пособие / под. ред. И. С. Белюченко, Е. В. Федоненко, А. В. Смагина. – Краснодар : КубГАУ, 2014. – 153 с.

205. Благовещенский А. В. Биохимическая эволюция цветковых растений / А. В. Благовещенский. – М. : Наука, 1966.

206. Блевуси Г. К. Анатомия зимующих вегетативных структур у злаков различного происхождения / Г. К. Блевуси, И. С. Белюченко // Плодородие и использование почв в различных почвенно-климатических зонах. – М. : РУДН, 1992. – С. 96–99.

207. Бондарева М. А. Царство грибов и его положение в системе органического мира / М. А. Бондарева // Бот. журнал. – 1989. – Т. 74. – № 8. – С. 1084–1090.

208. Влияние посевов и органических удобрений на трансформацию азота в черноземе выщелоченном / М. Д. Алифилов, И. С. Белюченко, Г. В. Волошина [и др.] // Тр. КубГАУ. – № 5 (9). – 2007. – С. 79–85.

209. Влияние сложного компоста на верхний слой чернозема обыкновенного и развитие сельскохозяйственных культур /

Д. А. Антоненко, И. С. Белюченко, О. А. Мельник [и др.] // Экол. вестник Сев. Кавказа. – 2014. – Т. 10. – № 4. – С. 45–65.

210. Влияние фосфогипса на развитие и продуктивность растений подсолнечника / И. С. Белюченко, В. В. Гукалов, О. А. Мельник [и др.] // Экол. вестник Сев. Кавказа. – 2008. – Т. 4. – № 4. – С. 115–117.

211. Влияние фосфогипса на развитие и урожайность посевов озимой пшеницы / И. С. Белюченко, В. В. Гукалов, О. А. Мельник [и др.] // Экол. вестник Сев. Кавказа. – 2009. – Т. 5. – № 2. – С. 26–34.

212. Волошина Г. В. Микробные сообщества чернозема обыкновенного (на примере агроландшафта ОАО «Заветы Ильича» Ленинградского района) / Г. В. Волошина, В. Н. Гукалов // Экол. вестник Сев. Кавказа. – 2009. – Т. 5. – № 2. – С. 21–25.

213. Гиляров М. С. Количественные методы в почвенной зоологии / М. С. Гиляров. – М., 1987. – 289 с.

214. Глазунова Н. Н. Влияние сортов озимой пшеницы на трофические связи ее консортов / Н. Н. Глазунова, И. С. Белюченко // Химизация растениеводства и вопросы экологии : материалы науч.-практ. конф. – СтГАУ. – Ставрополь. – 2002. – С. 105–108.

215. Гукалов В. В. Применение органоминеральных компостов с заданными свойствами для оптимизации параметров почв и повышения урожая сельскохозяйственных культур / В. В. Гукалов, И. С. Белюченко, В. А. Седых, Д. Н. Никиточкин // Плодородие. – 2015. – № 3 (84). – С. 16–18.

216. Гукалов В. Н. Динамика тяжелых металлов в почвенных слоях чернозема обыкновенного по годам и сезонам / В. Н. Гукалов, Л. Б. Попок, И. С. Белюченко // Экол. вестник Сев. Кавказа. – 2010. – Т. 6. – № 3. – С. 28–60.

217. Гукалов В. Н. Прогнозирование содержания тяжелых металлов в почвах агроландшафта ОАО «Заветы Ильича» Ленинградского района Краснодарского края / В. Н. Гукалов, Л. Б. Попок, И. С. Белюченко // Экол. вестник Сев. Кавказа. – 2011. – Т. 7. – № 2. – С. 4–14.

218. Дзыбов Д. С. Основы экологической реставрации агро- и урбаноландшафтов Северо-Западного Предкавказья / Д. С. Дзыбов, И. С. Белюченко // Экол. вестник Сев. Кавказа. – 2007. – Т. 3. – № 2. – С. 28–38.

219. Динамика почвенной фауны в агроландшафте степной зоны края / М. Д. Алифиров, И. С. Белюченко, В. В. Гукалов [и др.] // Экол. вестник Сев. Кавказа. – 2008. – Т. 4. – № 3. – С. 83–95.

