

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА
И ПРОДОВОЛЬСТВИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

Учреждение образования
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

В. П. Валько, А. В. Щур

ОСОБЕННОСТИ БИОТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ЗЕМЛЕДЕЛИЯ

Минск
БГАТУ
2011

УДК 631.4

Валько, В. П. Особенности биотехнологического земледелия /
В. П. Валько, А. В. Щур – Минск : БГАТУ, 2011. – 196 с. : ил. –
ISBN 978-985-519-481-2.

В монографии освещены результаты теоретических и экспериментальных исследований по вопросам обработки почвы при ее сельскохозяйственном использовании и проблемы воспроизводства ее плодородия. Выдвигаются новые подходы к почве как объекту сельскохозяйственного использования, анализируется влияние обработки почвы, удобрений, средств химической защиты на количественный и качественный состав микрофлоры почвы, ее биологическую активность и воспроизводительную функцию. Рассматриваются вопросы построения новой системы ведения сельскохозяйственного производства на биогеоэкологической основе.

Издание предназначено для научных работников, руководителей и специалистов сельскохозяйственных предприятий, преподавателей и студентов высших учреждений образования, экологов и других специалистов в области охраны окружающей среды.

Табл. 60. Ил. 23. Библ.: 92 назв.

Рецензенты:

заведующий лабораторией РУП «Институт мелиорации
и луговодства НАН Беларуси», доктор сельскохозяйственных наук *П. В. Тиво*;
заведующая лабораторией РУП «БелНИИ овощеводства НАН Беларуси»,
доктор сельскохозяйственных наук, доцент *В. Л. Налобова*

ISBN 978-985-519-481-2

© БГАТУ, 2011

ВВЕДЕНИЕ

Несмотря на успехи в растениеводстве, достигнутые во второй половине XX столетия, сегодня большинство ученых и специалистов понимают, что процессы интенсификации сельскохозяйственного производства выдвигают целый ряд принципиально новых научных и социально-экономических проблем. Наиболее важные из них – это всевозрастающая энергетическая «цена» каждой дополнительной калории, увеличивающаяся опасность нарушения равновесия и загрязнения окружающей среды, обеспечение стабильности и большей независимости сельского хозяйства от капризов погоды.

Разрушение и загрязнение природной среды в наше время стали глобальными, и поэтому поиск путей выживания и сохранения среды обитания для человека становится все более актуальным. Уменьшение разнообразия фауны и флоры, загрязнение окружающей среды пестицидами, нитратами, тяжелыми металлами, возрастающие масштабы эрозии почвы убедительно свидетельствуют о наличии глобального экологического кризиса. Указанные процессы не только нарушают равновесие биосферы, но и значительно снижают продуктивность сельскохозяйственных угодий.

Это привело к тому, что сельскохозяйственная отрасль, базирующаяся на использовании неисчерпаемой даровой энергии солнца (около 95 % сухих веществ растений – это аккумулированная солнечная энергия), оказалась в числе ресурсо- и энергорасточительных и природоопасных. И причиной этому – односторонняя химико-техногенная стратегия интенсификации сельского хозяйства, которая базируется на использовании всевозрастающих затрат невозобновляемой энергии, и игнорирование и подавление в агроландшафтах механизмов саморегуляции. Такая стратегия оказалась не способной обеспечить устойчивое развитие сельскохозяйственного производства. Академик А. Жученко приводит красноречивый пример этому. Если в 1948 г. в США при использовании 2 тыс. т

пестицидов потери урожая составляли 17 %, то 30 лет спустя количество применяемых пестицидов возросло до 24 тыс. т, а потери урожая достигли 30 %. Темпы роста затрат на пестициды в 4–5 и более раз опережали темпы прироста объемов сельскохозяйственной продукции.

Важное биологическое свойство почвы – ее воспроизводительная функция, которая служит основой сельскохозяйственного воспроизводства плодородия почвы, не должна сводиться к набору отдельных химических или физических показателей, а должна учитывать и функционирование почвенной биоты, цикличность процессов, протекающих в системе «растение–почва». Изоляция почвы от растительного покрова приводит к изменению состава почвенной биоты, нарушению круговорота веществ и снижению биопродуктивности. К тому же, возможности солнечной энергии используются не в полную силу при производстве растениеводческой продукции. В Беларуси часть почвы 7–8 месяцев находится без растительности. При этом следует отметить, что количество энергии, накапливаемой растениями, в 2–3 раза превышает техногенную энергию.

Из сказанного следует, что сельскохозяйственная наука и практика в III тысячелетии не могут развиваться без коренного пересмотра и переоценки всех исторически сложившихся тенденций в сельском хозяйстве. Основной мотив такого пересмотра – поиски путей соответствия сельскохозяйственных технологий природным биогеоэкологическим процессам. На этой основе будет базироваться стратегия сельского хозяйства будущего, основанного на повышении общей биопродуктивности с наименьшими затратами и высокой стабильностью.

1. ПРОБЛЕМЫ СОВРЕМЕННОГО СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА

Среди многих проблем, которые необходимо решать безотлагательно для обеспечения устойчивого развития земледелия в республике, первостепенное значение имеет осуществление комплекса мер по сохранению и повышению плодородия почвы. И в первую очередь необходимо остановить разрушение почвы за счет водной и ветровой эрозии. Отрицательное влияние эрозионных процессов заключается не только в разрушении почвенного покрова и снижении почвенного плодородия, но и в снижении экономической эффективности сельскохозяйственного производства и заметном осложнении экологической ситуации.

В условиях Беларуси плоскостной смыв проявляется уже на склонах с крутизной 1°, а на открытых мелиорированных территориях Полесья песчаные и торфяно-болотные почвы подвергаются ветровой эрозии уже при скорости ветра 3–4 м/с. В большей степени почвы эродированы в Витебской (14,0 %), Гродненской (12,0 %), Могилевской (11,5 %) и Минской областях (10,8 %), где преобладают процессы плоскостного смыва. В Гомельской (7,8 %) и Брестской областях (9,4 %) преобладают дефляционные процессы. Всего 65,5 % пашни в республике деградировано.

Основная причина деградации почвы – это ее обработка, основанная на отвальной вспашке, которая не только не отвечает требованиям сегодняшнего дня, но и наносит большой урон в виде растущей деградации почв, снижения плодородия и эффективности сельскохозяйственного производства в целом. Если в 1976 г. в республике было 2,1 млн га пахотных почв, подверженных водной и ветровой эрозии, то в настоящее время – 3,8 млн га (65 % пашни), и разрушение почвы продолжается, несмотря на проводимые защитные мероприятия. Недобор урожая на таких почвах колеблется от 20 до 60 %. Данные Белорусского РУП «Институт почвоведения

и агрохимии» НАН Беларуси свидетельствуют о том, что при зяблевой вспашке даже поперек склона с каждого гектара смывается 18 и более тонн почвы. А в Брестской области появились пыльные бури, как на Кубани. Разрушение почвы является основной причиной снижения экономической эффективности сельскохозяйственного производства в последние годы. Общеизвестно, что уровень эрозии почвы нельзя считать допустимым, если ежегодный объем превышает 12,5 т/га. В нашей стране потери от эрозии значительно превышают допустимый уровень. Аналогичная ситуация возникла 40 лет назад в США, когда из-за разрушения почвы эффективность сельскохозяйственного производства резко снизилась, и появились перспективы прямых убытков и потери устойчивости сельскохозяйственного производства в стране. Осознав опасность этого явления, Белый дом, Конгресс, общественность страны пошли на кардинальные меры по предотвращению эрозии почв: были приняты законодательные акты, предусматривавшие возмещение ущерба, наносимого земельным и водным ресурсам в процессе обработки почвы, созданы специальные государственные службы, оказывающие фермерам техническую и практическую помощь при внедрении почвозащитных технологий, и Общенациональный центр по развитию почвозащитных технологий, что дало дополнительный толчок ускоренному внедрению их в США. Правительство за короткий срок организовало два общенациональных обследования земельных и водных ресурсов, в результате чего все почвы были разбиты на четыре класса и пять видов почвозащитной обработки, отличающихся степенью механического воздействия на почву: нулевая, гребневая, полосная, мульчирующая, сокращенная. Из всех видов обработки почвы наибольшее распространение получила мульчирующая. В нашей стране на всех видах почв господствует один вид обработки – вспашка. Но особенно недопустима зяблевая вспашка, когда 7–8 месяцев почва подвергается разрушительному воздействию воды и ветра. Вместе с почвой вымывается 200 кг гумуса, 10 кг азота, 5 кг фосфора, 6 кг калия. Если учесть, что ежегодно в республике поднимается 2 млн га зяби, то получается, что мы теряем ежегодно 400 тыс. т гумуса, 20 тыс. т азота, 10 тыс. т фосфора и 12 тыс. т калия. Необходимо учесть, что при вспашке идет усиленная минерализация гумуса. Для того чтобы восполнить потери гумуса только от эрозии, необходимо вывести на поля

дополнительно 10 млн т органических удобрений, плюс 40 млн т для восполнения гумуса, разложившегося при возделывании сельскохозяйственных культур. Такого количества органики в республике нет. По расчетам экономистов, затраты только на перевозку и внесение органических удобрений до 5 км на 1 тонну составляют в среднем 15–20 тыс. руб. Чтобы вывести такое количество удобрений на поля, необходимо 760 млрд руб. Не все хозяйства располагают необходимыми финансовыми ресурсами, чтобы выполнить такую работу. Это привело к тому, что содержание гумуса на пашне в последнее время снизилось в 65 районах республики [16]. Поэтому регулировать органическое вещество почвы необходимо, в основном, структурой многолетних и однолетних бобовых и бобово-злаковых трав. В Нидерландах, например, 70 % общей площади земель сельскохозяйственного назначения занято посевом многолетних трав. Благодаря этому основную часть кормов в стране получают с высокой энергетической эффективностью и полностью обеспечивают свое население продуктами животноводства. Многолетние травы, при урожайности 250–300 ц/га зеленой массы, оставляют такое количество пожнивных и корневых остатков, что равносильно внесению 60 т/га навоза. При наличии в севообороте 25 % многолетних трав, продуктивность пашни увеличивается на 20 %, обеспечивается положительный баланс гумуса в почве, на 55 % снижается потребность в минеральных удобрениях. Поэтому, если иметь 855 тыс. га многолетних бобовых трав, то за счет симбиотической азотфиксации есть возможность получить 331,5 тыс. т симбиотического азота. Ежегодно по республике потребляется около 512 тыс. т азотных удобрений. Таким образом, существует возможность покрывать 65 % потребности в азоте за счет биологического синтеза и экономить ежегодно около 170 млрд руб., сохранить от загрязнения окружающую среду. Биологический азот экологически безвреден и не вымывается осадками в грунтовые воды. В клину многолетних бобовых трав предпочтительно иметь одновременно люцерну, клевер, эспарцет. Первая отличается стабильно высокими размерами азотфиксации (коэффициент азотфиксации надземной массы составил 0,86, у клевера – 0,79, эспарцета – 0,80). Клевер характеризуется большим биологическим потенциалом в первый год пользования, а эспарцета – на бедных почвах. Таким образом, обогащение почвы симбиотическим азотом, в зависимости

от вида многолетних трав, уровня их обеспеченности фосфором и калием, погодных условий составляет 175–258 кг/га и более. Лимитирующими факторами этого процесса являются: слабая обеспеченность почвы органическим веществом, служащим питательным субстратом для микроорганизмов, и соединениями фосфора; избыток минерального азота. К сожалению, земледелие в республике развивается не в направлении его биологизации. Площадь многолетних трав сократилась с 1451 тыс. га в 1990 г. до 781 тыс. га в 2011 г., а доля бобовых в структуре многолетних трав составила только 32 % при необходимых 70 %. И, как следствие, рентабельность производства зерна снизилась с 82,4 % в 1990 г. до –14,7 % в 2010 г. И в целом эффективность сельскохозяйственного производства резко снизилась. В 2009 г. рентабельность реализованной продукции растениеводства и животноводства упала до –0,5 %, а в 2010 г. составила –1,7 %.

Однолетние бобово-злаковые смеси выполняют важную агротехническую функцию не только как хорошие предшественники для многих культур, но и являются большим подспорьем в пополнении органического вещества почвы. Результаты авторских исследований показали, что возделывание райграса однолетнего при подсеивании его в однолетние бобово-злаковые смеси позволяет не только получать высокие урожаи надземной массы, но и значительно увеличить количество корневых и поукосных остатков. При выращивании его с пелюшко-овсяной смесью в среднем за 3 года количество корневых и поукосных остатков увеличилось на 55,7 %, с вико-овсяной смесью – на 72,3 %, с люпино-овсяной – 49,2 % по сравнению с аналогичными смесями без райграса и составило соответственно 3,98; 3,83; 4,46 т/га. Ценным достоинством этого приема является то, что он не требует дополнительных затрат на заготовку и внесение органических удобрений, а баланс гумуса из отрицательного становится положительным [23]. К сожалению, на практике этому приему не уделяется внимания, и об этом говорит тот факт, что по площадям, занимаемым однолетними травами, ЦСУ даже не ведет учета.

Одним из дешевых источников пополнения почвы органикой и питательными веществами является возделывание сидеральных культур. С урожаем 300 ц/га зеленой массы редьки масличной и рапса в почву поступает, соответственно, 549 и 447 кг/га NPK.

Но при этом принципиальное значение имеет способ заделки зеленых удобрений. В опытах по воздействию на урожай первой культуры более эффективной оказалась заделка тяжелыми дисковыми боронами на глубину 10–12 см. Прибавка урожая зерна составила 3,0–4,5 ц/га по сравнению с глубокой запашкой плугом.

И, конечно, самый дешевый источник пополнения почвы органическим веществом – это солома. Этот источник также не используется в полной мере. Эффективным приемом является измельчение и заделка соломы дисками (с добавлением 10 кг азота на 1 т), что в 4–5 раз дешевле применения навоза. Себестоимость зерновых при этом снижается на 19–20 %. Общеизвестно, что весной солому сжигают, а это недопустимо, так как приводит к дегумификации почвы, потере влаги, частичной гибели почвенных микроорганизмов и резкому падению плодородия почвы. Необходимо принятие законодательных актов, согласно которым за сжигание соломы виновных привлекать к ответственности как за злостное браконьерство, наносящее ущерб природе.

В условиях республики имеет существенное значение не только срок сева сельскохозяйственных культур, но и срок основной обработки почвы. Исследованиями, проведенными на экспериментальной базе «Жодино» Смолевичского района, установлено, что перенесение сроков вспашки с августа на октябрь приводит к снижению продуктивности в среднем на 6 ц/га. В целом по республике в оптимальные сроки (с августа по октябрь) поднимается зяби 6–10 %. Из-за несвоевременной зяблевой обработки ежегодно теряется около 600 тыс. т зерна. Объясняется это низкой производительностью плугов, дефицитом и высокой стоимостью горюче-смазочных материалов. Если за 1 час трактором Т-150 с плугом ПЛН-5-35 можно вспахать 1,04 га, то чизелем за это время можно обработать 3,0–3,2 га. Чизельная основная обработка почвы позволяет проводить эти работы в оптимальные сроки, что дает возможность повысить урожайность на 6 ц/га, в 1,5 раза уменьшить энергозатраты и ежегодно экономить 10 л топлива на каждом гектаре (по республике это составит 20 тыс. тонн топлива), избежать потерь питательных веществ и разрушения почвы. Необходимо срочно пересмотреть устаревшие стереотипы и отменить обязательную зяблевую обработку почвы плугом. Многие творчески мыслящие руководители

и специалисты давно уже применяют такой прием. Так поступают, например, в СПК «Рассвет» им. К. П. Орловского Кировского района. Исключив зяблевую вспашку на 6 тыс. га, сэкономили 48 т дизельного топлива, что в денежном выражении составило 10 млн руб., но урожайность зерна получают по 60–70 ц/га. Осеннюю вспашку проводят только на полях, где вносится органика, и при подъеме пласта многолетних трав.

Севооборот – это основной закон для земледельца. Важно подчеркнуть диалектическую сущность севооборота, которая заключается в том, что он возник как необходимость разумного взаимодействия человека с природой. Придание в республике первостепенного значения зерну, как основному виду сельскохозяйственной продукции, порождает ряд негативных последствий, среди которых разбалансированность севооборотов. В настоящее время удельный вес зерновых в севооборотах составляет 60–70 %, и поэтому ежегодно 600–800 тыс. га зерновых засеваются по стерневым предшественникам. В опытах установлено, что даже при однократном размещении зерновых культур по стерневым предшественникам отмечается резкое увеличение засоренности посевов пыреем ползучим и другими многолетними сорняками [17]. Не в полной мере применяется такой важный и простой способ, позволяющий сохранить влагу в почве, сдерживать засоренность полей, как послеуборочное лущение стерни. Если в 1986 г., например, оно проводилось на 100 % пахотных земель, при основной обработке почвы, то в 2010 г. – лишь на 13 %. Получается, что борьба с сорняками идет не биологическим, агротехническим путем, а с использованием дорогостоящих химических препаратов, что разрушает окружающую среду, негативно влияет на здоровье нации, подрывает экономику хозяйств. Например, в 2007 г. в Беларуси производные глифосата применялись на площади 1,15 млн га. При оптимизации всего комплекса агротехнических мероприятий (обязательное лущение стерни, соблюдение сроков использования многолетних трав, севооборотов, применение интенсивного занятого пара) возможно снижение затрат на эти цели на 26,4 млн дол. США [74], или на 73,9 млрд бел. руб.

Эффективность земледелия во многом определяется уровнем обеспеченности почв элементами минерального питания. В минимуме чаще всего находятся доступные растениям азотсодержащие

соединения. Решение этого вопроса за счет наращивания производства и применения промышленных азотных минеральных удобрений, даже при современном уровне развития производительных сил, позволит лишь на 30 % удовлетворить потребность в них. Кроме того, энергозатраты на производство, транспортировку, хранение растут более высокими темпами, чем отдача от них. Например, если в 50-е гг. XX в. внесение 1 т удобрений в среднем повышало урожай зерновых на 11,5 т, то в 60-е гг. прибавка составила только 8,3, а в 70-е – снизилась до 5,9 т [46]. Исследованиями установлено, что доля азота минеральных удобрений в формировании урожая составляет 40 %, а остальные 60 % теряются в результате вымывания в поверхностные и грунтовые воды, что значительно ухудшает экологическую обстановку и наносит значительный экономический ущерб. В результате обследования выяснилось, что вода в 945 колодцах (по республике), или 75 % питьевой воды в сельской местности, не соответствует стандарту. ПДК по нитратам (45 мг/л) во всех обследованных колодцах превышала норму в 2–3 раза, а в зонах животноводческих комплексов – в 15–20 раз. По данным Республиканского центра гигиены, эпидемиологии и общественного здоровья, вода с повышенным содержанием нитратов особенно опасна для грудных детей: случаи отравления нитратами детей (со смертельным исходом) имели место в Мостовском районе Гродненской области («Беларусь сегодня», 10.06.2008 г.). При употреблении воды с повышенным содержанием нитратов у взрослых людей повышается риск возникновения раковых заболеваний, поэтому сельским жителям для приготовления пищи необходимо применять бутилированную воду.