220. Добровольская Т. Г. О показателях структуры бактериальных сообществ / Т. Г. Добровольская, И. Ю. Чернов, Д. Г. Звягинцев // Микробиология. – 1997. – Т. 66. – № 3. – С. 408–414.

221. Донец М. Ю. Характеристика микоценозов почв агроландшафтных систем северных районов Кубани / М. Ю. Донец, И. С. Белюченко // Экологические проблемы Кубани. – 2000. – № 8. – С. 67–76.

222. Дронов А. В. Развитие и урожайность выделенных форм голубого проса при орошении посевов бытовыми сточными водами в Западной Туркмении / А. В. Дронов, И. С. Белюченко // Влияние орошения сточными водами и навозными стоками на плодородие почвы. – М., 1987. – С. 105–113.

223. Дронов А. В. Содержание нитратного азота и тяжелых металлов в почве и растениях под воздействием сточных бытовых вод / А. В. Дронов, И. С. Белюченко // Доклады ВАСХНИЛ. – 1988. – № 11. – С. 87–96.

224. Енкина О. В. Микробиологические аспекты сохранения плодородия черноземов / О. В. Енкина, Н. Ф. Коробской. – Краснодар, 1999. – 150 с.

225. Епифанов В. С. Лучшие кормовые смеси на полях России / В. С. Епифанов, Л. И. Малышева // Хозяин. – 1994. – № 1–2. – С. 9–10.

226. Загрязнение нефтепродуктами устьевых участков горных рек и вод прибрежной зоны Черного и Азовского морей / И. С. Белюченко, А. А. Гайдай, А. В. Давыдов [и др.] // Экол. вестник Сев. Кавказа. – 2007. – Т. 3. – № 1. – С. 62–91.

227. Зуза В. С. Конкурентные взаимоотношения культурных и сорных растений в посевах / В. С. Зуза // Сельскохозяйственная биология. – 1994. – № 5. – С. 103–107.

228. Иванов В. А. Сравнительное изучение роста и развития *Sorghum alatum* Parodi и *S. halepense* (L.) Pers. при выращивании в Таджикистане / В. А. Иванов, И. С. Белюченко // Растит. ресурсы. – 1992. – Вып. 3. – Т. 28. – С. 84–111.

229. Иванов В. А. Формирование биомассы чистыми посевами травы Колумба и травосмесями / В. А. Иванов, И. С. Белюченко, И. А. Каримов // Применение физ.-хим. методов исследования в

науке и технике : тез. докл. III конф. науч. – М. : Изд-во УДН, 1990. – Ч. II. – С. 66–68.

230. Каратыгин И. В. Коэволюция грибов и растений / И. В. Каратыгин. – СПб., 1993. – 117 с.

231. Каримов И. А. Продуктивность надземной массы некоторых тропических и бореальных многолетних кормовых злаков на юге Таджикистана / И. А. Каримов, И. С. Белюченко // Актуальные проблемы троп. и субтроп. растениеводства. – М. : УДН, 1988. – С. 36–44.

232. Каримов И. А. Развитие некоторых бореальных и тропических злаков в условиях Южного Таджикистана / И. А. Каримов, И. С. Белюченко // Изв. АН Тадж. ССР, отд. биол. наук. – 1988. – № 1 (110). – С. 50–55.

233. Каримов И. А. Биология многолетних кормовых злаков / И. А. Каримов, А. И. Кибека, И. С. Белюченко // Интенсивное возделывание кормов. культур в Яванской долине Таджикистана. – Душанбе, 1990. – С. 95–120.

234. К вопросу о технологии переработки свиного навоза в перегной и его обогащении микроэлементами / М. Д. Алифиров, И. С. Белюченко, Т. В. Бозина [и др.] // Экол. вестник Сев. Кавказа. – 2007. – Т. 3. – № 3. – С. 99–105.

235. Кириленко Т.С. Атлас родов почвенных грибов / Т. С. Кириленко. – Киев : Наукова думка, 1977. – 128 с.

236. Криволицкий Д. А. Животный мир почвы / Д. А. Криволицкий. М. : Знание, 1969. – 47 с.

237. Кураков А. В. Микобиота пастбищных агроценозов / А. В. Кураков, И. С. Белюченко // Интенсивное возделывание кормов. культур в Яванской долине Таджикистана. – Душанбе, 1990. – С. 121–153.

238. Кураков А. В. Микроскопические грибы почвы, ризосферы и ризопланы хлопчатника и тропических злаков, интродуцированных на юге Таджикистана / А. В. Кураков, И. С. Белюченко // Микробиология. – 1994. – Вып. 6. – С. 1101–1109.

239. Куркин К. А. Системный подход к программированию продуктивных луговых биогеоценозов / К. А. Куркин // Вестник сельскохозяйственной науки. – 1983. – № 10. – С. 43–50.

240. Куркин К. А. Фитоценотическая конкуренция. Системная взаимосвязь между парциальными давлениями конкуренции за раз-

личные ресурсы / К. А. Куркин // Ботанический журнал. – 1986. – № 6. – С. 723–732.

241. Марков М. В. Агрофитоценология – наука о полевых растительных сообществах / М. В. Марков. – Казань, 1972. – 269 с.

242. Микробоценозы почв агроландшафта / И. С. Белюченко, М. Д. Назарько, В. Н. Гукалов [и др.] // Экологические проблемы Кубани. – 2001. – № 9. – С. 14–194.

243. Миркин Б. М. Экология естественных и сеяных лугов / Б. М. Миркин. – М. : Знание, 1991. – 61 с.

244. Мокрецов Г. Г. Особенности развития и формирования урожая кормовых растений в чистых посевах и травосмесях на юге Таджикистана / Г. Г. Мокрецов, И. С. Белюченко // Растительные ресурсы. – 1991. – Вып. 3. – С. 95–120.

245. Муравьёв Е. И. Закономерности латерального и вертикального распределения тяжелых металлов в почвах агроландшафта (на примере изучения агроландшафта ОАО «Заветы Ильича» Ленинградского района Краснодарского края) / Е. И. Муравьёв, Л. Б. Попок, Е. В. Попок, В. Н. Гукалов, И. С. Белюченко // Экол. вестник Сев. Кавказа. – 2008. – Т. 4. – № 1. – С. 5–25.

246. Муравьёв Е. И. Влияние отходов химического производства на загрязнение окружающих ландшафтов / Е. И. Муравьёв, И. С. Белюченко // Экол. вестник Сев. Кавказа. – 2007. – Т. 3. – № 4. – С. 77–86.

247. Муравьёв Е. И. Влияние фосфогипса на развитие и продуктивность растений кукурузы в севообороте / Е. И. Муравьёв, И. С. Белюченко, В. В. Гукалов, О. А. Мельник и др. // Экол. вестник Сев. Кавказа. – 2008. – Т. 4. – № 4. – С. 107–111.

248. Муравьёв Е. И. Влияние фосфогипса на развитие растений сахарной свеклы в степной зоне Краснодарского края / Е. И. Муравьёв, И. С. Белюченко, В. В. Гукалов, О. А. Мельник // Экол. вестник Сев. Кавказа. – 2008. – Т. 4. – № 4. – С. 112–114.

249. Муравьёв Е. И. Коллоидный состав и коагуляционные свойства дисперсных систем почвы и некоторых отходов промышленности и животноводства / Е. И. Муравьёв, И. С. Белюченко // Тр. КубГАУ. – 2008. – Т. 2 (11). – С. 177–182.

250. Муравьёв Е. И. Перспективы использования фосфогипса в сельском хозяйстве / Е. И. Муравьёв, И. С. Белюченко, Е. П. Добрыд-нев // Экол. вестник Сев. Кавказа. – 2008. – Т. 4. – № 1. – С. 31–41.

251. Муравьёв Е. И. Свойства фосфогипса и возможность его использования в сельском хозяйстве / Е. И. Муравьёв И. С. Белюченко // Экол. вестник Сев. Кавказа. – 2008. – Т. 4. – № 2. – 5–18.