Недостаток обработки почвы с оборотом пласта, по мнению многих исследователей [78], в том, что это глубокое вмешательство в жизнь почвы вызывает разрушение природного строения почвенных зооценозов и снижение способности к биологическому саморегулированию. Свободно живущие азотофиксирующие виды бактерий *Azotobacter*, *Klebsiella*, синезеленые водоросли – *Nostoc*, *Ahabaena* (цианобактерии) фиксируют значительное количество азота на гектар в год. В то же время некоторые ученые, исходя из теоретических предпосылок, считают, что усвоение атмосферного азота свободноживущими азотофиксирующими почвенными микроорганизмами не может иметь большого значения. С такими высказываниями

согласиться нельзя. Вот, например, как оценивают значение биологического процесса азотификации для всех почв США Липман и Конибар. По их сравнительным данным, пополнение связанного азота в почвах США происходит за счет: органических удобрений – 11 %, минеральных удобрений – 6, дождевых вод – 23, жизнедеятельности свободно живущих азотофиксирующих бактерий – 27, жизнедеятельности симбиотических бактерий – 34 %. Человек своими действиями не способствует жизнедеятельности азотофиксирующих бактерий, а мешает. Например, анаэробный азотофиксатор *Clostridium pasteurianum* находится в нижних слоях почвы, аэробный *Azotobacter chroococcum* – в верхних слоях, и когда в процессе вспашки их переворачивают, то не работает ни тот, ни другой.

В последние годы, помимо известных уже азотофиксаторов, различными учеными выделено много новых микроорганизмов, обладающих этой способностью. Имеются азотофиксаторы среди грибов, актиномицетов, олигонитрофильных бактерий, некоторых видов синезеленых водорослей. Сейчас уже ясно, что функция усвоения азота из воздуха довольно широко представлена у микроорганизмов, и эту способность микроорганизмов необходимо умело использовать. Например, необходимо заботиться о достаточном количестве органического вещества в почве, которое служит для микроорганизмов источником энергетического материала, при хорошей обеспеченности которым проявляется в полной мере азотофиксирующая способность. Для интенсивного земледелия, построенного на притоке извне синтетических веществ и энергии, нацеленного на сиюминутную прибыль, микробный блок представляется вредной подсистемой, которую пытаются игнорировать или устранить. Налицо отказ от «услуг» бактерий, фиксирующих азот воздуха. Все названные причины привели к тому, что сельскохозяйственная отрасль, базирующаяся на использовании даровой энергии солнца, оказалась в числе ресурсорасточительных и природоопасных.

Агропромышленный комплекс республики является крупным потребителем ресурсов. Ежегодно ему необходимо более 1,1 млн т автотракторного топлива, что составляет 35 % общереспубликанского расхода. На технологические цели в растениеводстве и животноводстве затрачивается 2,7 млрд кВт·ч электроэнергии, 2,6 млн Гкал. тепловой энергии. Годовая потребность в металле (в виде готовых машин) составляет 350 тыс. т. Если все материаль-

ные ресурсы, потребляемые на производство продукции растениеводства и животноводства (нефтепродукты, металл, удобрения, химикаты и пр.), перевести в условное топливо (у. т.), то все затраты энергоресурсов на получение 1 ц зерна составят 28–30 кг у. т., картофеля – 9–12, говядины – 460–530, свинины – 465–512, молока – 83–93 кг у. т. на центнер. Эти показатели, при их условности, в 2–4 раза превышают уровень ресурсоемкости продукции сельского хозяйства США. Если в 80-х–90-х гг. прошлого века в структуре затрат на производство сельскохозяйственной продукции топливо составляло 7–8 % от общих затрат, то в настоящее время эти соотношения изменились: затраты на топливо и амортизационные отчисления, на эксплуатацию машин составляют 80 %, а затраты труда – 3–5 %. На производство продуктов продовольствия в расчете на 1 человека в Беларуси затрачивается 100–150 кг топлива, 102 кг минеральных удобрений, в Англии, соответственно, – 24 и 35; Германии – 52 и 35 кг/чел. [79]. Таким образом, национальное сельское хозяйство все еще остается энергоемким, материалоемким, с низкой производительностью труда по сравнению с развитыми странами. Следовательно, успешно развивать сельское хозяйство можно только за счет широкомасштабного освоения ресурсо- и энергосберегающих технологий при переходе на почвозащитное и энергосберегающее земледелие. Гордиться достигнутыми успехами в урожайности республике не приходится, потому что скромные успехи в этой области добыты слишком большой ценой: разрушается почва, подорвана экономика хозяйств, загрязнены поверхностные и грунтовые воды, продовольственная безопасность страны под вопросом.

Анализ неблагоприятных тенденций в современном земледелии свидетельствует о том, что в их основе лежат нарушения сложных биологических процессов происходящих в почве. И чем хуже почвенно-климатические и погодные условия, тем важнее роль биологизации производственного процесса. За счет биологизации удастся уменьшить зависимость агроэкосистем от нерегулируемых факторов внешней среды (мороз, засуха и т. п.) и снизить затраты на производство. Наряду с совершенствованием отдельных агротехнических приемов, в земледелии нужна комплексная разработка и внедрение новой системы земледелия. Она должна одновременно обеспечивать повышение

эффективности сельскохозяйственного производства и расширенное воспроизводство почвенного плодородия, защиту водных ресурсов. Система земледелия, которая не обеспечивает защиту почв от разрушения, не может считаться эффективной. Для повышения природоохранной роли систем земледелия необходимо добиться решения организационного вопроса о том, чтобы плодородие почв стало важнейшей составляющей оценки сельскохозяйственного производства. Сохранение и повышение плодородия почвы, водных ресурсов, наравне с производственными показателями, должны быть одним из важнейших критериев оценки хозяйственной деятельности сельскохозяйственных предприятий.

2. НАУЧНОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПОВЫШЕНИЯ ПЛОДОРОДИЯ ПОЧВЫ НА БИОГЕОЦЕНОТИЧЕСКИХ ПРИНЦИПАХ

Плодородие почвы – главное ее качество. Плодородие определяется совокупным действием природных процессов и производственной деятельностью человека. Различают плодородие почв естественное (природное) и искусственное.

Естественное плодородие определяется тесным взаимодействием природных факторов (механического состава, содержания органических веществ, почвенной микробиоты, фитоценозов, климата).

Искусственное плодородие создается производственной деятельностью человека: обработка почвы, внесение минеральных, органических удобрений, соблюдение севооборота и т. д. Оно существует не отдельно от природного плодородия, а сливается с ним.

Несмотря на успехи в растениеводстве во второй половине XX столетия, сегодня большинство ученых и специалистов понимают, что процессы интенсификации сельскохозяйственного производства выдвигают целый ряд принципиально новых научных и социально-экономических проблем.

Общепризнано, что естественные биогеоценозы значительно устойчивы во времени, продуктивность их сравнима или более высокая без дополнительного привлечения веществ и энергии по сравнению с агроценозами. Современные проблемы сельского хозяйства однозначно свидетельствуют о необходимости создания такой системы его ведения, которая способна к самоподдержанию в течение десятилетий (и даже столетий) на основе регулирования взаимодействия биотических и абиотических факторов, действующих внутри агроэкосистем и обеспечивающих накопление питательных элементов и сохранение системы.

Биотические компоненты, флора и фауна экосистемы оказывают прямое воздействие на ее способность удерживать и накапливать необходимые элементы питания, существенные для ее сохранения. Агротехнические приемы обеспечивают в определенной степени управление активностью почвенных микроорганизмов и беспозвоночных.

Естественные и агроэкосистемы имеют как общие свойства, так и различия. Выращивание промежуточных культур приближает агроэкосистемы к естественной, в этом же направлении действует минимизация обработки почвы. Поскольку все организмы в той или иной степени следуют правилу Вант-Гоффа, изменяя активность процессов приблизительно в 2–2,5 раза при повышении или понижении температуры на 10 °С, следовательно, погодные условия оказывают очень сильное влияние на накопление, распад и превращение органического вещества почвы.

2.1. ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ ПЛОДОРОДИЯ ПОЧВЫ

Первая попытка объяснить процесс падения плодородия почвы при выращивании сельскохозяйственных культур и восстановления его в период залежи или перелога была сделана А. Тэером [57]. Он сопоставил факты увеличения количества органического вещества в почве после ее пребывания в залежи и его снижения после выращивания сельскохозяйственных культур. Автор сделал вывод, что растение питается перегноем и что в ходе выращивания культуры истребляют запас перегноя в почве, и поэтому дальнейшие их урожаи снижаются.

Этот вывод Тэер подтвердил опытом. Один сосуд наполнил почвой без прокаливания, другой – той же почвой, в которой прокаливанием было сожжено все органическое вещество. Урожай в первом сосуде оказался гораздо выше, чем во втором. Эти опыты послужили основанием гумусовой, или перегнойной теории питания растений. Было предложено заменить перелог удобренным паром, где навоз должен служить источником органического вещества в почве.

Опыты Вигмана и Польсторфа были продолжены Юстусом Либихом. Наука о почве в то время утверждала, что зольные элементы пищи растений входят в состав горных пород и при выветривании они переходят в усвояемое для растений состояние. При уборке

урожае зольные элементы отчуждаются из почвы, и поэтому их содержание в почве уменьшается. Предполагалось, что в залежи отчуждение золы идет более медленными темпами и величина запасов минеральной пищи для растений увеличивается, а при культурном использовании почвы выветривание минеральной части почвы не в состоянии покрыть текущей потребности растений, и урожаи падают. А поскольку выветривание совершается под воздействием атмосферы, то для этого необходимо было увеличить поверхность соприкосновения почвы с воздухом. Из этой теории вытекало, что система обработки почвы с оборотом пласта не удовлетворяет этим требованиям. Был предложен новый способ оборота пласта – взметом. Поставленные под углом 45° пласты давали максимальную дневную поверхность соприкосновения с воздухом по сравнению с пластами, лежащими плашмя. Но новая система обработки почвы взметом еще быстрее приводила к падению урожайности, чем старая обработка с оборотом пласта.

Паровая система земледелия от переложной отличалась тем, что после перелога можно было выращивать ценные хлеба (твердую пшеницу), а урожаи достигали значительной высоты. Паровая система не в состоянии была поднять урожаи так высоко, и выращивались чаще всего серые хлеба.

Согласно бытующим в то время взглядам считалось, что после многолетнего перелога в почве должно быть очень много усвояемой пищи для растений и что по окончании культурного периода эти усвояемые формы пищи израсходованы однолетними культурными растениями. Желая собрать материалы для подтверждения этих взглядов, профессор П. А. Костычев в России (черноземные степи) и Е. Рислер в Швейцарии [57] провели большое количество анализов почвы, вышедшей из-под залежи и дающей большие урожаи, и почвы, которую должны забрасывать в перелог. Их удивило то, что на «выпаханных» участках, дающих ничтожные урожаи, содержание элементов зольной пищи в усвояемой форме было больше, чем в почве, дающей высокие урожаи. Стараясь установить разницу между этими почвами, А. Костычев и Е. Рислер смогли уловить различие только в их структуре. Почва, дающая низкие урожаи, представляла собой бесструктурную массу, тогда как почва с высокой урожайностью отличалась прочностью комковатой структуры. Эти исследования явились основой создания травопольной системы восстановления плодородия почвы В. Р. Вильямса.

Детальное изучение процессов, протекающих в «выпаханной» почве, оставленной в перелог, высветило в общих чертах причины восстановления плодородия почвы. Было установлено, что после прекращения обработки поле вступает в бурьяновый перелог, то есть оно зарастает сплошным покровом сорняков (однолетние, озимые, двулетние, многолетние). К осени поле пронизано корневой системой сорняков, осенние и весенние осадки легко проникают в почву, увеличивая запасы влаги в ней. Поэтому на второй год перелог переходит из бурьянового в пырейный. Корневищные злаки находят здесь воду, воздух и большой запас зольной и азотной пищи. В первый год корневища пырея располагаются вокруг полостей, оставленных корнями бурьянов, но на второй и третий год развитие пырея достигает своего максимума с урожайностью 60–90 ц/га зеленой массы. Под влиянием комбинаций всех процессов в почве пырейного перелога постепенно обособляется комковатая структура, сначала грубая, затем, по мере накопления органического вещества, почва становится рыхлой и структурной.

Однако с увеличением количества органического вещества меняются и свойства почвы. После 7–10-летнего существования пырейный перелог становится тонконоговым. Пырей постепенно уступает место рыхлокустовым злакам (степная тимopheевка, костер прямой, житняки). С появлением рыхлокустовых злаков урожай сена резко падает до 15 ц/га. Процесс накопления органического вещества продолжается, но темп его становится более медленным. Перелог рыхлокустовых злаков продолжается 10–15 лет. Все запасы питательных веществ почвы переводятся в форму органического вещества, то есть в состояние, недоступное усвоению автотрофными рыхлокустовыми злаками, что, в свою очередь, приводит к смене их плотнокустовыми злаками – типцами. Типцовый перелог переходит на черноземах в ковыльную степь. Распахка перелога в бурьяновой стадии носит название пар. Пырейный перелог, распаханный через 4–5 лет, носит название мягкого перелога. Типцовый тонконоговый перелог принадлежит к разряду твердых перелогов. Угожье в стадии ковыльной степи носит название залежи, или целины.

Весь процесс восстановления плодородия почвы в перелогe распадается на три основные фазы (по В.Р.Вильямсу). В первой фазе идет восстановление структуры почвы под влиянием корневых систем бурьянов и корневищ пырея на грубые структурные элементы.

Во второй фазе под воздействием мочковатой корневой системы рыхлокустовых злаков структура почвы приобретает прочность комков.

В третьей фазе два первых процесса затухают и идет накопление органического вещества, элементов зольного питания и азота.

Высокий эффект переложной системы восстановления плодородия почвы, когда сама природа залечивала нанесенные ей раны, был налицо. Отрицательной стороной при этом была длительность восстановления плодородия (15–20 лет). Поэтому было предложено первую фазу, когда почва распадается на грубые структурные отдельности, заменить тщательной обработкой почвы. Эффект второй и третьей фазы может быть достигнут при совместном посеве рыхлокустовых злаков и многолетних бобовых. Таковы три главных положения, на которых основывается травопольная система земледелия В. Р. Вильямса. С позиций сегодняшнего дня видны достоинства и недостатки этой системы [24, 25].

По мнению академика А. П. Виноградова, существует один закон для распространения химических элементов в литосфере и в живом веществе: состав организмов отражает химический состав окружающей среды – количество тех или иных химических элементов в живом веществе находится в обратной зависимости от их атомного веса, то есть живой организм богаче легкими элементами, которые более подвижны и легко вовлекаются в круговорот воды.

Растительные ткани на 90 % состоят из воды (H_2O). Это и среда, в которой находятся компоненты клетки, и растворитель, и химический реагент.

Около 9 % от веса растения приходится на углерод, который входит в состав всех органических соединений. Растения получают его из углекислого газа, который усваивается растением в процессе фотосинтеза с поглощением световой энергии и выделением кислорода.

На долю остальных элементов приходится лишь 1 % от веса растения, около четверти этого процента приходится на азот.

Фосфора содержится в растениях 0,06 %. Он входит в состав вещества наследственности – нуклеиновой кислоты. Благодаря аденозинтрифосфорной кислоте клетка запасает, переносит, хранит и при необходимости использует энергию.

Калий позволяет растению всасывать из почвы воду и необходимые соли, так как повышенная концентрация калия в клетке действует как «насос» [27].

Из почвы растения извлекают азот, фосфор и калий. В меньших количествах – серу, бор, магний, медь, селен и другие микроэлементы.

Если почвы удобрялись навозом, то микроэлементов достаточно для большинства культур. Чаще не хватает азота и фосфора. Азот легко улетучивается и вымывается, используется микробами, а высвобождается он в основном из органики, которой в почве недостаточно. Фосфор находится в виде соединений, которые растения не могут усвоить. Содержание азота и фосфора напрямую зависит от количества в почве гумуса, а содержание калия, который находится в недоступной для растений форме, зависит от состава минеральной части почвы. Растениям доступны только растворимые в воде и слабых кислотах минеральные вещества. Поэтому влагозапасы почвы также важны для воспроизводства плодородия.

Таблица 1

Влияние механического состава на влагоемкость почвы

Почвы	Влагоемкость (% от объема почвы)	Запас воды в слое 1 м (в м ³ на 1 га)
Песчаные	15–18	1500–1800
Супесчаные	22–24	2200–2400
Суглинистые	26–28	2600–2800
Глинистые	34–38	3400–3800
Глинистые черноземы	38–41	3800–4100

Минеральные удобрения компенсируют недостаток питательных веществ, растворимых в воде и слабых кислотах. Хотя в слое почвы 20 см на гектаре содержится в среднем: 3–11 т N; 20–40 т K_2O и P_2O_5 , но они недоступны для растений. Переход недоступных минеральных веществ в доступные происходит под влиянием микроорганизмов, химических реакций и физических процессов, и скорость этого перехода регулируется оптимальной влажностью, воздушным режимом, кислотностью почвы. Однако до настоящего времени под плодородием почвы понимали наличие в ней достаточного количества гумуса, питательных веществ и мало обращали внимания на почвенную биоту, которая и поставляет эти питательные вещества для растений, причем поставляет в необходимое для них время.

2.1.1. Роль почвенной биоты в воспроизводстве плодородия почвы

Человеческая деятельность коренным образом изменила распределение на земле фито- и зооценозов. Огромные площади использу-

ются в сельском хозяйстве. Вовлечение почвенного покрова в сельскохозяйственное использование при непрерывной интенсификации оказывает влияние на свойства практически всех типов почв, изменяя их химический состав, физическую структуру, содержание и качественный состав гумуса и плодородие почв в целом, что видно из авторских и других исследований. Почвенное плодородие – наиболее интегральная функция, которая определяется взаимодействием всех свойств почвы. Долгое время почвенное плодородие толковалось упрощенно и связывалось в основном с химическими и агрофизическими свойствами. Накопленный в современной литературе материал свидетельствует о том, что правильно понять законы почвенного плодородия и разработать рекомендации по его эффективному использованию можно лишь на основе целостного функционально-динамического подхода [30, 69]. К сожалению, до сих пор такой подход не реализован, и к почве продолжают относиться в основном как к объекту сельскохозяйственного труда, имеющему одну существенную функцию – источника элементов питания. Ведь элементы питания – это следствие работы почвенных микроорганизмов, которые и поставляют их для растений, на что практики и исследователи не обращали должного внимания. Если почву лишить микроорганизмов, то гумус будет лежать в почве бесполезным для растений балластом и никак не влиять на рост и развитие растений. Только микроорганизмы, выделяя различные ферменты и другие биологически активные вещества, способствуют разложению гумуса на более простые соединения, которые могут усваиваться сельскохозяйственными растениями. Особенно активны в этом отношении бактерии из рода *Pseudomonas* и другие микроорганизмы.

Важный результат трансформации – освобождение в ходе разложения органики энергии в тепловой и химической форме, которая была аккумулирована при фотосинтезе. По мнению А. И. Перельмана, это имеет не меньшее значение, чем образование органических соединений.

Динамикой органического вещества почвы во многом определяется и реализация почвой экосистемных и биосферных функций. Учение о функциях, которые выполняет почва в экосистемах и биосфере в целом, было разработано в трудах Добровольского, Никитина [30, 69], что явилось логическим развитием идей

В. В. Докучаева, В. И. Вернадского, В. Н. Сукачева, Б. Б. Польнова, А. А. Роде, С. В. Зонна, Н. П. Ремезова, В. А. Ковды и др.

Большинство экосистемных и биосферных функций почв, выделенных Г. В. Добровольским и Е. Д. Никитиным, связано с органическим веществом, которое является энергетическим субстратом для обитающих в почве организмов и источником питательных элементов для растений.

Трудами отечественных и зарубежных ученых [19, 48, 49, 55, 59] были установлены основные закономерности разложения и гумификации органических веществ в почве и зависимость этих процессов от климатических условий, биологической активности почвы.

В статьях и монографиях, посвященных теме органического вещества почвы, отмечается, что скорость разложения органики ставится в зависимость от активности микроорганизмов, в то же время в микробиологической литературе численность и биомасса микроорганизмов рассматриваются как функция содержания и качества органического вещества почвы.

В почве постоянно происходят превращения, отмершие корни, стебли растений и другие органические вещества подвергаются действию микроорганизмов и в первую очередь – низших грибов. Сначала разрушается клетчатка, затем лигнин. В результате образуется много органических кислот: щавелевая, масляная, уксусная, муравьиная, янтарная. Эти кислоты растворяют известняки, апатиты, разлагают алюмосиликаты. Происходит образование грубого гумуса (мор). Органические остатки здесь не имеют прочных связей с глинистыми минералами. Деятельность животных и микроорганизмов если и проявляется, то весьма слабо.

Цепь превращений органических веществ – это трофическая или пищевая цепь. Каждый живой организм в процессе питания преобразует органическое вещество и передает его дальше до цепи. Наблюдается сложная сукцессия (смена стадий) микроорганизмов. Это зависит от характера разлагающегося вещества, стадии разложения, наличия или отсутствия других микроорганизмов.

Почвенные животные механически разрушают растительный материал. В процессе такого разрушения многократно увеличивается поверхность растительных тканей, доступная для микроорганизмов. На разных типах почв они поедают от 20 до 100 % растительных остатков. Известно, например, избирательное поедание многими видами панцирных клещей, ногохвосток, отдельных видов

грибов, бактерий. Основная пища простейших – бактерии. Это наиболее многочисленные и распространенные почвенные организмы. Бактерии – одноклеточные существа, величина которых измеряется микронами. В одном грамме почвы их содержится от сотен тысяч до нескольких миллиардов. Считается, что на гектаре плодородной почвы масса живых бактерий достигает 0,5 т. Они многочисленны и многообразны по своим физиологическим функциям: одни разлагают жиры, другие – белки, третьи – углеводы и т. д.

В оптимальных условиях разложение органического вещества идет до простых минеральных солей с одновременным образованием гумуса, который удерживает образовавшиеся минеральные соли от вымывания и создает запас питательных веществ.

Почвенные грибы, которые по способу питания относятся к гетеротрофам, также играют большую роль в разложении органического вещества. Грибная флора обширна и многообразна и может достигать десятков тысяч экземпляров в грамме почвы. Особенно интенсивно идет разложение органических веществ в почвах, содержащих большое количество свежих, неразложившихся органических остатков.

Грибы – это одна из групп почвенной биоты, представляющая собой тонкие нити грибниц. Они играют важную роль в синтезе гумусовых веществ с поглощением аммиака и других летучих соединений, разлагают почвенные минералы, высвобождая из них элементы питания для растений. В свою очередь, микориза питается выделениями корней растений (органические кислоты, сахара, аминокислоты и т. д.), образуя симбиоз. Грибы являются, таким образом, связующим звеном между литосферой и фитоценозами. Мицелий грибов осуществляет восходящую транслокацию растворов биогенных элементов и нисходящую – в виде растворов органических веществ. Если учесть, что 85 % органических остатков в почве перерабатывается бактериями и грибами, то становится понятна их особая роль в воспроизводстве плодородия почвы и круговороте веществ.

Грибы, бактерии, простейшие синтезируют в почве биологически активные вещества: витамины, стимуляторы роста, антибиотики.

Витамины выделяются как живыми бактериями и грибами, так и отмершими микробными клетками. Некоторые витамины выделяются корнями растений. Больше всего микроорганизмы образуют тиамин, рибофлавина, никотиновой, аскорбиновой кислоты, пиридоксина и др. Их содержание в почвах колеблется в зависимости

от типа почвы, состава почвенной микрофлоры, степени окультуренности и т. д. На гектаре плодородной почвы, по данным академика Я. В. Пейве [72], за вегетационный период может накопиться около 400 г тиамин (витамин В₁), 300 г пиридоксина (витамин В₆) и более 1 кг никотиновой кислоты (витамин РР). Учитывая их высокую биологическую активность, даже относительно небольшие количества оказывают заметное влияние на количество и качество получаемой продукции, плодородие почвы в целом. Витамины оказывают большое влияние на развитие корневой системы растений. Например, при недостатке тиамин плохо развиваются корневые системы льна, клевера и других растений. Для гороха, люцерны и других культур необходима никотиновая кислота.

Отдельные виды плесневых грибов выделяют антибиотики (пенициллин), актиномицеты – стрептомицин, левомицетин и т. д. Поступая в клетки растений, антибиотики повышают бактерицидные свойства клеточного сока. Растения становятся устойчивыми к инфекционным заболеваниям, повышается их иммунитет. Это наблюдается на практике. В 2000 г. из-за отсутствия органических удобрений на садовом участке плодовые деревья были подкормлены минеральными удобрениями (нитрофоской). Деревья в этот год дали сравнительно неплохой урожай, но при хранении каждую неделю приходилось выбрасывать около 10 кг яблок из-за гнили. В 2001 г., когда деревья были подкормлены органическими удобрениями, сохранность яблок, при тех же условиях хранения, была значительно выше.

Наряду с витаминами и антибиотиками в почве имеются стимуляторы роста растений: ауксины, гетероауксины, гиббереллиновая кислота, которые активизируют рост и развитие растений.

Обработка почвы с оборотом пласта, внесение больших доз азотных удобрений, применение ядохимикатов нарушают природный гомеостаз почвы и прерывают трофическую пищевую цепь. И тогда начинают проявляться негативные тенденции и болезни (дегумификация почвы, корневые гнили, снежная плесень, фитопфтора, нематоды и пр.). Например, те же простейшие выделяют биологически активные вещества, которые стимулируют рост корней растений, микроорганизмов, подавляют активность вредных для растений грибов и сами служат пищей для многих других микроорганизмов.

В гумусе преобладают глинисто-гумусовые комплексы с прочной связью. Образование таких форм гумуса связано с деятельностью микрофлоры и почвенной фауны, которые действуют настолько взаимосвязано, что выделить вклад отдельных живых компонентов почти невозможно. Микроморфологи на почвенных шлифах, которые изготавливают после пропитывания почвы специальным фиксатором, наглядно показали, что в некоторых почвах практически весь гумус составляют экскременты микрофауны или продукты дальнейшего разложения этих экскрементов микроорганизмами.

К микрофауне относят животных размером от 0,1 до 2,0–3,0 мм. Это мелкие паучки, термиты, клещи, ногохвостки, последние больше всего распространены в нашей местности.

Численность клещей в лесах с мощной подстилкой доходит до 200–300 тыс. на 1 м² при биомассе до 20 кг на гектар. Питаются они спорами грибов и разлагающимися растительными остатками.

Ногохвостки (коллемболы) – низшие бескрылые насекомые. Численность ногохвосток колеблется от 10 до 50 млн на 1 м², а биомасса – от 0,2 до 6,4 г. Они устойчивы к низким температурам и часто бывают активны даже в мерзлой почве. Развитие их яиц не прекращается даже при +2 °С – +3 °С. Питаются они споровыми растениями, пылью хвойных и разложившимся листовым опадом, а иногда выступают и в роли хищников. Нередко они встречаются в скоплениях экскрементов более крупных почвенных животных, например, дождевых червей, и питаются неперевавшими частями растительных остатков, уже обработанных ферментами в чужом кишечнике, довершая механическое разрушение клеточной структуры. Их экскременты представляют собой тонкозернистую массу, которая напоминает глинисто-гумусовые комплексы.

Из мезофауны наибольшее значение для состояния почвы имеют дождевые черви. Они прокладывают в ней огромное количество ходов, питаются растительными остатками. В процессе пищеварения в кишечнике червей происходит разложение клетчатки и частичная минерализация растительных тканей. У них наблюдается интенсивное образование гумусовых веществ.

В свою очередь, они стимулируют развитие отдельных групп микроорганизмов. Благодаря этому почва обогащается ферментами и витаминами.

Численность червей в благоприятных условиях (широколиственных лесах) достигает 500–800 на 1 м², а биомасса равна 290 г. Обычно их биомасса составляет от 40 до 120 г на 1 м² (табл. 2).

Исследованиями установлено, что наличие в почве дождевых червей способствовало увеличению коэффициента структурности почвы в 6 раз, повышалось и содержание водоустойчивых агрегатов. Улучшение физических свойств почвы касалось в основном агрегатов размером 1–5 мм, в которых наблюдалась стимуляция некоторых показателей микробиологической активности: содержание целлюлозолитических актиномицетов, азотобактера, грибов [39, 40, 41].

Таблица 2

Запасы микробной биомассы в зональных почвах

Почвы	Общая биомасса	Биомасса, кг/га (%) в том числе			
		бактерии	актиномицеты	грибы	споры грибов
Дерново-подзолистая	5670	195 (1,4)	27 (0,2)	11 914 (85,4)	1811 (13,0)
Серая лесная	13 946	661 (11,6)	38 (0,8)	3127 (55,1)	1845 (32,5)

Таким образом, большому видовому разнообразию почвенных микроорганизмов соответствует и большое содержание микробной биомассы как важного фактора устойчивости почвенного микробиоценоза в целом. Значительная часть питания микроорганизмов составляет сама микробная масса, на чем и основывается механизм почвенной сукцессии.

Все это свидетельствует об огромной роли биологического фактора в формировании и регулировании плодородия почвы. Почву необходимо рассматривать как естественный биореактор, работающий на энергии солнца в газо-, жидкостно-, твердофазном режиме, который служит для постоянного возобновления плодородия почвы и обеспечения питательными веществами всего растительного и животного мира. Изменение соотношения видов почвенной биоты при возделывании сельскохозяйственных культур по сравнению с их соотношением в почвах целинных аналогов является индикатором начальных стадий нарушений биохимических циклов.

Деятельность человека может привести к значительному изменению биофона. Например, дождевые черви, крупные диплоидные

и личинки насекомых резко снижают свою численность при обработке почвы роторными агрегатами, вспашке с оборотом пласта. Применение отдельных видов минеральных удобрений также может быть очень вредным для развития полезных организмов в почве, особенно для почвенных животных. Например, применение на пастбищных угодьях сульфата аммония резко сокращает количество дождевых червей. Воздействие химических средств защиты растений с различными действующими веществами оказывает неодинаковое влияние на микроорганизмы. Среди фунгицидов особенно вредными для дождевых червей оказались производные бензимидазола. В садах дождевые черви исчезали после применения препарата Беномил (экологический фонд PLUJM), что приводило к резкому ухудшению структуры почвы.

Помимо того, что пестициды негативно влияют на окружающую среду и безопасность продуктов питания, они нарушают нормальное протекание метаболических процессов в самом растении. Это приводит к распространению болезней, снижению иммунитета растений и нарушает сложившееся равновесие в агроэкосистемах: вредные виды, как правило, восстанавливают свою численность значительно быстрее, чем полезные. Обработка агроценозов инсектофунгицидами, которые не обладают избирательным действием, приводит к уменьшению численности полезных насекомых на 20–70 %, а структура популяций вредоносных видов увеличивается.

Широкое применение химических удобрений, пестицидов в сельском хозяйстве приводит к изменению состава плодов, овощей, кормовых растений, снижению в них содержания полезных для человека и животных веществ. Такие овощи и плоды не способны к длительному хранению из-за необеспеченности витаминами и другими биологически активными веществами. Исследованиями А. М. Уголева [83] установлено, что на 50 % пища в организме человека усваивается за счет ферментов, содержащихся в ее тканях. Они являются той «искрой» для инактивации ферментов в организме человека. Отсюда следует, что количество потребляемой человеком пищи можно значительно уменьшить (на 50 %) за счет повышения ее усвояемости, что является весьма и весьма актуальным не только на сегодняшний день, но и на перспективу.

2.1.2. Роль новых почвенных биотехнологий в повышении плодородия почвы

Сейчас появились новые возможности регулирования почвенного плодородия за счет микробиологических удобрений.

Микробные удобрения сочетают положительные свойства минеральных (известный химический состав, отсутствие семян сорняков и т. д.) и органических (продолжительное положительное действие на плодородие) удобрений.

Технология эффективных микроорганизмов (ЭМ-технология) была разработана в Японии в 80-х гг. XX в., получила признание и внедряется во многих странах мира: Малайзии, Индонезии, на Филиппинах, в Индии, Китае, Бразилии, Пакистане и др. ЭМ-технология пользуется популярностью в Америке, Франции, Германии, Испании. Благодаря использованию этой технологии в сельском хозяйстве достигается экономически эффективное обеспечение населения продуктами питания высокого качества при бережном использовании природных ресурсов.

Понять ЭМ-технологии легче, если признать наличие в природе двух противоположных групп микроорганизмов: регенеративных и дегенеративных. Почвы, насыщенные регенеративными микроорганизмами, – плодородные. На таких почвах растения интенсивно растут без агрохимикатов и пестицидов. При преобладании в почве дегенеративных, или патогенных, микроорганизмов растения растут медленно, заглушаются сорняками, болеют.

Экспериментами установлена интересная особенность микроорганизмов – следовать за «лидером» и приспосабливаться к господствующим микроорганизмам, то есть доминирующая группа микроорганизмов определяет, будет ли микрофлора почвы регенеративной или дегенеративной. Между ними идет борьба за преобладание, и если, например, анабиотические виды победят, то все остальные микроорганизмы будут имитировать их метаболические эффекты. Собранная полезная мощь продуктивных микроорганизмов в группе ЭМ и осуществляет направление всех других микроорганизмов в регенеративную сторону, повышая продуктивную силу земли.

Применение эффективных микроорганизмов повышает водопроницаемость, оптимальную плотность, аэрируемость, эрозионную устойчивость и в целом способствует восстановлению плодородия почвы, оздоровлению сельскохозяйственных культур, получению экологически чистых продуктов.

Эффективные микроорганизмы (ЭМ) включают как аэробные, так и анаэробные разновидности. До недавнего времени среди микробиологов существовало мнение о невозможности создания культуры с несоместимыми микроорганизмами. Однако японскому микробиологу Хига Терио удалось создать ассоциацию регенеративных микроорганизмов, которые хоть и отличаются по условиям жизнедеятельности, но сосуществуют в одной среде в режиме активного взаимного обмена источниками питания. В эту группу входят синтезирующие и молочнокислые бактерии, грибы, дрожжи, ферменты. Хига Терио выявил и отобрал те микроорганизмы, которые оказывают благоприятное влияние на почву и растения и у которых при их внесении в окружающую среду положительные качества заметно увеличиваются за счет эффекта синергизма. Вредители и болезнетворные микроорганизмы ингибируются. Общее число микроорганизмов в препарате может быть более 80. Однако центром активности ЭМ являются фотосинтетические бактерии: они, с одной стороны, поддерживают действие других микроорганизмов, а с другой – используют соединения, произведенные этими микроорганизмами.

С 1998 г. в России применяются отечественные препараты (ЭМ), созданные на базе микроорганизмов байкальской экосистемы. Производственные испытания основного микробиологического препарата Байкал ЭМ-1 показали его высокую эффективность и позволили пересмотреть некоторые положения почвенной биотехнологии.

Когда эффективные микроорганизмы развиваются, как сообщество в почвах, то численность полезной микрофлоры увеличивается. Определенные микроорганизмы (патогенные) угнетаются, и таким образом подавляются болезни почвы. Эффективные микроорганизмы используют выделения растений (углеводы, органические кислоты, ферменты и т. д.) для своего роста и развития, выделяя в процессе жизнедеятельности аминокислоты, витамины, гормоны, нуклеиновые кислоты, которые потребляются, в свою очередь, растениями, образуя симбиоз.

Эффективность земледелия во многом определяется уровнем обеспеченности почв элементами минерального питания. В минимуме чаще всего находятся доступные растениям азотсодержащие соединения. Решение этого вопроса за счет наращивания производства и применения промышленных азотных минеральных удобрений, даже при современном уровне развития производительных сил, позволит лишь на 30–33 % удовлетворить потребность в них. Кроме того, энергозатраты на производство, транспортировку,

хранение растут более высокими темпами, чем отдача от них. К этому необходимо добавить, что этот элемент очень подвижный и чаще всего безвозвратно вымывается в грунтовые воды.

Клубеньковыми бактериями при сегодняшней структуре посевных площадей усваивается 2,3 млн т атмосферного азота. Свободноживущими азотфиксаторами на каждом гектаре связывается в среднем 15–20 кг молекулярного азота в год. Всего, если ориентироваться на минимальную цифру 15 кг, – около 3,4 млн т. Общий вклад биологического азота доходит до 5,7 млн т. Если уделить внимание микробиологическому синтезу азота, то можно увеличить его накопление в почве в 1,5–2 раза.

Основными механизмами стимуляции роста растений микроорганизмами являются: фиксация атмосферного азота, образование легкоусвояемых форм фосфора, железа, угнетение роста фитопатогенных грибов, продуцирование различных ростовых веществ (гетероауксины) простейшими.

В связи с этим особое значение приобретает разработка новых методов, основанных на биотехнологических процессах. Биотехнология с использованием микроорганизмов, несомненно, предоставляет человечеству большие возможности в оздоровлении биосферы и получении более качественных продуктов питания, в снижении энергоемкости сельскохозяйственного производства.

В настоящее время создан банк различных экологически безопасных видов микроорганизмов. Препараты, созданные на их основе, характеризуются комплексным действием. Они оказывают стимулирующее влияние на рост растений, подавляют развитие ряда болезней, улучшают минеральное питание растений, способствуют улучшению плодородия почв. Основными производителями биопрепаратов являются (млн порций/га): США – 5–10; Австрия – 6–8; Бразилия – 4–6; Индия – 2–4; Аргентина – 2–3; Канада – 2,0–2,5. В бывшем СССР микробные препараты на основе азотфиксирующих микроорганизмов широко применялись в сельском хозяйстве в 80–е–90–е гг. Их производство и использование достигало 4–5 млн порций/га ежегодно. В настоящее время применяют препараты комплексного действия: Ризоторфин, Ризоэнтерин, Ризогрин, Флавобактерин, Агрофил, Биоплат-К. Для оптимизации почвенной среды используют Фитофлора-С, Бамил, ЭМ-1, ЭМ-2, Бактогумин и пр. Для защиты растений от вредителей применяют Энтобактерин, Бактокулицид, Лепидоцид, Битоксибациллин, Бактероденцид и т. п.