252. Мустафаев Б. А. Особенности переработки отходов с помощью дождевых червей разных видов в условиях Павлодарской области (Казахстан) / Б. А. Мустафаев, З. Е. Какежанова, И. С. Белюченко // Экол. вестник Сев. Кавказа. – 2013. – Т. 9. – № 4. – С. 50–63.

253. Назарько М. Д. Взаимоотношения между полевыми культурами и микробным комплексом почвы / М. Д. Назарько, И. С. Белюченко // Экологические проблемы Кубани. – 2000. – № 7. – С. 71–88.

254. Назарько М. Д. Микробоценозы почв различных ландшафтов края / М. Д. Назарько, И. С. Белюченко // Экологические проблемы Кубани. – 2000. – № 6. – С. 39–73.

255. Оразова М. Х. Гетерогенность корня как местобитания микроорганизмов / М. Х. Оразова, Л. М. Полянская, Д. Г. Звягинцев // Микробиология. – 1994. – Т. 63. – Вып.4. – С. 706–715.

256. Основы экологического мониторинга : практическое пособие / И. С. Белюченко, А. В. Смагин, Г. В. Волошина [и др.]. – Краснодар : КубГАУ, 2012. – 252 с.

257. Петренко Д. В. Содержание стронция в продовольственных культурах и кормовых травах в районе производства фосфорных удобрений / Д. В. Петренко, И. С. Белюченко // Тр. КубГАУ. – Краснодар, 2012. – № 35. – С. 205–207.

258. Петренко Д. В. Влияние отходов Белореченского химзавода на содержание стронция в окружающих ландшафтах / Д. В. Петренко, И. С. Белюченко // Экол. вестник Сев. Кавказа. – 2012. – Т. 8. – № 1. – С. 4–79.

259. Подаруева В. А. Микро- и мезофауна пастбищных агроценозов / В. А. Подаруева, И. С. Белюченко // Интенсивное возделывание кормов. культур в Яванской долине Таджикистана. – Душанбе, 1990. – С. 154–180.

260. Пономарева Ю. В. Грибные консорты озимой пшеницы в степной зоне Краснодарского края / Ю. В. Пономарева, И. С. Белюченко // Экол. вестник Сев. Кавказа. – 2005. – Т. 1. – № 2. – С. 128–137.

261. Попова Т. В. Особенности распределения тяжелых металлов в корнеобитаемом слое чернозема обыкновенного в разных ме-

стообитаниях / Т. В. Попова, В. Н. Гукалов, И. С. Белюченко // Экол. вестник Сев. Кавказа. – 2010. – Т. 6. – № 1. – С. 24–26.

262. Попок Л. Б. Корреляционно-регрессионный анализ в изучении взаимосвязи содержания тяжелых металлов с агрофизическими и агрохимическими свойствами почв / Л. Б. Попок, И. С. Белюченко // Экол. вестник Сев. Кавказа. – 2013. – Т. 9. – № 4. – С. 45–49.

263. Работнов Т. А. Об одном направлении сопряженной эволюции организмов / Т. А. Работнов // Бюл. МОИП. Отд. биол. – 1979. – Т. 84. – Вып. 2. – С. 29–34.

264. Работнов Т. А. Фитоценология. – М. : Изд-во московского ун-та. – 1978. – 292 с.

265. Роль микроорганизмов в функционировании почвенных систем / М. Д. Алифиров, И. С. Белюченко, Г. В. Волошина [и др.] // Экологические проблемы Кубани. – 2007. – № 33. – С. 164–197.

266. Селиванов И. А. Микосимбиотрофизм как форма консортивных связей в растительном покрове Советского Союза / И. А. Селиванов. – М. : Наука, 1981. – 231 с.

267. Семена кормовых трав. Посевные качества. (Технические условия) РСТ Тадж. ССР / И. С. Белюченко, И. А. Каримов, Н. Н. Лебедева [и др.]. – Душанбе : Госплан Тадж. ССР, 1988. – 10 с.

268. Сложный компост и его влияние на свойства почвы и продуктивность сельскохозяйственных культур : монография / Д. А. Антоненко, И. С. Белюченко, В. Н. Гукалов [и др.] – Краснодар : КубГАУ, 2015. – 180 с.