Биотехнология – наука, которая объединяет в себе достижения биохимии, микробиологии, биофизики, генетики, физиологии, генетической инженерии. Она разрабатывает технологические приемы получения продукции с наименьшими затратами, с заданными свойствами для потребностей сельского хозяйства, пищевой промышленности, медицины, охраны окружающей среды, народного хозяйства в целом.

Биотехнология стала одним из приоритетных направлений научно-технического прогресса, позволяющим использовать возможности природных живых систем (микроорганизмов) и искусственно созданных для повышения жизненного уровня людей, решения социально-экономических и экологических проблем. По заключению экспертов ООН, в XXI ст. биотехнология будет определять развитие человечества во всех сферах его деятельности (сельское хозяйство, экология, энергетика, медицина).

Нынешний уровень прибыли ведущих биотехнологических компаний мира сравним с прибылью компаний, производящих персональные компьютеры. На ближайшие годы прогнозируется ежегодный прирост мирового объема биотехнологической продукции на уровне 7–8 %.

Беларусь располагает ограниченными сырьевыми и энергетическими ресурсами, поэтому относительно низкая энергоемкость и материалоемкость биотехнологических производств обуславливают перспективность развития биотехнологии. Весомым аргументом в пользу ее развития является экологический фактор и необходимость преодоления последствий катастрофы на Чернобыльской АЭС.

Создание биопрепаратов для сельского хозяйства является наиболее перспективным направлением микробных биотехнологий (средства защиты растений; препараты, повышающие урожайность сельскохозяйственных культур и продуктивность сельскохозяйственных животных, консерванты для заготовки кормов и т. д.).

В Институте микробиологии НАН Беларуси уже создан ряд биологических препаратов. Консерванты Силлактим, Лаксил с успехом применяются при силосовании бобово-злаковых смесей и кукурузы. Препараты Бактрил, Энтеробифидин проявляют высокую эффективность при лечении желудочно-кишечных заболеваний сельскохозяйственных животных, птицы.

Используя высокоактивные штаммы актиномицетов, которые являются антагонистами фитопатогенной микрофлоры, разработаны принципы создания препаратов фитозащитного и ростстимулирующего действия на отходах сельского хозяйства и промышленности. Отобраны микроорганизмы из штаммов местных симбиотических азотфиксаторов бобовых растений, обладающие фосфатмобилизующей активностью (Фитостимофос), получены высокоэффективные штаммы ассоциативных ризобактерий зерновых культур (Ризобактерин), Сапронит (под люпин), Сапронит-2 (под горох), Сапронит-3 (под клевер), которые разрешены к применению в Беларуси. В республике разработаны технологии получения и других биопрепаратов для растениеводства: Бактоген, Фрутин, Миколин, Лигнорин и пр. Начато производство отечественных конкурентоспособных ферментативных препаратов для животноводства, пищевой и легкой промышленности, что позволит повысить эффективность сельскохозяйственного производства, улучшить качество выпускаемой продукции.

Многочисленные полевые и производственные опыты показали высокую эффективность применения штаммов ризосферных микроорганизмов и интегрированных растительно-микробных систем. Увеличение урожайности варьировало от 12 до 70 %, защитный эффект был на уровне или выше показателей аналогичных химических препаратов.

В последнее время и в развитых странах мира значительно вырос интерес к производству экологически чистой продукции. В странах ЕС, в Японии, США на государственном уровне ставится вопрос о переводе агропромышленного сектора на биоорганические или биогеоэкологические (природные) системы земледелия, так как спрос на экологически чистую продукцию постоянно растет. В Европе в 2001 г. до 10 % сельскохозяйственных площадей использовалось под органическое земледелие. Мировой объем продаж продуктов, полученных без применения химикатов, достиг 25 млрд дол. США в год (в 2002 г.), и 100 млрд дол. – в 2009 г. В Великобритании объем продаж продуктов органического земледелия в 1998 г. оценивался в 300 млн дол., а в последние годы он вырос в 4 раза.

2.1.3. Микробиологические методы определения потребности почвы в удобрениях

Для получения высоких урожаев сельскохозяйственных культур с хорошим качеством необходимо правильно выбрать дозы минеральных удобрений. Использование высоких доз азотных удобрений повышает, например, кислотность почв, увеличивает подвижность алюминия, кадмия, меди, свинца и приводит к накоплению в почве токсичных для растений и микроорганизмов элементов, в частности фтора. Для определения содержания в почве доступных форм питания обычно используют агрохимические методы анализа. Но они достаточно трудоемки, поэтому садовод-любитель может использовать более простые микробиологические методы диагностики почв в удобрениях.

Потребность почв в азотных удобрениях определяют следующим образом: фотобумагу, отработанную фотопленку или рентгенопленку нарезать полосками 3×15 см, поместить полоски в 3–4 местах участка под лопату на глубину 20 см. Через 5 дней полоски извлечь и окунуть несколько раз в воду. Если пленка стала прозрачной, то это означает, что почвенные микроорганизмы активны и нет необходимости вносить азотные удобрения (на поверхности пленки находится слой желатина, то есть белок, который разлагается микроорганизмами).

Если пленка осталась черной, то необходимо внести полную дозу азотных минеральных удобрений, что составит примерно 1 столовую ложку на 1 м². При частичном обесцвечивании доза азотных удобрений будет соответствовать степени разложения желатина на пленке: 50 % – половинная доза, 70 % – одна треть и т. д.

При определении потребности почв в фосфорных удобрениях рядом с фотобумагой, фотопленкой, рентгенопленкой необходимо поставить пластинку с фильтровальной бумагой или хлопчатобумажной тканью такого же размера, для чего нарезанные полоски прикрепить по уголкам клеем к стеклу, фанере. Через 30 дней ткань извлечь, очистить от почвы и оценить степень разложения. Если рядом стоявшая пленка через 5 дней обесцветилась, а ткань или фильтровальная бумага разложилась на 75–100 %, то данная почва не нуждается в азотных и фосфорных удобрениях. Если ткань или фильтровальная бумага не разложилась, то необходимо внести

полную дозу фосфорных удобрений, при разложении 30–50 % почва нуждается в половинной дозе фосфорных удобрений.

2.1.4. Определение фитопатогенов в почве

В почве имеются полезные и вредные микроорганизмы, то есть фитопатогены, вызывающие болезни растений. С помощью микробиологических тестов можно определить их наличие в почве.

Фильтровальную бумагу или ткань помещают в верхний слой почвы на 3 месяца. По колониям микроорганизмов, разрушающих клетчатку, определяют степень загрязнения почвы фитопатогенами. Фитопатогенные грибы образуют колонии черной, серой, фиолетово-малиновой окраски и распространяются по поверхности бумаги или ткани. Черные колонии образует гриб стахиботрис, который поражает все луковые, чеснок, кукурузу, соломинку злаковых. Этот грибок образует микотоксин, который даже в одной миллионной доле миллиграмма на 1 кг массы вызывает отравление у крупного рогатого скота, лошадей, человека. Заболевание проявляется в отечности нижней части головы, появлении трещин на губах и тягучего слюноотечения. Следует знать, что токсин этого гриба не разрушается при высокой температуре, химической и механической обработке.

Развитие на ткани или фильтровальной бумаге фиолетово-малиновых колоний говорит о заражении грибом фузариум. Действие токсинов этого гриба сходно с действием алкоголя, поэтому он получил название «пьяного хлеба».

Серые, круглые колонии принадлежат грибку альтернария, который поражает плоды в виде коричневых пятен.

Общее число микроскопических грибов в почве составляет от 160 до 300 видов, из них 50 % токсикогенные.

Появление на поверхности ткани или бумаги желтой, зеленой, розовой окраски колоний свидетельствует о хорошем развитии микробактерий и о здоровом состоянии почвы.

Основными методами снижения содержания микотоксичных грибов в почве являются агротехнические мероприятия: ранняя обработка почвы, соблюдение севооборота, внесение правильно выбранных доз азотных удобрений, исключение посевов в холодную, влажную погоду. Предупреждению развития токсикогенных

грибов в почве служат такие факторы, как достаточное количество гумуса в почве, недопущение переуплотнения, известкование [70].

2.1.5. Классификация почв с учетом микробного пейзажа

Основными параметрами при современной классификации почв являются: физические, химические свойства, плотность, структура, теплоемкость, содержание органического вещества, эрозийная устойчивость и т. д. Такие параметры важны для оценки потенциального плодородия почвы, но они далеко не полные, так как не учитывают жизнедеятельность населяющих ее микроорганизмов. Несколько условная классификация почв с учетом микробного пейзажа изложена в работах А. М. Елисеева и И. В. Коровякова. Авторы предлагают следующую классификацию с учетом почвенной биоты.

Болезнетворные почвы содержат более 5 % от общей микрофлоры микроорганизмов типа *Fusarium*. На таких почвах образуются продукты неполного окисления (аммиак, диоксид углерода, метан и др.), токсичные для растений. Многие культурные растения на таких почвах заболевают корневыми гнилями. Наиболее часто образуют токсины грибы из рода аспергиллус, фузариум, мукор, ризопус. В настоящее время большинство пахотных почв по микрофлоре относятся к болезнетворным.

Здоровые почвы содержат микрофлору, продуцирующую большое количество антибиотиков (*Trichoderma*, *Aspergillus*, *Streptomyces*). Содержание грибов класса *Fusarium* меньше 5 %. Такие почвы имеют хорошую проницаемость для воздуха и воды. Растения на таких почвах редко повреждаются вредителями и болезнями. Они имеют приятный аромат после обработки. Содержание метана, диоксида углерода, аммиака в таких почвах незначительное.

Синтезирующие почвы содержат значительное количество микроорганизмов (цианобактерии, зеленые, синезеленые водоросли). При достаточной влажности названные почвы способны поддерживать хорошее плодородие даже при небольших количествах гумуса. Такие микроорганизмы находятся в верхних слоях почвы, синтезируют органические вещества, как и растения. За год они могут синтезировать до 1,5 т/га органических веществ.

Это несколько упрощенная классификация почв, основанная на функциях преобладающих типов микроорганизмов. В природе они не всегда четко определяются, потому что при достаточном внесении органических

удобрений или внесении в почву эффективных микроорганизмов, правильной агротехнике возделывания сельскохозяйственных культур болезнетворные почвы могут перейти в здоровые или синтетические, внося смешанные культуры эффективных микроорганизмов. Для сельскохозяйственного использования наиболее желательна почва, которая обладала бы свойствами здоровой и синтетической почвы. Такие почвы дают самые высокие урожаи с наименьшими затратами.

Увеличение урожайности при применении эффективных микроорганизмов вначале не всегда стабильно, и объясняется это тем, что на некоторых болезнетворных почвах требуется более длительный период адаптации эффективных микроорганизмов к условиям, чтобы они стали преобладающей генеративной частью местной микрофлоры.

2.2. РОЛЬ СИСТЕМЫ ЗЕМЛЕДЕЛИЯ В ПОДДЕРЖАНИИ И ВОСПРОИЗВОДСТВЕ ПОЧВЕННОГО ПЛОДОРОДИЯ

С самых ранних периодов развития земледелия человечество столкнулось с явлением утраты почвой своего плодородия. Первый способ борьбы с этим явлением отличался простотой. Почву переставали обрабатывать, а распахивали новые участки целины, которые раньше не обрабатывались. Так сложилась залежная система земледелия. Численность населения росла, а площадь пашни не увеличивалась. Поэтому пришлось уже вторично распахивать угодья, которые раньше были заброшены, как утратившие свое плодородие. Такие участки давали урожаи, не отличающиеся по своей величине от урожаев по целине. Таким образом, залежная система борьбы с утратой почвенного плодородия эволюционировала в переложную систему восстановления плодородия почвы. Так же как и в залежной системе земледелия, и под влиянием той же ограниченности земной поверхности и растущей численности населения, в переложной системе пришлось все чаще возвращаться к ранее возделываемым участкам. Период «отдыха» почвы все более сокращался.

При этом выяснилась прямая зависимость срока культурного пользования почвой от продолжительности срока пребывания ее в перелог. Сначала срок культурного периода равнялся 7–8-ми годам, но с сокращением срока «отдыха» земли в перелог сокращался

и срок культурного пользования. Урожай культурных растений падали, и качество зерна ухудшалось. Все более увеличивалась засоренность полей, и под конец культурного возделывания урожай наполовину состоял из семян сорняков. Сокращаясь, длительность перелога дошла, в зависимости от природных качеств почвы, до одного-двух лет. Так переложная система естественным путем эволюционировала в паровую систему восстановления плодородия почвы. Стали типичными трехпольные севообороты: пар, рожь, овес; пар, пар, рожь; пар, пар, овес или ячмень и т. д.

При господствующих севооборотах в течение многих лет солома использовалась для приготовления навоза, который весь шел для удобрения запольных приусадебных участков. В то время картофель, капуста, бобовые, лен, рапс, сахарная свекла и другие культуры возделывались на запольных участках, и на них шел весь навоз.

К этому времени скопилось достаточное количество анализов золы культурных растений, которые позволили Ю. Либиху разделить их на три группы: фосфорная, калийная и известковая. Эти три группы совпадают с производственными группами сельскохозяйственных растений – зерновые, корнеплоды, технические и бобовые. Учитывая все это, Ю. Либих со всей силой своего таланта популяризатора стал бороться за введение плодопеременного, или многопольного севооборота. Предполагалось, что в то время, как поле было занято, например, зерновыми и вслед за ними – техническими культурами, из почвы отчуждались преимущественно известь и калий, а фосфор, который потребляется этими растениями в малых количествах, успевает накопиться в почве благодаря выветриванию. К тому же введение в полевой севооборот технических культур и корнеплодов имело положительное значение, так как все они требуют интенсивной обработки почвы, и чистый пар может быть заменен занятым паром. Навоз, внесенный под пропашные культуры, обогатит почву питательными веществами и органикой. Прототипом плодопеременного севооборота, удовлетворяющим всем этим требованиям, стал норфольский севооборот: клевер, озимая пшеница, кормовая репа по навозу, двурядный ячмень с подсевом клевера. Таковы основы плодосмена.

Введение плодосмена сыграло большую роль в дальнейшем развитии сельскохозяйственного производства. Он несколько нивелировал причину резкого падения плодородия почвы при бессменном

выращивании зерновых по зерновым и положил начало развитию полевого кормопроизводства. Это дало толчок развитию продуктивного животноводства, которое было подорвано паровой системой земледелия. Ошибкой в теории плодосмена было утверждение, будто источником минерального питания сельскохозяйственных растений является процесс выветривания почвы. Из этой стратегической ошибки вытекала тактическая ошибка обработки почвы «взметом» и другие виды обработок.

2.2.1. Концептуальные основы новой системы земледелия на биогеоценотических принципах

Кризисное состояние сельского хозяйства республики усугубляется прогрессирующей деградацией почвы. За последние 15–20 лет площадь эродированных земель в Беларуси увеличилась с 2,1 до 3,8 млн га, и процессы не прекращаются, несмотря на проводимые защитные мероприятия. Установлено, что с одного гектара пашни ежегодные потери почвы от эрозионных процессов составляют 14–16 т твердой фазы. Вместе с почвой безвозвратно теряется до 150–200 кг гумусовых веществ, до 10 кг – азота, 4–6 кг – фосфора и калия, 5–6 кг – кальция и магния. За это время из пашни, вследствие добычи торфа, исключено 300 тыс. га торфяно-болотных почв. Недобор урожая на эродированной пашне составляет в среднем 36 %. И как следствие этого, затраты на поддержание нужного для человека уровня производства сельскохозяйственной продукции с каждым годом возрастают, а отдача от вложения капитала – уменьшается. Статистические данные показывают, что за последние два века вложения капитала в сельское хозяйство увеличились в тысячи раз, а урожай – только в 2–3 раза. Одной из важнейших причин такого положения является несоответствие характера и направлений природного (биогеоценотического) и сельскохозяйственного процессов.

Природные системы (биогеоценозы) сейчас в большинстве случаев нарушены. Из них исключаются пахотные угодья, которые представляют собой новые антропогенные ландшафты. Они отличаются от природных систем своей неспособностью самостоятельно, без вмешательства человека, выходить на ста-

ционарный режим существования, так как в их основе лежит монокультура, частая перепашка почвы, при которой нарушаются структура и численность микробного и растительного сообщества почвы. Жизнь в природе всегда представлена сообществами организмов – растений, микробов, почвенных животных, то есть она существует в виде биогеоценозов. Разные виды организмов в ценозах могут использовать и разлагать выделения других видов, осуществляя санитарную функцию. К тому же, благодаря ярусной структуре биоценозов, они более полно используют солнечную энергию и почвенные ресурсы. В природе почва практически ни одного дня не бывает без растительности, дающей органическое вещество, кислород и многое другое. На сельскохозяйственных угодьях почва длительное время, в условиях Беларуси более семи месяцев в году, лишена зеленого покрова. Нетрудно представить, как снижается биопродуктивность полей по сравнению с постоянно вегетирующими природными сообществами.

Современная сельскохозяйственная наука и производство рассматривают почву не как подсистему единой системы биогеоценоза, а как самостоятельный объект, в отрыве от растительного покрова и других живых организмов, поэтому существующие технологии производства сельскохозяйственной продукции и основываются на интенсивной обработке почвы с оборотом пласта. Распашка почвы увеличивает доступ воздуха и создает условия для активной деятельности аэробных бактерий, которые быстро разлагают органическое вещество. Нитратный азот, образовавшийся при минерализации органики, хорошо растворяется в воде, перемещается осадками в глубь почвы и загрязняет грунтовые воды. Особенно вредна зяблевая вспашка. Оголяя поле, мы создаем очаги интенсивного разрушения и смыва органического вещества почвы и питательных веществ. В. В. Докучаев в связи с этим писал, что для успешного развития сельскохозяйственного производства необходимы меры, которые «...должны быть направлены... к устранению или ослаблению тех причин, которые подорвали наше земледелие» [31].

Высокая затратность, агротехнические противоречия, деградация сельскохозяйственных угодий и негативные экологические последствия убедительно доказывают кризисные явления в земледелии и необходимость быстрой смены стратегии отрасли.

В ответ на вызов времени возникают новые системы земледелия (альтернативная, биологическая, органическая, биодинамическая и др.). Практика показала, что названные системы земледелия, несмотря на ряд положительных моментов, не могут стать реальной парадигмой отрасли, так как не снимают многие острые проблемы. Тем не менее, альтернативное земледелие усилило активность мирового сообщества по разработке экологически устойчивого пути развития общества, который получил название *sustainable development* («устойчивое развитие»). Его особенности в том, что экономические цели не игнорируются, но имеют экологическое ограничение. Ученые СНГ выдвинули концепцию ландшафтных систем земледелия (адаптивно-ландшафтных). Понимание научной сущности новой концепции ограничивается внешними характеристиками земледельческого процесса при географической оценке территориальной базы земледелия. Внутренний механизм более высокой эффективности земледелия в этих системах не раскрывается и сводится чаще всего к общим фразам о саморегуляторной функции агроландшафтов. Многие авторы [30, 39, 70] считают современный ландшафтный механизм настолько измененным, что он утратил свою целостность и функциональную активность. Поэтому проблема плодородия почв переросла в проблему продуктивности агробиогеоценозов. *Биогеоценоз представляет собой участок территории, однородной в почвенном, биоценоотическом, гидрологическом, микроклиматическом и геохимическом отношениях, и состоит из твердой, газовой, жидкой фаз и живого вещества.* Каждому биогеоценозу присущи свой круговорот веществ и трансформация потоков солнечной энергии. Нарушение круговорота веществ неизбежно ведет к снижению биопродуктивности.

Жизнь и деятельность человека связаны с относительно узким слоем биосферы – витасферой. Именно здесь находится основная масса живых организмов, где наиболее активно протекают процессы биогеоценоза. В состав витасферы на суше входят биоценозы, нижние слои тропосферы, почва с подпочвой, где сосредоточена основная масса корней растений, микроорганизмов и многих

видов животных. Элементарной структурной единицей витасферы является биогеоценоз.

Если круговорот веществ в биогеоценозе начинается и зависит от фотосинтеза растений, то управляющая система биогеоценоза сосредоточена в почве. Миллиарды почвенных микроорганизмов, грибов, актиномицетов, низших и высших почвенных животных осуществляют с заданной ритмичностью грандиозный процесс разрушения и преобразования метаболитов растений и ресинтез новых биоорганических веществ (гумус, антибиотики, аминокислоты и т. д.) (рис. 1).

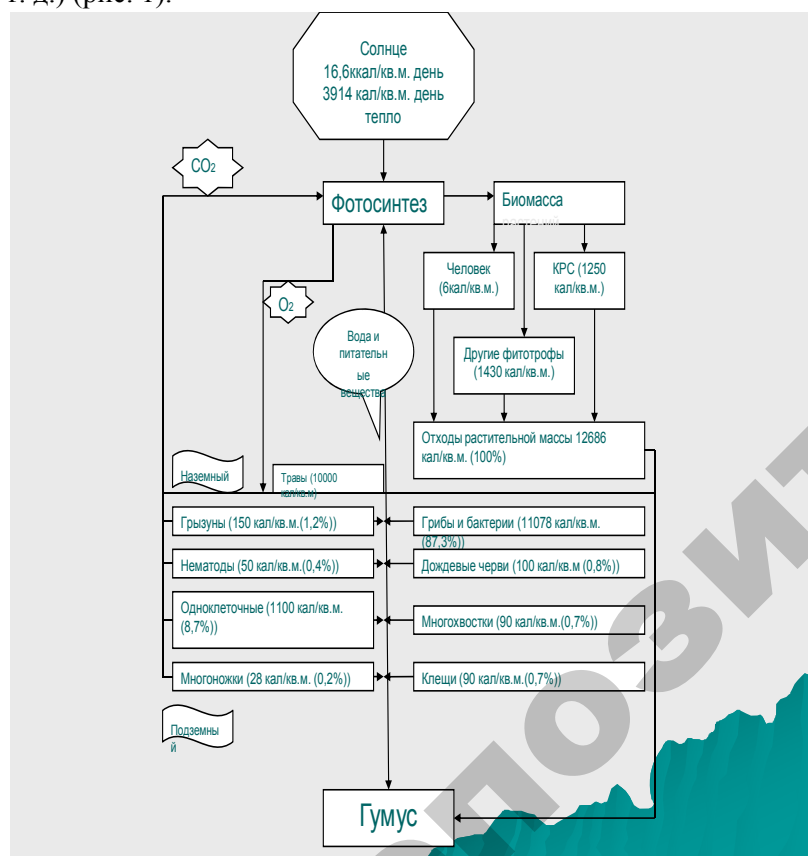


Рис. 1. Схема биологического круговорота на сенокосно-пастбищных угодьях

Чтобы разобраться в жизни биогеоценозов, необходимо познать круговорот органики в природе, так как плодородие почвы определяется не только динамикой питательных веществ, вносимых в почву, но и обменом веществ в почве благодаря биологическим процессам. Чтобы увеличить урожай, необходимо ускорить интенсивность круговорота веществ.

Но рассматривать разложение органического вещества в отрыве от динамики гетеротрофных почвообитающих микроорганизмов и развития фитоценозов методически неверно, поскольку функционирование автотрофных и гетеротрофных систем характеризуется многочисленными связями.

В основе устойчивого функционирования природных экосистем лежат процессы продуцирования, минерализации и гумификации органических веществ, которые непосредственно формируют систему биохимических циклов всех элементов в экосистемах или влияют на нее [30, 52, 69].

Добровольский и Никитин в своих работах указывают, что функционирование почвенной системы есть «реализация данной системой взаимодействий с другими системами (а также внутренних взаимодействий собственных компонентов), обеспечивающих существование, развитие этой системы и ее адаптацию к окружающей среде» [30].

А. Лотка сформулировал этот принцип следующим образом: эволюция экосистем идет в сторону увеличения суммарного потока энергии через систему, причем в стационарном состоянии достигается его максимально возможное значение. Позднее К. Уатт выразил эту мысль так: «Сообщество животных и растений в любом месте земного шара представляет собой ансамбль видов, который обеспечивает максимальное использование падающей на Землю солнечной радиации при типе почв, который характерен для данного района».

Иными словами, эволюция наземных экосистем направлена на более полное использование падающей солнечной энергии, а скорость синтеза органического вещества должна поддерживаться на максимально возможном уровне. Сохранение видового состава и численности отдельных популяций фитоценозов и почвенной биоты целесообразно лишь потому, что они способствуют поддержанию максимального уровня потока энергии через систему.

Изменение соотношения видов в экосистеме является сигналом о неправомерности антропогенной деятельности.

Интенсификация сельскохозяйственного производства повсеместно привела к обеднению биогеоценозов, к ухудшению гумусного состояния почв. На этом фоне развиваются такие нежелательные процессы, как переуплотнение, снижение буферности и загрязнение различными токсическими соединениями, деградация почвы за счет водной и ветровой эрозии и снижение ее плодородия в целом [51]. Происходит это по следующим причинам:

- обработка почвы с оборотом пласта;
- монокультура;
- перенос и распределение возбудителей и вредителей;
- сужение севооборота;
- мероприятия по удобрению и химической защите;
- снижение иммунитета культурных растений вследствие воздействия удобрений и обработки пестицидами;
- резкое обеднение видов, которое произошло в течение 30 лет на всех ландшафтах, что снижает их способность к саморегулированию.

Доказательством этого является постоянно растущее использование химикатов в сельском хозяйстве. Академик А. Жученко приводит красноречивый пример этому. Если в 1948 г. в США при использовании 2 тыс. т пестицидов потери урожая составляли 17 %, то 30 лет спустя количество применяемых пестицидов возросло до 24 тыс. т, а потери урожая достигли 30 %, и темпы роста затрат на пестициды в 4–5 раз опережали темпы прироста объемов сельскохозяйственной продукции.

Указанные процессы не только нарушают равновесие биосферы, но и значительно снижают продуктивность сельскохозяйственных угодий. Это привело к тому, что сельскохозяйственная отрасль, базирующаяся на использовании даровой неисчерпаемой энергии солнца (около 95 % сухих веществ растений – это аккумулированная солнечная энергия), оказалась в числе ресурсоэнергорасточительных и природоопасных.

Существующая система земледелия, базирующаяся на игнорировании и подавлении механизмов саморегуляции в агроландшафтах, оказалась не способной обеспечить устойчивое развитие сельского хозяйства.

Естественные биогеоценозы устойчивы во времени, их продуктивность более высокая без дополнительного привлечения веществ и энергии по сравнению с агроценозами. Современные проблемы свидетельствуют о необходимости создания такой системы земледелия, которая способна к самоподдержанию на основе регулирования биотических и абиотических факторов. Биотические компоненты, флора и фауна экосистемы оказывают прямое воздействие на способность удерживать и накапливать необходимые для ее сохранения элементы питания.

Естественные и агроэкосистемы имеют как общие свойства, так и различия. Возделывание многолетних трав, промежуточных культур, обработка почвы без оборота пласта приближают к естественным биоценозам.

Внедрение биотехнологического земледелия многие отождествляют с откатом назад – к серпу и конной тяге. Это неверная постановка вопроса. В действительности, проблема состоит в том, чтобы, используя достижения науки и накопленный земледельцами многовековой опыт, обеспечить широкое внедрение механизмов саморегуляции в агроландшафтах, при которых снижаются затраты, обеспечивается высокий и стабильный уровень производства и не наносится урон окружающей среде.

Но сегодня ощущается явная нехватка завершенных отечественных разработок в области ведения сельского хозяйства, ориентированного на биогеоценологические принципы. Существующие отдельные наработки следует объединить в системы, довести до уровня технологических схем и карт, для чего, безусловно, необходимы совместные усилия ученых, практиков различных специальностей, поддержка государства и средств массовой информации.

2.2.2. Основные черты новой системы земледелия на биогеоценологических принципах

Основной мотив такого совершенствования – это поиски путей соответствия сельскохозяйственных технологий природным биогеоценологическим процессам. Технологии производства сельскохозяйственных культур должны соответствовать биосферным процессам, а не противоречить им.

1. Стремление к закрытому производственному циклу (почва–растение–почва), чтобы предотвратить вымывание элементов пита-

тельных веществ из почвы в реки, озера, грунтовые воды. Не нарушать сложившийся круговорот веществ в биогеоценозе, а поддерживать его высокую биопродуктивность, разрабатывая новые технологии и приемы возделывания сельскохозяйственных культур в соответствии с биосферными процессами. Необходимо изучать природу, учиться у нее и действовать в соответствии с ее законами.

2. Агротехнические приемы возделывания сельскохозяйственных культур (обработка почвы, удобрение, севообороты, создание новых агроценозов и т. д.) должны быть направлены на сохранение, по возможности, естественных биоценозов и увеличение содержания лабильных и стабильных гумусовых веществ. Необходимо, чтобы почва находилась как можно больше под растительностью и работала на урожай, с наибольшей полнотой использовать вегетационный период.

3. Разработка и внедрение новых микробиологических технологий, которые активизировали бы работу полезных микроорганизмов, что будет способствовать ускоренному гумусообразованию, оздоровлению растений и природы в целом.

Разработка новых форм комплексных органоминеральных удобрений с биологическими добавками позволит повысить окупаемость прибавкой урожая, сократить потери азота и снизить содержание нитратов в продукции и грунтовых водах.

4. Изучение комплексной оценки воздействия средств защиты растений на агроценозы и почву по совокупности микробиологических и биохимических показателей. Полученные данные дадут возможность выбирать такие пестициды, которые быстро разлагаются микробными популяциями почвы; выявить скорость разложения в зависимости от применяемой дозы, структуры и конфигурации молекулы пестицида, типа почвы, температуры, состава микробных популяций и биологической активности почвы.

5. Глубокое изучение ферментативной активности почвы в качестве объективного интегрального показателя суммарной биологической активности почвы, отражающего все сопряженно протекающие в ней биохимические процессы. Связь ферментативной активности почвы с системой агротехнических мероприятий, реакции на различные химические загрязнители и химические средства защиты растений.

6. Широкое применение и разработка новых гуминовых препаратов в сельском хозяйстве (из озерных сапропелей, вермикомпостов, торфа) и других регуляторов роста как эффективное средство регулирования роста и развития сельскохозяйственных культур и перспективное направление биологического воздействия на повышение продуктивности агроценозов.

7. Разработка новых технологий производства биопрепаратов по мобилизации фосфора, калия, азота; валовые запасы питательных веществ в почве, воздухе велики, но они недоступны для растений.

По содержанию живой массы суша превосходит океан примерно в 750 раз. Причем, 60–90 % живой массы почв представлено микроорганизмами, физиологическая и биохимическая активность которых в 100–1000 раз выше, чем у растений и животных, а «границы жизни» значительно шире: диапазон температур от +13 до +110 °С, рН от 1 до 13 и т. д. Продуктивность почв поэтому зависит от микробных ценозов, а это, в свою очередь, обосновывает необходимость поддержания состояния микрофлоры почв всеми технологическими приемами (обработка почвы, внесение минеральных, органических удобрений и инокуляция комплекса позитивных микроорганизмов). Иными словами, микрофлора почвы в условиях природного (биогеоценотического) земледелия является главным инструментом повышения ее плодородия.

В подавляющем большинстве публикаций доказывается, что сохранение эволюционно сложившегося круговорота веществ и энергии в биосфере является неперенным условием благополучного развития любой цивилизации. Современная биосфера Земли испытывает не только деградацию отдельных компонентов, но и нарушение исторически сложившегося в природе круговорота веществ, все последствия которого трудно предсказать. Поэтому углубленное изучение трансформационной функции почв имеет большое значение для жизни и продуктивности биогеоценозов и агроценозов. Разработка данного вопроса во многом требует теоретического обобщения традиционных материалов, полученных при исследовании различных типов почв при сельскохозяйственном использовании.

3. ОБРАБОТКА ПОЧВЫ В СИСТЕМЕ ЗЕМЛЕДЕЛИЯ

Вопрос обработки почвы является стержневым в любой системе земледелия. В начале XX в. вспашка с оборотом пласта оставалась незыблемой, хотя засухи в Западной Европе, России в 1891, 1901, 1921 гг. подталкивали к поиску нетрадиционных решений.

3.1. ОБРАБОТКА ПОЧВЫ В РОССИИ И ЗАПАДНОЙ ЕВРОПЕ В НАЧАЛЕ XX ВЕКА

В 1899 г. в Киеве вышла книга И. Е. Овсинского «Новая система земледелия». В ней автор резко осуждал обработку почвы плугом и горячо рекомендовал бесплужную поверхностную обработку. В теоретическом обосновании И. Е. Овсинский исходил из того, что в естественном состоянии почва пронизывается корнями растений, дождевыми червями и она проницаема для воды и воздуха. При вспашке же одни микроорганизмы гибнут от недостатка кислорода, другие – от действия света и воздуха, а ведь почвенное плодородие во многом определяется жизнедеятельностью почвенных микроорганизмов. Свои теоретические предположения проверил на практике. В управляемых им имениях он отказался от обычной глубокой вспашки, а почву обрабатывал на глубину 5–6 см. По мнению И. Е. Овсинского, предложенная система приближена к естественным природным условиям: «Разве мы не видим степей, в которых верхний слой почвы, богатый органическими остатками, в продолжении многих веков находился на поверхности, пока не образовал удивительно плодородную почву – чернозем». Природа «...сама прекрасно возделывала миллионы десятин по всему свету в тех местах, где человек не успел попортить плугом ее трудов».

Система обработки почвы Овсинского проверялась 5 лет на Полтавской и 2 года на Плотнянской опытных станциях. На Плотнянской станции при глубокой вспашке было получено 21,8 ц/га ржи, а при мелкой бесплужной – 21,1, то есть на 3 % меньше. Урожаи озимой ржи на Полтавской станции были следующие: при глубокой вспашке – 16,4 ц/га, бесплужной (на глубину 5 см) – 14,8 ц/га.

Основываясь на этих данных, многие официальные сельскохозяйственные учреждения и видные ученые подвергли резкой критике метод Овсинского. Получилось так, что интерес к «новой системе земледелия» остыл, и со временем о ней забыли. Только после работ Т. С. Мальцева по безотвальной обработке почвы было решено проверить результаты опытов на Полтавской и Плотнянской опытных станциях. Проверка показала, что опыты на обеих станциях проводились с нарушением методики. Не соблюдалось одно из главных требований системы Овсинского: приступать к обработке почвы немедленно вслед за уборкой хлебов, а потом повторять по мере появления сорняков. Пар начинали обрабатывать не с осени, а только весной, что и привело к дискредитации прогрессивного метода обработки почвы. Таким образом, положения, высказанные И. Е. Овсинским, не устарели в наши дни и получили дальнейшее развитие [60].

Во Франции фермер Жан с 1910 г. отказался от плужной обработки. Сначала он обрабатывал почву простым лапчатым культиватором, а потом только пружинным. За время от уборки зерновых (май) до посева озимой пшеницы (октябрь) число таких обработок доходило до 8–10, причем каждая последующая обработка проводилась на 3–4 см глубже предыдущей. Навоз он применял в небольших дозах под третью культивацию. При этом Жан считал, что семена сорняков, вносимые с навозом поверхностно, быстро прорастают и последующими культивациями полностью уничтожаются. Урожаи зерновых от 18 до 44 ц/га по тому времени и при бессменной культуре зерновых можно считать вполне хорошими.

В Германии фермер Франц Ахенбах в 1921 г. издал книгу под названием «Земледелие без оборота пласта – обеспеченный доход от урожая или обеспеченный урожай». Ссылаясь на свой многолетний опыт и наблюдения, Ахенбах проводил сам и настойчиво рекомендовал другим земледельцам многократную культивацию почвы под все культуры.

В бывшем СССР 20-е–30-е годы XX столетия характеризовались борьбой между ортодоксальным направлением, связанным с именами В. В. Докучаева, К. Д. Глинки, и биолого-агрономическим направлением, выразителем которого был В. Р. Вильямс (1863–1939 гг.). Стержнем учения Вильямса была идея о «едином почвообразовательном процессе». Сущность этого единства состояла в том, что основой образования любой почвы является синтез и разложение органического вещества, благодаря чему в почве формируется «новое существенное свойство – плодородие, которое диаметрально противоположно по своему свойству первоначальной горной породе – бесплодию» [24, 25]. По его убеждению, почвы проходят обязательный общий путь эволюционного развития – от тундровых через подзолистые, черноземные до сероземов. После этого (50 тыс. лет) в силу смещения полюсов Земли наступает новый цикл оледенения. При внешней ее стройности и эволюционности эта гипотеза Вильямса, конечно, была неверна и не подтверждалась данными астрономов и геологов, которые отрицали передвижение полюсов и возобновление оледенений. Что касается круговорота веществ в природе, то это красиво сформулированное и правильное положение является, по сути, старым в науке. Об этом писал еще в XV в. Леонардо да Винчи, который впервые сформулировал геобиоценологическую основу плодородия почвы и круговорот веществ в природе. Он писал: «...Всегда будешь видеть, как народившиеся (семена), совершив естественный свой круг, дадут земле приращение, умирая и разлагаясь». Вильямс только удачно сформулировал уже известное учение о двух круговоротах веществ в природе – малом биологическом и большом геологическом.

Ошибкой в травопольной системе Вильямса было и требование обязательной глубокой вспашки, недооценка роли озимых и однолетних культур.

Подводя итоги научного наследия Вильямса, необходимо отметить, что он и некоторые его ученики не признавали учения К. К. Гедройца, почвоведов других направлений они именовали «морфологами», «минеральными почвоведками», энергично отрицали почти все идеи и положения представителей других направлений, скатившись, таким образом, на позиции догматизма и агрессивности, что недопустимо для ученого. Однако, справедливости ради, надо сказать, что отдельные моменты в его учении вскрыты

верно. К ним относятся интересные мысли Вильямса о значении типов, растительности и их смене для эволюции почв, правильные идеи и предложения по сохранению и улучшению структуры почвы и ее плодородия, о роли почвенного гумуса [56, 57].