269. Тахтаджян А. Л. Происхождение и расселение цветковых растений / А. Л. Тахтаджян. – Л. : Наука, 1970. – С. 1–146.

270. Третьякова Е. Б. Сообщества бактерий, ассоциированные с почвенными беспозвоночными / Е. Б. Третьякова, Т. Г. Добровольская, Б. А. Бызов, Д. Г. Звягинцев // Микробиология. – 1996. – Т. 65. – № 1. – С. 102–110.

271. Туманян А. Ф. Уровень газообмена CO₂ как функция аллелопатических взаимоотношений кормовых растений / А. Ф. Туманян, И. С. Белюченко, В. М. Малофеев // Вопросы интенсификации производства сельскохозяйственных продуктов : Материалы науч.-техн. конф. – М. : УДН, 1989. – С. 63–64.

272. Хоулт Дж. Определитель бактерий Берджи / Дж. Хоулт, Н. Криг, П. Снит. М. : Мир, 1997. – Т. 1, 2. – 800 с.

273. Часовенная А. А. Основы агрофитоценологии / А. А. Часовенная. – Л., 1975. – 188 с.

274. Чермит М. М. Оценка радиоактивности строительных материалов и микробиологического состояния воздуха помещений жилого дома / М. М. Чермит, И. С. Белюченко // Тр. КубГАУ. – 2008 – Т. 1 (10). – С. 68–71.

275. Шмальгаузен И. И. Проблемы дарвинизма / И. И. Шмальгаузен. – 1969. – 496 с.

276. Шугай Н. В. Урожай и химический состав надземной массы в чистых и совместных посевах / Н. В. Шугай, И. С. Белюченко // Экологические проблемы Кубани. – 2000. – № 7. – С. 93–98.

277. Шугай Н. В. Формирование корневых систем полевых культур в совместных посевах / Н. В. Шугай, И. С. Белюченко // Экологические проблемы Кубани. – 2000. – № 7. – С. 63–66.

278. Щербина В. Г. Индикаторные свойства моллюсков в рекреационных биогеоценозах / В. Г. Щербина, И. С. Белюченко // Экол. вестник Сев. Кавказа. – 2007. – Т. 3. – № 2. – С. 88–94.

279. Щербина В. Г. Рекреационная трансформация фитоценозов в буково–лавровишневых биогеоценозах / В. Г. Щербина, И. С. Белюченко // Тр. КубГАУ. – 2007. – № 4 (8). – С. 99–103.

280. Экологические аспекты совершенствования функционирования агроландшафтных систем Краснодарского края / И. С. Белюченко, А. В. Смагин, В. Н. Гукалов [и др.] // Тр. КубГАУ. – 2010. – Т. 1. – № 26. – С. 33–37.

281. Экологическое состояние бассейна реки Бейсуг и предложения по улучшению его функционирования / И. С. Белюченко, Г. В. Волошина, А. А. Гайдай [и др.] // Экол. вестник Сев. Кавказа. – 2007. – Т. 3. – № 1. – С. 18–37.

282. Экологическое состояние бассейна реки Пшада / И. С. Белюченко, В. В. Корунчикова, Н. Н. Мамась [и др.] // Экол. вестник Сев. Кавказа. – 2008. – Т. 4. – № 3. – С. 23–46.

283. Экологическое состояние пойменных почв и растительности бассейна реки Понура / И. С. Белюченко, Г. В. Волошина, Т. В. Бозина [и др.] // Экол. вестник Сев. Кавказа. – 2007. – Т. 3. – № 3. – С. 58–72.

284. Якушев Д. В. Биологические аспекты интенсификации лугопастбищного хозяйства / Д. В. Якушев, И. С. Белюченко // Сельское хозяйство (биол.). – 1975. – Т. 10. – № 1. – С. 115–127.