В мировом земледелии со второй половины XX в. наметился крутой поворот от многолетних и тщательных обработок почвы к их возможному сокращению, о чем свидетельствует перечень научных работ, приведенный А. Л. Шенявским [85]. Вместе с тем, приводимые в литературе данные и выводы нередко оказываются самыми неожиданными и противоречивыми. К. С. Хвиля отмечал, что различные авторы выдвигают прямо противоположные выводы относительно глубины и периодичности вспашки на основе соответствующих экспериментальных данных, но практическое использование их возможно только при знании сущности тех изменений в почве, которые достигаются плугом или другими почвообрабатывающими орудиями. Поэтому объективное суждение о проблемах почвообработки возможно лишь при изучении обширного фактического материала в историческом и географическом аспекте, так как эта проблема неустанно дискутируется с III в. до н. э. и по настоящее время. Необходимо проследить за развитием теории и практики почвообработки на протяжении многих столетий, апогей которой приходится на наше поколение.

В 1943 г. в США Э. Фолкнер опубликовал книгу «Безумие пахоты». У Фолкнера, как опытного агронома, возникло, по-видимому, желание разобраться в причинах губительных ветровых эрозий почвы и найти причину бедствия. На основании своих опытов он пришел к выводу, что нужно полностью отказаться от глубокой обработки почвы плугом. Вся обработка сводилась у него к поверхностному рыхлению дисковыми боронами на глубину 7,0–7,5 см. По его мнению, отвальный плуг «является злодеем в мировой сельскохозяйственной практике». Плужная обработка способствует высыханию почвы, распространению водной и ветровой эрозии, ведет к безвозвратной потере питательных веществ. «Считается, что пахота освобождает почву от сорняков. Часть семян, возможно, и будет зарыта плугом, но семена, зарытые во время предыдущей вспашки, будут вынесены на поверхность», – пишет Фолкнер [84].

3.2. РАЗВИТИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИХ ОСНОВ ОБРАБОТКИ ПОЧВЫ БЕЗ ОБОРОТА ПЛАСТА (НА ОСНОВЕ РАБОТ РОССИЙСКИХ АВТОРОВ)

Большой вклад в решение вопроса о бесплужной обработке почвы был сделан Т. С. Мальцевым. В то время, когда в агрономической науке на территории бывшей СССР господствовала теория В. Р. Вильямса, даже сама мысль о ревизии его учения была «крамолой». Т. С. Мальцев заявил на совещании и в печати, что для условий Зауралья система Вильямса непригодна, особенно в обработке почвы. К таким выводам ученый пришел не сразу. Для этого потребовались долгие годы напряженного труда, поиска и опытов. Результаты одного из опытов и навели его на эту мысль. В том опыте одну делянку оставили без вспашки как осенью, так и весной. Весной ее продисковали, а урожай на ней созрел самый высокий. Поэтому он писал в книге «О земле-кормилице»: «Не от того почва становится беднее, что ее истощают растения, беря из нее органическую пищу без возврата, а от того, что существующие способы обработки почвы не отвечают требованиям тех законов природы, при которых растениям свойственно накапливать в почве органические вещества и улучшать ее структуру». Распашка увеличивает доступ воздуха, при этом активизируется жизнедеятельность аэробных бактерий, которые быстро разлагают органическое вещество до полной минерализации. Теряется структура почвы, падает ее плодородие. В неспаханной почве разложение органического вещества происходит медленно, и создаются условия для его накопления и придания почве комковатой структуры. «Словом, ежегодная вспашка с перемещением почвенных горизонтов является главной причиной снижения ее плодородия и установленного порядка в природе», – писал Т. С. Мальцев [60]. Таким образом, Т. С. Мальцевым в 40–50 гг. прошлого века была создана первая теоретическая основа минимальной обработки почвы. Его утверждение о том, что не только многолетние травы, но и однолетние культуры играют определенную роль в формировании гумусового фонда почв и минимальная обработка почвы способствует этому, и явилось конкретным вкладом в развитие теоретических основ земледелия. Работы Т. С. Мальцева сыграли значительную роль в преодолении консерватизма в земледелии и ломке традиционных представлений об обработке почвы.

Но, несмотря на развитие новых взглядов на обработку почвы, до 60-х гг. XX в. большинство ученых и практиков в России повсеместно придерживались классических приемов вспашки. И только после массовой распашки целинных земель в Казахстане и Сибири, когда ветровая эрозия достигла огромных размеров, возникла необходимость замены вспашки такой обработкой, при которой обеспечивалось бы сохранение на поверхности почвы пожнивных остатков для защиты ее от разрушения ветром. Коллективом ученых научного центра в поселке Шортанды (Казахстан) под руководством академика А. И. Бараева была создана плоскорезная система обработки почвы. При ее разработке был использован опыт Канады и США по применению плоскорезных орудий. В кратчайшие сроки был создан комплекс машин для такой обработки и посева по стерне.

Сочетание плоскорезной обработки почвы с оптимальными сроками, способами посева, нормами высева, применением удобрений, гербицидов и другими приемами составило почвозащитную систему земледелия [51].

Влияние плоскорезных и безотвальных обработок почвы на накопление влаги и предотвращение эрозионных процессов создается благодаря сокращению потерь гумуса при таких обработках. Исследования В. И. Кирюшина, И. Н. Лебедевой (табл. 3, 4; [51]) показали, что разница в содержании гумуса в пахотном слое в вариантах с плоскорезной обработкой и отвальной вспашкой через 11 лет оказалась существенной, а через 16 лет она возросла еще более в пользу плоскорезной обработки.

Таблица 3

Содержание гумуса (%) в южном карбонатном черноземе
(в зависимости от видов обработки почвы в зернопаровом севообороте)

Система обработки почвы	Слой, см			
	0–10	10–20	20–30	30–40
Отвальная	4,61	4,58	4,18	3,43
Плоскорезная	4,90	4,76	4,05	3,44
Разница в содержании гумуса	0,29	0,18	0,13	0,01
НСР 0,95	0,21	0,23	0,23	0,17

Таблица 4

Содержание гумуса (%) в южном карбонатном черноземе
(в зависимости от видов обработки почвы в зернопаровом севообороте)

Система обработки почвы	Слой, см			
	0–5	5–10	10–15	15–20
Отвальная	4,43	4,54	4,44	4,42
Плоскорезная	4,91	4,83	4,71	4,52
Разница в содержании гумуса	0,48	0,29	0,27	0,10
НСР 0,95	0,32	0,23	0,29	0,32

Подобных данных, подтверждающих эффективность влияния бесплужной обработки почвы на сокращение потерь гумуса за счет снижения минерализации органического вещества почвы, в последние годы появилось довольно много для различных регионов России, Канады, США [29]. Например, в 27-летнем стационарном опыте Новоодесского госсортучастка Николаевской области в первой ротации 10-польного севооборота прибавка урожая по плоскорезной обработке составила 3,4 ц/га, во второй – 6,6, в третьей – 9,2 ц/га по сравнению с отвальной вспашкой за счет снижения минерализации органического вещества в почве. Здесь мы наблюдаем действие временного фактора обработки на почвообразование, который можно сформулировать так: чем больше времени проходит после оборачивания пласта, тем выше плодородие почвы и урожай.

Преодолению пресловутого психологического барьера или консерватизма в обработке почвы способствовал и крупномасштабный эксперимент в Полтавской области (Украина) проводившийся в течение 10 лет под руководством Ф. Т. Моргуна и Н. К. Шикеры [86]. Преимущество безотвальной обработки особенно проявилось в 1981 г., когда всю Украину охватила засуха. В большинстве областей республики урожаи резко снизились, а в Полтавской области новая система обработки позволила спасти урожай и продать государству зерна больше, чем в предыдущие годы.

Распашка черноземной целины уже в первые 10 лет приводит к резкому обеднению органическим веществом пахотного слоя, что, в свою очередь, ухудшает агрономические и физические свойства почвы, определяющие их эффективное и потенциальное плодородие (табл. 5).

Таблица 5

Влияние распашки черноземов, типичных для целины,
на динамику гумуса и плотность сложения почв

Слой почвы, см	Целина				Пашня, 54года			
	Содер- жание гумуса, %	Плотность почвы, г/куб.см	Масса корней, т/га	Запас гумуса, т/га	Содер- жание гумуса, %	Плотность почвы, г/куб. см	Масса корней, т/га	Запас гумуса, т/га
0–10	10,39	0,77	19,24	80,0	5,61	1,0	5,71	56,1
10–20	7,82	1,06	3,12	82,9	5,71	1,22	1,52	69,7

Даже в условиях интенсивного земледелия, предполагающего применение удобрений, гербицидов и фунгицидов, обработка почвы без оборота пласта по сравнению с отвальной вспашкой дает заметное увеличение количества гумуса в пахотном горизонте [53, 59, 80, 81, 91].

Минимизация обработки почвы изучалась и в Западной Европе. В вышедшей в 1976 г. в Германии книге Г. Канта под названием «Земледелие без плуга» сообщается, что интенсивная обработка почвы была и является рациональной до тех пор, пока не минерализуются оптимальные запасы гумуса в почве или вносятся высокие дозы органических удобрений. Она бывает недопустима, если содержание гумуса снизилось до уровня, необходимого для биологического саморыхления почвы. При беспашотной обработке почвы содержание углерода увеличивается даже без возделывания промежуточных культур и удобрения соломой или навозом. Для проведения посева рекомендуется трехдисковая сеялка (двухдисковый сошник и дисковый нож), полосная фреза (посев во фрезированные бороздки, ширина фрезерного ножа – 2–20 см) и обычные дисковые сошники при посеве, фреза-сеялка (с тремя способами заделки семян). Эти агрегаты применяются в зависимости от типа почв, предшественника, засоренности, влажности, крутизны склона и мощности трактора.

Работы Г. Канта интересны тем, что на основании экспериментальных данных он пришел к выводу о необходимости бесплужной обработки почвы не в степных засушливых зонах, а в условиях достаточного увлажнения [47].

П. У. Бухтин считает, что оборачивание пахотного слоя необходимо для перераспределения и перемешивания верхней и нижней его частей, для придания ему однородности. При перемещении верхней

части пахотного слоя на место нижней культурные растения наиболее интенсивно используют элементы плодородия, накопленные в слое, помещенном обработкой на дно борозды, а нижняя часть пахотного слоя, извлеченная наверх, в течение вегетационного периода должна восстановить свое плодородие. При этом отмечается, что при отсутствии оборачивания обрабатываемого слоя вследствие дифференциации его верхней части культурные растения формируют основную массу корневой системы в слое 0–10 см, что в засушливые годы приводит к снижению урожайности сельскохозяйственных культур.

В то же время научные исследования и практика показывают, что вспашка не всегда является лучшим приемом обработки почвы [80, 81].

Е. А. Ревякин отмечает, что использование мощных машин при обработке почвы приводит к ее переуплотнению, и это становится причиной развития эрозионных процессов. При этом переуплотняется подпахотный горизонт, возникает плужная подошва. При интенсивной обработке происходит активная минерализация органического вещества почвы, возрастает непроизводительный расход гумуса.

За последнее десятилетие в земледельческой практике ряда развитых стран, в том числе европейских, происходит переосмысление роли механической обработки почвы, ее назначения, функций и, в особенности, негативных последствий. В глобальном экологическом аспекте развитие почвообработки получило ярко выраженный процесс минимализации. Широкое применение в земледелии получают поверхностный, безотвальный чизельный, плоскорезный способы обработки почвы, позволяющие оптимизировать антропогенное воздействие на почву и обеспечивающие высокую продуктивность и устойчивость агроэкосистем. Безотвальная обработка широко применяется в США, Канаде, Франции.

По данным В. В. Орлова, в Англии лишь 50 % озимых культур высевается по отвальной обработке почвы. Кроме безотвальной обработки на 15 % посевных площадей используется прямой посев, то есть нулевая обработка, и в будущем планируется довести этот прием до 25 % всех посевных площадей зерновых и кормовых культур.

3.3. ОБРАБОТКА ПОЧВЫ В СИСТЕМЕ ЗЕМЛЕДЕЛИЯ США (1960–1980 гг.)

Если анализировать послевоенное развитие американского земледелия, то возможно выделить два его этапа.

Первый этап – это интенсификация земледелия без серьезных опасений за возможные крупные негативные последствия. Он продолжался до второй половины 70-х гг. XX в. За два десятилетия (1960–1980 гг.) техническая оснащенность ферм была увеличена почти в 4,5 раза (по стоимости), их энерговооруженность (по мощности тракторов) – в 2 раза, использование удобрений возросло в 3, пестицидов – в 4 раза, площадь орошаемых земель – в 1,5 раза (сельское хозяйство стало поглощать 80 % водных ресурсов страны). В этот период большинство фермеров отошло от строгого соблюдения севооборотов, широко внедрилась монокультура ради получения максимальной прибыли.

Все это дало на первых порах большой эффект. Сборы зерна в США за 1960–1980-е гг. увеличились в 2 раза, а валовой доход их поднялся в 4,7 раза с сокращением трудовых затрат за эти годы в 2 раза.

Но и негативные последствия безоглядной интенсификации были не менее разительны. Массовое применение химических средств привело к катастрофическому ухудшению качества водных ресурсов страны, стремительному росту издержек на их очистку и к их недостатку во многих районах. Тяжелая техника и вспашка способствовали массовой деградации почв. Расширение орошаемых площадей стало причиной засоления огромных площадей. Эти и другие негативные последствия интенсификации сельского хозяйства были расценены правительством и общественностью США как «катастрофические». Эффективность капиталовложений в сельскохозяйственное производство резко снизилось, а в начале 80-х гг. прошлого века появились перспективы прямых убытков, и определилась опасность потери устойчивости объемов сельскохозяйственного производства в стране. Осознание опасности начавшегося в США разрушения земельных и водных ресурсов страны явилось одной из причин резкого снижения (в то же время) темпов роста технической вооруженности ферм, сокращения объемов вносимых удобрений, пестицидов, стабилизации площадей под орошением. Белый дом, Конгресс, общественность и фермерство страны приняли кардинальные

меры по предотвращению эрозии почв и других экологических бедствий. Правительство за короткий срок организовало два общенациональных обследования земельных и водных ресурсов. В 1985 г. была создана коалиция 30-ти общественных организаций, развернувшая широкую кампанию против эрозии полей. С этого времени проблема стала официально рассматриваться как общенациональная, требующая безотлагательного решения.

Объем потерь почвы с посевных площадей страны из-за эрозии в 1982 г. составлял 3 млрд т в год, в том числе 60 % – из-за водной эрозии и 40 % – из-за ветровой. Средние потери почвы с 1 га пашни составляли в начале 80-х гг. – 20 т в год. Было признано, что уровень эрозии почвы нельзя считать допустимым, если ежегодный объем превышает 12,5 т/га. С учетом этого уровня все поля были разбиты на четыре класса.

К первому классу относились почвы, темпы эрозии которых не превышают 12,5 т/га независимо от структуры производства или используемой технологии обработки. Этому требованию соответствовало 39 % посевных площадей.

Ко второму классу – почвы, у которых эрозия превышала допустимый уровень, но структура их использования и технология обработки ограничивала эрозию в пределах допустимых потерь. Таких земель было 39 %.

К третьему классу – земли, имеющие потенциал эрозии, превышающий допустимый уровень, при наличии возможностей приведения его в норму через изменения агротехнологий и почвозащитных мер. К таким землям было отнесено 15 % пашни.

К четвертому классу были отнесены земли, у которых недопустимо высокие темпы эрозии независимо от характера использования и применяемых технологий. К этому классу было отнесено 7 % пашни.

Переход США к внедрению почвозащитных технологий явился отличительной чертой второго этапа развития сельского хозяйства страны. В этот период в повседневной практике фермеров прочно внедрилось 5 видов почвозащитной обработки, отличающихся степенью механического воздействия на почву.

Нулевая обработка. Посев производится специальными сеялками без обработки. Для борьбы с сорняками используются гербициды.

Гребневая обработка. До посева почва не обрабатывается. Во время посева около трети поверхности почвы обрабатывается

стрельчатыми лапами или очистителями рядов, формирующими гребни, в которые производится посев. На поверхности почвы остается 60 % пожнивных остатков. Для борьбы с сорняками используются гербициды в сочетании с культивацией.

Полосная обработка. Во время посева почва обрабатывается полосами, составляющими примерно 30 % поверхности почвы, 50 % пожнивных остатков остается на поверхности. Для борьбы с сорняками применяются гербициды и культивация.

Мульчирующая обработка осуществляется чизелями, культиваторами, дисковыми орудиями или плоскорезами в зависимости от культуры, погодных условий и свойств почв перед посевом. 30 % пожнивных остатков покрывает почву. Борьбу с сорняками ведут химическими и механическими средствами.

Сокращенная обработка. В ее основе лежит сокращенное число проходов по полю за счет использования гербицидов и совмещения операций. На поверхности почвы остается 30 % остатков от прошлого урожая.

Из всех видов обработок почвы наибольшее распространение получила мульчирующая, на нулевую обработку приходится лишь 5 % посевной площади, в основном при возделывании кукурузы. В соответствии с прогнозными показателями Министерства сельского хозяйства США, к 1995 г. ожидалось применение почвозащитной обработки на 83 % посевной площади. Однако в последние годы темпы распространения ее несколько снизились. Это объясняется, в основном, выводом из сельскохозяйственного оборота площадей, подверженных высокой потенциальной эрозии, в рамках реализации Закона по продовольственной безопасности.

Рассматривая американский опыт внедрения почвозащитных технологий, можно сказать, что он определяется несколькими факторами:

- использование законодательных актов, предусматривающих возмещение ущерба, наносимого земельным и водным ресурсам в процессе обработки почвы. В этом случае почвозащитная обработка почвы выгодна с точки зрения максимального эффекта при наименьших затратах как для государства, так и для фермера;

- наличие специальных государственных служб (Служба сохранения земель), оказывающих фермерам техническую и практическую помощь при внедрении почвозащитных технологий;

– развитая материально-техническая база почвозащитных технологий, когда фермерам поставляются все необходимые технические средства и материалы;

– создание в 1983 г. первого в мире Общенационального центра по развитию почвозащитных технологий, что дало дополнительный толчок ускоренному внедрению их в США и других странах.

3.4. ОБРАБОТКА ПОЧВЫ В БЕЛАРУСИ

Два-три последних десятилетия сельское хозяйство Беларуси, как и многих других стран, развивалось в направлении интенсификации преимущественно химико-технологичным путем. Это позволило удвоить потенциал плодородия пахотных почв и повысить в 2,8 раза урожайность сельскохозяйственных культур. В то же время в связи с экономическим кризисом произошло значительное уменьшение количества ежегодно вносимых органических и минеральных удобрений, что привело не только к снижению продуктивности сельскохозяйственных угодий на 30–40 %, но и к заметной потере потенциала плодородия почв. Процесс деградации плодородия почв начал проявляться на 70 % пашни и 95 % луговых угодий.