285. Beluchenko I. S. El cultivo de la herba *Indigofera hirsuta* / I. S. Beluchenko // Agrotecnia de Cuba. – Habana, 1964. – № 3. – 53 p.
286. Beluchenko I. S. El cultivo del frijol *Canavalia ensiformis* / I. S. Beluchenko. – Cuba, Habana: INRA, 1965. – 87 p.
287. Beluchenko I.S. Reservas nutritivas y su importancia en la actividad vital de las gramíneas / I. S. Beluchenko // Revista agropecuaria de Cuba. – 1971. – № 3. – P. 45–53.
288. Beluchenko I.S. Rhythmicity in development of tropical and subtropical fodder crops / I. S. Beluchenko // Beitrage trop. Landwir. Veterin., Leipzig. – 1976. – № 3. – P. 223–226.
289. Beluchenko I.S. Seasonal growth and development of tropical and subtropical fodder crops / I. S. Beluchenko // Studia i mater, Krakov, 1977. – № 2. – P. 5–25.
290. Beluchenko I. S. Factores of regrowth of panicle and eragrostoid perennial grasses / I. S. Beluchenko // Proceed. XIII–th Intern. Grass / Congr., DDR, Leipzig, 18–19 may, 1977. – Leipzig, 1980. – P. 193–196.
291. Beluchenko I.S. Peculiarities of tiller formation of perennial panicoides and eragrostoides / I. S. Beluchenko // Summaries of Papers 54 Intern. Grassld. Congr., USA, Kentucky. – 1981. – P. 184.
292. Beluchenko I.S. The tillering process and its evolution in graminaceae family / I. S. Beluchenko // Summ. Papers Intern. Conf., Hungary, Debrecen. – 1983. – P. 16–17.
293. Beluchenko I.S. Dynamics of development of tropical and temperate grasses in wet subtropical grassland associations of the USSR / I. S. Beluchenko // Beitrage trop., subtrip. Landw., Veterin. – 1985. – V. 23. – № 3. – P. 83–89.
294. Belyuchenko I.S. As to the evolutionary relationships of different level systems in the biosphere / I. S. Belyuchenko // Экол. вестник Сев. Кавказа. – 2005. – Т. 1. – № 2. – С. 17–50.
295. Belyuchenko I.S. Evolutionary and ecological approaches to the plants introduction in practice / I. S. Belyuchenko // Экол. вестник Сев. Кавказа. – 2005. – Т. 1. – № 2. – С. 104–111.
296. Changes in Density and Aeration of the Plowed Layer in Common Chernozem under the Influence of Compound Compost / I. S. Belyuchenko, D. A. Slavgorodskaya // Russian Agricultural Sciences. – 2013. – Vol. 39. – № 1. – P. 261–263.

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

298. Belyuchenko I. S. Wastes of different production and their properties in / I. S. Beluchenko // *Ciencia e Tecnica Vitivinicola*. Printed in Portugal. – 2014. – Vol. 29. – № 9. – P. 37–50.

299. Beluchenko I. S. Ecological aspects of practical plant introduction in the botanical garden of Kuban Agrarian University (Russia) / I. S. Belyuchenko, A. Yu. Gorchakova // *Bothalia journal*. Pretoria, South Africa, 2014. – Vol. 44. – № 10. – P. 15–25.

300. Beluchenko I. S. Colloidality of household and industrial waste and their role in the formation of complex compost / I. S. Belyuchenko, A. Yu. Gorchakova, D. A. Slavgorodskaya // *Ciencia e Tecnica Vitivinicola*. Printed in Portugal. – 2014. – Vol. 29. – № 12. – P. 110–121.

301. Beluchenko I. S. Application of Complex Compost in the Course of Winter Wheat Cultivation / I. S. Belyuchenko, O. A. Mel'nik // *Russian Agricultural sciences*. – 2014. – № 3. – pp. 29–31.

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

303. Belyuchenko I.S. As to the evolutionary relationships of different level systems in the biosphere / I. S. Belyuchenko // *Экол. вестник Сев. Кавказа*. – 2005. – Т. 1. – № 2. – С. 17–50.

304. Belyuchenko I.S. Evolutionary and ecological approaches to the plants introduction in practice / I. S. Belyuchenko // *Экол. вестник Сев. Кавказа*. – 2005. – Т. 1. – № 2. – С. 104–111.

305. Belyuchenko I.S. Living organisms in household and production wastes as functional basis compound compost formation / I. S. Beluchenko // *Ecology, Environment and Congervation Paper, India*, 2015. – V. 21. – P. 47–56.

306. Clay K. Fungal endophytes of grasses: a defensive mutualism between plants and fungi / K. Clay // *Ecology*. – 1988. – V. 69. – № 1. – P. 10–16.

307. Clement A. Effects of nitrogen supply and spatial arrangement on the grain yield of a maize/soybean intercrop in humid subtropical climate / A. Clement, F. P. Chalifour, H. P. Bharati, Ch. Gendron // *Can. J. Plant Sci.* – Jan. 1992. – Vol. 72. – № 1 – P. 57–67.

308. Clement A. Nitrogen and light partitioning in a maize/soybean intercropping system under a humid subtropical climate / A. Clement, F. P. Chalifour, H. P. Bharati, Ch. Gendron // *Can. J. Plant Sci.* – Jan. 1992. – Vol. 72. – № 1 – P. 69–82.

309. Ezuman H. S. Population and planting pattern effects on intercropped maize and cowpea / H. S. Ezuman, J. E. C. Ikeorgu // *J. Agronomy & Crop Science.* – 1993. – Vol. 170. – P. 187–194.

310. Gorchakova A. Yu. About features of grass brunching / A. Yu. Gorchakova., I. S. Belyuchenko // *Bothalia Journal.* Pretoria, South Africa. – 2014. – Vol. 29. – № 8. – P. 80–98.

311. Gorchakova A. Yu. Revisiting of grass brunching / A. Yu. Gorchakova., I. S. Belyuchenko // *Bothalia journal.* Pretoria, South Africa, 2014. – Vol. 44. – № 8. – P. 163–179.

312. Gorchakova A. Yu. About aftergrowth of grasses / A. Yu. Gorchakova., I. S. Belyuchenko // *Bothalia Journal.* Pretoria, South Africa, 2014. – Vol. 44. – № 6. – P. 13–20.

313. Gorchakova A. Yu. Development and yield capacity of grass / A. Yu. Gorchakova., I. S. Belyuchenko // *Life Science Journal*, 2014. – 11(11). – P. 467–472.

314. Infante F. P. Accumulation of the root mass in a years sowing of the herbaceous perennial / F. P. Infante, I. S. Beluchenko // *Proceed. 12 Intern. Grassid. Congr., Moscow*, 1974. – P. 97–110.

315. Kurakov AV. Microscopic fungi of soil, rhizosphere, and rhizoplane of cotton and tropical cereals introduced in southern Tajikistan / A. V. Kurakov, H. T. H. Than, I.S. Belyuchenko // *Микробиология.* – 1994. – Т. 63. – № 6. – С. 1101.

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

317. Venugopal N. Influence of maize (*Zea mays*) crop residue and nitrogen on the productivity and economics of maize + soybean (*Glycine max*) intercropping under paired system of planting / N. Venugopal, K. Shivashvankar // *Indian J. Agron.* – Desember 1991. – Vol. 36. – № 4. – P. 502–507.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение.	3
Глава 1. Экологические аспекты симбиогенного развития организмов.	7
Глава 2. Совместные посевы – современная проблема . практической экологии.	54
Глава 3. Взаимоотношения биоты в агроландшафтах	102
Глава 4 Совмещенные посевы однолетних культур – важная проблема теоретической экологии.	137
Глава 5. Смешанные посевы растений и физико-химические свойства почв агроландшафта..	171
Список литературы	230

Научное издание

Белюченко Иван Степанович

**СОВМЕЩЕННЫЕ ПОСЕВЫ
В СЕВООБОРОТЕ АГРОЛАНДШАФТА**

Монография

В авторской редакции

Дизайн обложки – Н. П. Лиханская

Подписано в печать 24.03.2016. Формат 60×84^{1/16}.

Усл. печ. л – 15,3, Уч.-изд. л. – 12,0.

Тираж 80 экз. Заказ № 166

Типография

Кубанского государственного аграрного университета.

350044, г. Краснодар, ул. Калинина, 13