К сожалению, проблема почвозащитной обработки почвы актуальна и для нашей республики, а опыт США в этой области может быть весьма поучительным. Существующая в Беларуси многооперационная обработка почвы, основанная на отвальной вспашке и многократных культивациях, не только не отвечает требованиям сегодняшнего дня, но и наносит большой ущерб в виде растущей деградации почв. Если в 1976 г. в республике было 2,1 млн га пахотных почв, подверженных водной и ветровой эрозии, то в настоящее время – 3,8 млн га (45 % пашни), и разрушение почвы продолжается, несмотря на проводимые защитные мероприятия.

Данные Белорусского НИГП «Институт почвоведения и агрохимии» свидетельствуют о том, что при зяблевой вспашке даже поперек склона с каждого гектара смывается 16 т почвы, в том числе около 200 кг гумуса, 5 кг фосфора, 6 кг калия (рис. 2).

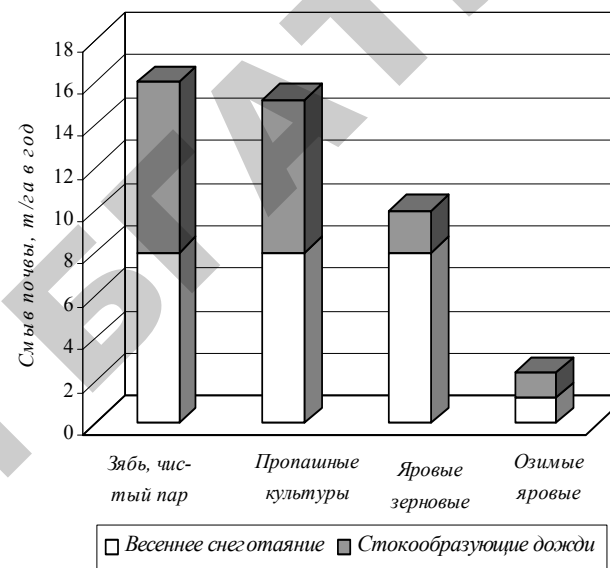


Рис. 2. Суммарный годовой смыв почвы и его распределение в зависимости от агрофона

Размеры суглинистых почв за 15–20 лет уменьшились на 935 тыс. га, а песчаных – возросли на 300 тыс. га. Площадь торфяников за указанный период сократилась на 350 тыс. га.

В совхозе «X лет БССР» Любанского района, например, природа нарабатывала торфяники 10 тыс. лет. Когда совхоз начинал их осваивать, глубина торфяников составляла более 2 м. За 50 лет из 4 тыс. га торфяников осталось чуть больше тысячи. Остальное – песок. Каждый год на Белорусском Полесье смывается 30 млн т плодородной почвы и более 1 млн т уносится ветром.

Эффективность капиталовложений в сельскохозяйственное производство республики из года в год снижается, и причина этого – ежегодная вспашка с оборотом пласта. Кроме того, в настоящее время появилась опасность прямых убытков и потери устойчивости

необходимых объемов сельскохозяйственного производства в нашей стране. Проблему почвозащитной обработки почвы уже необходимо рассматривать как общенациональную, требующую безотлагательного рассмотрения Правительством и общественностью республики. В нашей стране уровень эрозии почвы превышает предельно допустимый (2,0 т/га) и составляет 14–16 т/га, а по отдельным земледельцам абсолютные величины смыва почвы колеблются в широком диапазоне и достигают 100 т/га в год и более. Недобор урожая на таких почвах составляет в среднем 36 %. Кроме этого, ежегодная вспашка приводит к образованию плужной подошвы, что также является одной из причин снижения урожайности.

И. А. Голуб, Г. В. Симченков, Н. Г. Бачило и др. [80, 81] отмечают возможность замены в условиях республики в севооборотах отвальной вспашки под зерновые культуры безотвальной обработкой дисковыми боронами, чизель-культиваторами, а на легких по гранулометрическому составу почвах – плоскорезами.

Недостаток способа обработки с оборотом пласта, по мнению В. И. Санковского, заключается в том, что плуг способствует обнажению земли. Почва – это живой объект, в нем происходят сложные биологические, физические и химические процессы. Механическая обработка с оборотом пласта – это глубокое вмешательство в жизнь почвы, вызывающее разрушение природного строения почвы, нарушение ее водного, воздушного, пищевого и теплового режимов. Лишение почвы природной мульчи, распыление верхнего слоя создают предпосылки для усиления стока, эрозии, дефляции. Вследствие механической обработки происходит разрушение почвенных зооценозов, сокращение зоонаселения, разрушение ходов червей и корней, снижение способности к биологическому саморегулированию.

Одним из основных технологических приемов, оказывающих существенное влияние на реализацию потенциала продуктивности сельскохозяйственных культур, является обработка почвы. При правильной обработке в почве создаются оптимальные условия для физических и биологических процессов и, тем самым, повышается

эффективность всех других агротехнических мероприятий. По мнению В. В. Ермоленкова, А. А. Шелюто и др. за счет обработки почвы формируется до 25 % урожая возделываемой культуры. Системы обработки, применяемые в сельском хозяйстве Беларуси и в зарубежных странах, различаются по интенсивности и характеру воздействия на почву. До сих пор традиционным способом основной обработки почвы в республике является отвальная вспашка, которая имеет целый ряд положительных и отрицательных сторон.

По мнению ряда авторов, проводивших исследования в разных регионах [17, 21, 80, 81], применение только одного способа основной обработки почвы в севообороте приводит к снижению почвенного плодородия, урожайности сельскохозяйственных культур и ухудшает экологию.

Для внедрения почвозащитной обработки почвы в Беларуси имеются все предпосылки. Проведено изучение безотвальных систем основной обработки во всех зонах республики на почвах различного гранулометрического состава. На супесчаных почвах Брестской сельскохозяйственной опытной станции и Гродненского зонального сельскохозяйственного института подтвердилась высокая эффективность чизельной обработки. Аналогичные данные получены и на среднесуглинистых почвах Витебской ГОСХОС.

Исследования Белорусского НИИ земледелия и кормов и широкая производственная проверка на дерново-подзолистых легкосуглинистых почвах показали целесообразность замены вспашки на безотвальную обработку. На окультуренных почвах, чистых от многолетних сорняков, вспашка была заменена дискованием тяжелой бороной в два следа с разрывом во времени (по мере появления всходов сорняков) с последующей полупаровой обработкой, а урожайность зерновых была практически одинаковой как при 100 %-ных дисковых обработках и комбинированных (вспашка + дискование), так и при 100%-ной вспашке.

При замене вспашки чизелеванием в зерновом севообороте с предварительным лущением жнивья урожайность по вспашке составила: ячменя – 55,3 ц/га, озимой ржи – 44,0, овса – 39,5 ц/га, а по чизельной обработке, соответственно, 57,6; 44,2; 39,7 ц/га (табл. 6).

Таблица 6

Урожайность сельскохозяйственных культур в зерновом севообороте в зависимости от системы основной обработки, ц/га

Способ обработки	Зерновой севооборот				
	Однолетние травы (1985–1987 гг.)	Ячмень (1987–1989 гг.)	Озимая рожь (1987–1989 гг.)	Овес (1988–1990 гг.)	Сорняков в среднем за севооборот, шт/кв.м. (в числителе – перед химобработкой, в знаменателе – перед уборкой)
Общепринятая (контроль)	313,0 л+в	55,3 л+в	44,0 л+в	39,5 л+в	106/76
Мелкая (100%)	320,0 л+д	54,0 л+д	43,1 л+д	38,7 л+д	112/62
Комбинированная (50% мелкая)	329,0 л+в	55,6 л+д	43,7 л+в	39,7 л+д	116/63
Общепринятая с подпочвенным рыхлением	339,0 л+в	61,2 л+в	47,5 л+в	42,9 л+в	87/61
Чизельная с подпочвенным рыхлением	324 отв.л.	60,4 отв.л.	45,3 отв.л.	41,9 отв.л.	103/63
Чизельная (100%)	327,0 л+ч	57,6 л+ч	44,2 л+ч	39,7 л+ч	131/71
Комбинированная (50% чизельная)	316,0 л+в	56,7 л+ч	42,6 л+в	41,0 л+ч	122/78
Чизельная с подпочвенным рыхлением	334,0 л+ч+р	59,2 л+ч	44,5 л+ч	41,3 л+ч	126/82
Плоскорезная	320,0 л+п	54,4 л+п	43,6 л+п	39,3 л+п	136/84
Поздняя	291,0 октябрь	49,8 октябрь	37,4 октябрь	35,9 октябрь	161/126
НСР 0,5	9,80–28,7	1,73–4,30	1,92–3,09	1,90–2,80	–

Примечание. л – лушение стерни; в – вспашка; д – дискование; ч – чизелевание; р – подпочвенное рыхление; п – плоскорезная обработка; отв. л. – отвальное лушение.

Исследования (проведенные нами. – Авт.) показали, что ведущая роль в повышении продуктивности сельскохозяйственных культур принадлежит удобрениям. Наивысшая продуктивность посевов на дерново-подзолистой супесчаной почве отмечалась при органо-минеральной системе и органо-минеральной с применением микробиологических удобрений. Продуктивность этих вариантов была в среднем выше на 12 % по отношению к навозу и 4,6 % – по отношению к NPK (табл. 7).

Таблица 7

Влияние удобрений и способов обработки почвы на продуктивность сельскохозяйственных культур, ц/га

Варианты	Пелюшка + овес + райграс, 1998–1999 гг. (абсол. сух. в-во)		Картофель, 1999–2000 гг.		Ячмень + клевер, 2000–2001 гг.		Клевер 1-го года, 2001–2002 гг. (абсол. сух. в-во)		Клевер 2-го года, 2002–2003 гг. (абсол. сух. в-во)	
	Вспашка	Дискование	Вспашка	Дискование	Вспашка	Дискование	Вспашка	Дискование	Вспашка	Дискование
1. Без удобрений	70,6	62,0	192,0	179	20,9	19,8	90,0	83,4	73,2	70,5
2. NPK	90,9	177,0	240,0	220	32,6	29,8	95,5	88,0	82,8	83,6
3. РК + ас. уд.	79,3	68,6	200	188	26,6	25,5	93,1	89,8	78,9	81,8
4. NPK + ас. уд.	84,6	82,9	240	214	32,8	31,8	96,2	90,2	81,7	82,1
5. Навоз	76,8	74,2	232	194	27,5	27,8	102,7	92,3	74,6	77,2
6. Навоз + NPK	101,1	85,6	245	225	31,2	32,8	103,9	97,2	79,1	82,1
7. Навоз + ас. уд.	79,0	74,2	229	196	30,5	32,6	105,8	98,3	77,7	82,5
8. Навоз + ас. уд. + NPK	96,4	85,6	235	222	31,6	34,6	103,2	96,1	85,6	84,9

Способы обработки почвы в меньшей степени влияли на урожайность. Отвальная обработка обеспечивала в среднем по вариан-

там опыта урожайность на 8,0–10,7 % выше (по однолетним, картофелю и клеверу первого года пользования) по сравнению с безотвальной. По ячменю с подсевом клевера и клеверу второго года пользования урожайность по бесплужной обработке, наоборот, была выше в среднем на 0,8–2,0 % (табл. 7, 8).

Таблица 8

Влияние удобрений и способов обработки почвы на сбор кормовых единиц, ц/га

Варианты	Пеллошка + овес + райграс, 1998–1999 гг. (абсол. сух. в-во)		Картофель, 1999–2000 гг.		Ячмень + клевер, 2000–2001 гг.		Клевер 1-го года, 2001–2002 гг. (абсол. сух. в-во)		Клевер 2-го года, 2002–2003 гг. (абсол. сух. в-во)	
	Вспа-шка	Диско-вание	Вспа-шка	Диско-вание	Вспа-шка	Диско-вание	Вспа-шка	Диско-вание	Вспа-шка	Диско-вание
1. Без удобрений	29	26	58	54	31	30	90	84	58	56
2. NPK	38	37	72	66	49	45	95	88	66	66
3. PK + ас. уд.	32	30	60	56	40	38	93	90	63	65
4. NPK + ас. уд.	36	36	72	64	49	48	96	90	65	66
5. Навоз	33	31	70	58	41	42	102	91	59	61
6. Навоз + NPK	42	36	74	68	47	49	103	96	63	65
7. Навоз + ас. уд.	35	31	69	59	46	49	105	97	62	66
8. Навоз + ас. уд. + NPK	41	37	70	67	47	52	106	95	68	68

Агрономическая оценка способов обработки и систем удобрений не в полной мере информативна. Поэтому авторами была проведена энергетическая оценка изучаемых приемов, которая позволяет получить более объективную информацию, не зависящую от колебания рыночных цен (табл. 9).

Таблица 9

Энергетическая оценка систем удобрений и обработка почвы в севообороте (1998–2003 гг.)

Варианты	С оборотом пласта			Без оборота пласта		
	Энергия урожая, тыс. МДж/га	Суммарные затраты, тыс. МДж/га	Биоэнергетический коэффициент	Энергия урожая, тыс. МДж/га	Суммарные затраты, тыс. МДж/га	Биоэнергетический коэффициент
1. Контроль (без удобрений)	585	110	5,3	545	104	5,2
2. NPK	697	167	4,2	661	161	4,1
3. PK	632	126	5,0	601	123	4,9
4. NPK	691	167	4,1	674	163	4,1
5. Навоз	683	138	5,0	628	129	4,7
6. Навоз + NPK	734	173	4,2	695	166	4,2
7. Навоз + PK	699	149	4,7	666	143	4,7
8. Навоз + NPK + микробиологические препараты	746	174	4,3	704	168	4,2

Использование органоминеральной системы удобрений с оборотом пласта характеризуется наивысшими энергетическими затратами (149–174 тыс. МДж/га) и (143–168 тыс. МДж/га) по безотвальной обработке почвы. Самый высокий биоэнергетический коэффициент был на контроле (5,2) без удобрений. Применение минеральных удобрений снижало этот показатель, особенно резкое снижение было в вариантах с внесением азотных удобрений (4,1). Обработка почвы с оборотом пласта и безотвальная с точки зрения биоэнергетической эффективности были равнозначны (см. табл. 9).

Показатели производства зерна
при различных способах обработки почвы

Способ обработки почвы	Урожайность, ц/га		Расход топлива и смазочных материалов, л/га	Затраты труда, чел.-ч/га
	озимой ржи	ячменя		
Вспашка на 18–20см	47,6	50,2	14,11	0,79
Дискование на 8–19см	45,7	48,4	3,80	0,23
Чизелевание на 18–20см	50,3	52,8	5,62	0,38
Плоскорезная обработка на 18–20см	46,1	48,6	11,2	0,91

В производстве безотвальную обработку необходимо применять, в первую очередь, под озимую рожь, так как поле после такой обработки остается выровненным, без свальных гребней и развальных борозд, а оставшиеся на поверхности растительные остатки препятствуют разрушению почвы от водной и ветровой эрозии.

Таким образом, научные исследования и широкая производственная проверка показали, что в условиях республики без ущерба для урожая отвальную вспашку можно и нужно заменить безотвальными обработками, которые должны сопровождаться полупаровыми обработками и посевом пожнивных крестоцветных культур. Установлено, что успешная борьба с пыреем ползучим и другими видами сорняков возможна без применения химических веществ с помощью агрофитоценозов с высокой конкурентоспособностью. При посеве озимой ржи на зеленую массу и получением на этом поле двух урожаев редьки масличной полностью уничтожаются корневища пырея, а сбор кормовых единиц с гектара превосходил экономический потенциал зерновых культур даже при их высокой урожайности [58].

В производственных масштабах выбор оптимальной системы обработки почвы лежит в широком диапазоне всевозможных решений – от традиционной вспашки до нулевой обработки через множество вариантов безотвальных, плоскорезных, минимальных и их комбинаций. Этот выбор определяется обеспеченностью агрохимическими ресурсами, опытом земледельца и его консерватизмом. При этом необходимо учитывать, что при безотвальной обработке на малоплодородных почвах создается дефицит минерального азота, в результате чего может снижаться урожайность. Поэтому при недостатке минеральных удобрений можно применять комбинированные системы, сочетающие разноглубинную обработку с отвальной вспашкой под пропашные культуры. На почвах легкого и среднего гранулометрического состава с достаточно высоким плодородием можно идти на сокращение механической обработки вплоть до прямого посева.

При этом необходимо учитывать тот факт, что из всех известных способов экономии энергоресурсов наибольший эффект дает переход на нетрадиционные почвозащитные системы обработки (табл. 10).

В мировой практике большое внимание уделяется чизелеванию. Его рассматривают как эффективное средство разрушения плужной подошвы, устранения уплотнения слоев почвы. Чизельная обработка почвы позволяет почти 1,5 раза уменьшить энергозатраты, избежать потерь питательных веществ и разрушения почвы. Сохранение на поверхности почвы растительных остатков обеспечивает высокие почвозащитные показатели. После чизелевания с осени не происходит сплошного замерзания почвы, что способствует впитыванию талых вод, уменьшению их стока. Весной такая почва просыхает быстрее на полторы-две недели. Чизельные культиваторы надежно работают на всех типах почв, а их производительность намного выше плуга. Если за 1 час можно вспахать Т-150 с плугом ПЛН-5-35 1,04 га, то чизелем за это время можно обработать 2,6–3,2 га. В настоящее время низкая производительность плугов, дефицит и высокая стоимость горючего не позволяют своевременно проводить зяблевую обработку почвы в республике. Это приводит к засоренности пашни и снижению урожая. На поздней вспашке (октябрь) снижается урожайность, и даже полупаровая обработка такой зяби не дает положительного эффекта.

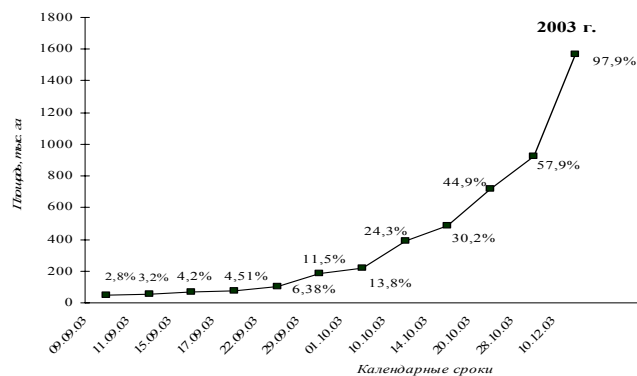
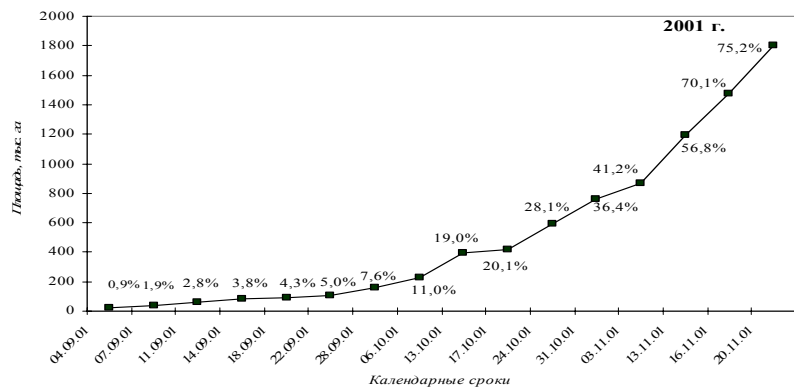


Рис. 3. График подъема (вспашки) зяби в хозяйствах общественной формы собственности Республики Беларусь

Замена основной обработки почвы с оборотом пласта (вспашка) на обработку почвы без оборота (чизелевание, дискование) позволит проводить эти работы в оптимальные сроки (рис. 3) и за счет этого повысить урожайность зерновых на 5–6 ц/га (в настоящее время только 4–5 % зяби поднимается в оптимальные сроки). Переход на бесплужную обработку даст возможность снизить затраты на дизтопливо (20 тыс. т), уберечь почву от разрушения водной и ветровой эрозией (ежегодно при зяблевой вспашке смывается около 16 т почвы с каждого гектара, в том числе 200 кг гумуса, 5 кг P₂O₅, 6 кг K₂O).

4. БИОЛОГИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ ПОЧВЫ КАК ПОКАЗАТЕЛЬ ЭФФЕКТИВНОГО ПЛОДОРОДИЯ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ СПОСОБАХ ОБРАБОТКИ ПОЧВЫ И ВИДАХ УДОБРЕНИЙ

Чтобы понять причину снижения содержания гумуса и уменьшения плодородия почвы при вспашке, очень важно проследить поведение почвенной микрофлоры при различных способах обработки и удобрения почвы.

Почвенный и растительный ценозы следует рассматривать как систему, включающую в себя почвенную биоту, продукты ее жизнедеятельности, растительность. Однако до настоящего времени при изучении влияния отдельных агроприемов на почву основное внимание уделяется изменению ее физических и химических свойств, а биологические характеристики остаются вне поля зрения исследователей.

Многочисленные исследования [6, 8, 9, 15, 20] указывают на тесную взаимосвязь между интенсивностью биологических процессов, составом и численностью микроорганизмов, а также содержанием органического вещества и биогенных элементов в почве. Почвенные микроорганизмы обладают мощным ферментативным аппаратом, выполняют многообразные функции в кругообороте всех биогенных элементов, участвуют в почвообразовании и поддержании почвенного плодородия. Поэтому биологическую активность почвы в этом случае следует рассматривать как одну из важнейших характеристик интенсивности микробиологических процессов.

По данным Н. Д. Ананьевой, Т. В. Балаян [3, 6, 9], любое воздействие на почву значительно изменяет характер биологических процессов, протекающих в ней.

На биологическую активность почвы оказывают значительное влияние способы обработки и внесение различных видов удобрительных средств.

Внесение в почву удобрений не только улучшает питание растений, но и изменяет условия существования почвенных микроорганизмов, которые также нуждаются в минеральных элементах. На одном гектаре окультуренной почвы сухая масса микроорганизмов может достигать 6–9 ц [15, 66]. Поэтому в определенных условиях микрофлора почвы может выступать в роли конкурента растениям за доступные формы питательных веществ. Прямая конкуренция наиболее вероятна при низких концентрациях элементов питания в среде. Возможно, с фактором конкуренции связано то, что применение минеральных удобрений более эффективно на почвах с низкой биологической активностью [67, 68]. В то же время в литературе содержатся данные, свидетельствующие о положительном действии микрофлоры на поглощение ионов. Сообщается, что в присутствии микроорганизмов увеличивается количество железа, транспортируемого в побег проростков ячменя.

При благоприятных климатических условиях количество микроорганизмов и их активность после удобрения почвы значительно возрастают. Усиливается распад гумуса, а вследствие этого увеличивается мобилизация азота, фосфора и других элементов. Микроорганизмы почвы и ризосферы являются продуцентами витаминов, ферментов, антибиотиков и других физиологически активных веществ, а корневая система растений способна их усваивать [22, 40, 67].

Одной из острых проблем в аграрном секторе является ухудшение экологического состояния пахотных земель, загрязнение сельскохозяйственных угодий токсическими веществами, снижение почвенного плодородия вследствие резкого уменьшения объема применения органических и минеральных удобрений. Ингибируется жизнедеятельность большинства микроорганизмов, включая их ферментативную активность. Рекомендуется вносить оптимальные дозы органических удобрений, что повышает биохимическую и микробиологическую активность почв, быстрее снижает количество остаточной нефти и других поллютантов по сравнению с внесением одних минеральных удобрений [3, 22, 35, 40].

Обработка почвы, удобрения оказывают существенное влияние на качественный и количественный состав микрофлоры, поскольку микроорганизмы являются исключительно чувствительными реагентами на изменения в окружающей среде. Величина биомассы микроорга-

низмов – важный показатель, определяющий как интенсивность круговорота веществ в экосистеме, так и направленность почвообразовательного процесса.

4.1. СОСТАВ, ЗНАЧЕНИЕ И ОСОБЕННОСТИ ПОЧВЕННОЙ МИКРОФЛОРЫ

Почвенную биоту составляют: почвенные бактерии, актиномицеты, почвенные грибы и водоросли, простейшие одноклеточные организмы, черви, мелкие животные. Почвенные организмы нуждаются в тех же условиях жизни, что и любые другие: вода, воздух, пища, тепло.

Почвенные бактерии составляют большую часть почвенной биоты. В одном грамме садовой почвы содержится от 0,5 до 2–3 млрд бактерий. В разложении органического вещества участвуют аэробные и анаэробные бактерии. Некоторые бактерии усваивают азот из воздуха, синтезируют богатые азотом органические соединения. Другие разлагают белки до аминокислот и аммиака, третьи переводят аммиак в нитратный азот, который поглощается растениями и используется для синтеза белка.

Актиномицеты занимают промежуточное положение между грибами и бактериями. Они выполняют важную функцию расщепления сложных, не поддающихся почвенным бактериям соединений (лигнин, пектин, целлюлоза) в растительных остатках. Их присутствие определяет свежий земляной запах здоровой плодородной почвы.

Актиномицеты являются неотъемлемой частью микробного комплекса почвы и составляют приблизительно четвертую часть от числа бактерий. По биомассе актиномицеты также составляют 20–30 % от общей биомассы бактерий. Они обладают уникальным сочетанием прокариотной организации клетки и свойств эукариотных мицелиальных грибов.

Распашка, окультуривание почвы, внесение удобрений, гербицидов вызывают изменение сообщества актиномицетов, которые отличаются от комплекса актиномицетов природных экосистем. Если комплекс почвенных актиномицетов лесного биогеоценоза характеризуется наличием доминирующего рода *Streptomyces*, то в агроценозе с внесением минеральных удобрений кроме стрепто-

мицетов к числу доминирующих относится и род *Micromonospora*, а среди стрептомицетов доминируют виды двух секций (*Cinereus*, *Albus*). Таким образом, исследования многих авторов (и наши исследования в том числе. – *Авт.*) свидетельствуют об изменении структуры комплекса почвенных актиномицетов и их численности под влиянием удобрений, обработки почвы путем смены доминантных родов и видов в сообществе [22, 39, 40, 41, 66].

Почвенные водоросли живут главным образом в верхних слоях почвы. Как и растения, они синтезируют органические вещества из углекислого газа. Водоросли за год могут синтезировать до 1,5 т/га органических веществ.

Почвенные грибы – одна из групп почвенной биоты. Они участвуют в разложении органических соединений, поглощают аммиак и другие летучие вещества, образующиеся в результате жизнедеятельности бактерий. Грибы, таким образом, предотвращают потерю почвой азота. Они участвуют в разложении почвенных минералов, высвобождая из них элементы питания для растений. Корни растений живут в тесном содружестве с почвенными грибами, которые образуют вокруг корней растений своеобразную оболочку из своих тел – корневую микоризу. Микориза питается выделениями корней, в которых содержатся органические кислоты, сахара, аминокислоты и т. д. В свою очередь, корни растений получают от микоризы растительные гормоны, элементы минерального питания.

Итак, в почвообразовательном процессе участвуют материнская порода, климат, растительность и разнообразные почвенные микроорганизмы.

Микроорганизмы имеют свои особенности и различия: морфологические, генетические, метаболические и т. д. Важной их особенностью является образование сообществ или ассоциаций между микробами и животными (биоценозы), между микробами и почвой (биогеоценозы).

Микробы могут находиться в состоянии *анабиоза*, когда они выживают, но не размножаются, *абиоза* – микроорганизмы погибают, *метабиоза* – микроорганизмы растут, развиваются и размножаются в среде обитания. В этом состоянии взаимоотношения между микробами могут быть симбиотическими или антибиотическими. При симбиозе может быть несколько видов взаимоотношений. Если один из ассоциантов живет за счет другого, не причиняя

ему вреда, то такой способ сосуществования называется *комменсализм*. Примером может служить гриб пеницилл и кишечная палочка, вырабатывающая фермент пенициллиназу, которая гидролизует пенициллин до пеницилловой кислоты. Антибиотик при этом становится неактивным. Примером комменсализма является и взаимоотношение между анаэробными и аэробными микроорганизмами. При активном разложении растительных остатков в почве снижается концентрация кислорода, а углекислого газа – повышается, тогда в работу вступают анаэробные микроорганизмы. Рост и развитие анаэробов зависят от активности аэробов.

Если оба ассоцианта помогают друг другу, такие взаимоотношения называют *мутуализмом*. Примером могут служить лишайники и цианобактерии, микробы рубца жвачных животных, микрофлора кишечника человека и др.

Нейтрализм – ассоцианты не влияют друг на друга. Например, молочнокислые бактерии и молочнокислые стрептококки, которые в закваске для йогурта не изменяют рост друг друга по сравнению с их ростом в чистой культуре.

Паразитизм – один из ассоциантов живет за счет другого. Примером могут служить заболевания растений, животных, человека, вызываемые вирусами.

Примером антибиотических взаимоотношений могут быть молочнокислые кокки и бактерии, продуцирующие молочную кислоту, которые погибнут от избытка лактата. Сахаромицеты, производя в процессе брожения спирт, погибают от него, как только его концентрация достигает 15 %.

Микронаселение почвы может существенно меняться за счет технологических факторов. Вместе с навозом в почву вносится огромное количество полезных микроорганизмов. В одном грамме свежего коровяка их может быть от 960 млн до 2,6 млрд. Поэтому почвенное плодородие имеет прямо пропорциональную зависимость от численности и активности микроорганизмов. На 1 м² в почве может быть от 300 г до 1 кг микроорганизмов, в зависимости от ее плодородия. Бактериальная масса пахотного слоя в зависимости от вида почвы колеблется в пределах от 1 до 9 т/га. Не меньшую массу составляет грибная флора. Масса простейших и насекомых достигает 2–3 т на 1 га, водорослей – 1–15 т/га. Вся эта огромная биомасса находится в непрерывном развитии: растет,

размножается, стареет, отмирает и оказывает решающее влияние на формирование почв и их плодородие.

Основная масса микроорганизмов – аэробы и факультативные анаэробы. Они находятся, в основном, в верхних слоях почвы. Облигатные анаэробы встречаются в нижних слоях. Глубоко в почве обнаруживаются грибы рода *Penicillium*, а представители рода *Mucor*, *Fuzarium*, *Trichoderma* населяют лишь верхний слой почвы. Однако применение минеральных удобрений, гербицидов, обработка почвы с оборотом пласта существенно меняют состав почвенной микрофлоры, и в этом плане почвенные микроорганизмы все еще изучены недостаточно, а их важная роль в почвообразовании и плодородии почвы только становится предметом пристального изучения ученых.

Изучением микробиологического режима почв занимались многие исследователи [22, 38, 42, 49, 50, 67, 68]. Поэтому очень важно изучить влияние отдельных агротехнических приемов на количественный и качественный состав микрофлоры, плодородие почвы в целом, чтобы установить причины отрицательного воздействия обработки почвы на производительность и устойчивость агроэкосистем и оптимизировать негативное антропогенное воздействие.

4.2. ВЛИЯНИЕ СПОСОБОВ ОБРАБОТКИ ПОЧВЫ И ВНЕСЕНИЯ УДОБРЕНИЙ НА ЧИСЛЕННОСТЬ И СОСТАВ МИКРООРГАНИЗМОВ

В настоящее время почвы испытывают разнообразное антропогенное воздействие, которое может нарушать нормальное протекание почвенных процессов, а значит, и процессов круговорота веществ в биосфере. Синтез основной массы органического вещества осуществляется, главным образом, растениями. Основной деятельностью почвенных микроорганизмов является минерализация органического вещества. В процессе минерализации освобождаются питательные вещества, что и определяет в значительной мере ее естественное плодородие. Если бы образующиеся из года в год растительные остатки не подвергались минерализации, то земля оказалась бы забитой отходами жизнедеятельности, и жизнь на планете стала бы невозможной.

Длительное время считали, что минерализация органических остатков осуществляется только микроорганизмами. В дальнейшем было установлено, что значительную помощь в разложении органического вещества оказывают почвенные животные. Во влажных субтропиках и широколиственных лесах – кивсяки, дождевые черви; в тропических лесах ведущую роль в деструкции органики играют насекомые – муравьи, термиты; в тайге – энхитреиды, микроатреиды и др. Из мелких многоклеточных вокруг почвенных частиц постоянно обитают нематоды, тихоходки и другие животные, относящиеся к разным типам червей или к их родственным группам.

Таким образом, переработанные животными растительные остатки увеличивают свою поверхность и становятся более доступными бактериям. Поверхность хвоинки в результате измельчения оribатидами увеличивается в 10 тыс. раз. Кроме того, почвенные животные, в частности дождевые черви, способствуют размножению многих почвенных микроорганизмов. Например, численность микробов в экскрементах дождевых червей бывает в 13 раз выше, чем в почве [28].

Микробные сообщества играют важную санитарную роль в почве, разлагая пестициды и другие поллютанты. Исследованиями [3, 73] установлено, что трансформация пестицидов в почвах различных ценозов (пастбище, пашня, лес (дуб)) происходила только за счет деятельности микроорганизмов. В стерильных почвах разложение пестицидов не отмечено. Самая высокая устойчивость почвенных микробных сообществ к действию поллютантов была под дубравой, отсюда следует вывод, что чем менее устойчива система, тем более значительное воздействие будет оказывать пестицид или другой поллютант.

Исследованиями многих авторов [3, 22, 35, 40, 48, 65, 73] установлено, что в почвах пашни происходит резкое уменьшение биомассы грибов и бактериального населения почв в целом по сравнению с целинным аналогом.

Наибольшая суммарная микробная биомасса наблюдается в лесной почве (19,5 т/га), а наименьшая – в почве поля (6,5 т/га). Огородная почва занимает промежуточное положение по запасам микробной биомассы и составляет 10,5 т/га.

В структуре микробной биомассы доминируют грибы, причем, в почвах лесной и огородной преобладает биомасса мицелия грибов, а в почве пахотной – биомасса спор.

Внесение навоза и минеральных удобрений повышает общее содержание микробной биомассы, а известкование снижает общее содержание микроорганизмов и грибного мицелия (рис. 4).

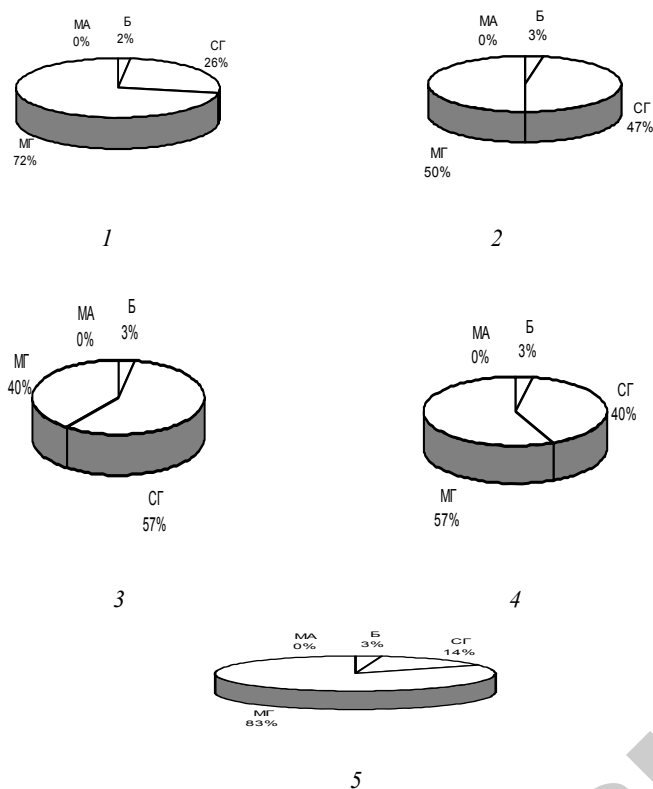


Рис. 4. Структура микробной биомассы в пахотном слое различных почв (вариант опыта):

1 – без удобрений и известки; 2 – доломитовая мука в дозе, рассчитанной по 1 гидротитической кислотности (г. к.); 3 – то же + 20 т/га навоза; 4 – то же + N100P50K120; 5 – огородная почва; микроорганизмы: МГ – мицелий грибов; СГ – споры грибов; Б – бактерии; МА – мицелий актиномицетов

Интенсивность гумусообразования тесно связана с жизнедеятельностью этих микроорганизмов и максимальна в лесных почвах. Уменьшение количества и биомассы грибов в пахотных почвах, обусловленное изменением условий почвенной среды, является

одной из важнейших причин уменьшения содержания гумуса и утраты почвой структуры, так как основное цементирующее звено – гуминовые кислоты – образуются при значительном участии грибов. В 1998–2003 гг. авторами изучалось изменение численности основных групп почвенных микроорганизмов при различных способах обработки почвы и системах удобрений в севообороте.

Полевые опыты проводились на опытном поле Гродненского государственного аграрного университета. Почва дерново-подзолистая супесчаная, подстилаемая с глубины 40–60 см моренным суглинком. Агрохимическая характеристика была следующая: гумус – 1,94 %; P₂O₅ – 396 мг/кг; K₂O – 129 мг/кг; рНКС1 – 6,27; сумма поглощенных оснований – 16,2 м-экв. на 100 г почвы.

На фоне различных способов обработки почвы (вспашка, дискование) изучали эффективность различных видов органических и минеральных удобрений. Размер делянки – 80 м². Повторность опыта – четырехкратная.

В ходе исследований использовались следующие удобрения: органические – подстилочный навоз; минеральные – мочевины, двойной суперфосфат, хлористый калий; ассоциативные – азотобактерин.

Среди биологических индикаторов, характеризующих различные аспекты состояния почвенной биоты, ведущее место занимают почвенные микроорганизмы вследствие своей высокой лабильности, исключительно четкой способности реагировать на изменения, происходящие в почве. В настоящее время механизмы функционирования микробных сообществ в почвах выяснены еще не достаточно и требуют детализации количественно-качественных характеристик биогенности почв. Известно, что именно они обеспечивают стабильную устойчивость и продуктивность биогеоценозов [35, 39, 40].

Для определения численности микроорганизмов в почве применяли метод учета их на твердых питательных средах. Почву отбирали в 10 местах с каждой делянки. После тщательного перемешивания, удаления корешков и других посторонних включений отбирали средний образец в 10 г и переносили в колбу с 90 мл стерильной водопроводной воды. Взбалтывали 15 минут. Готовили разведения 1:100 для посева грибов на среду Чапека, 1:1000 – актиномицетов на крахмало-аммиачный агар (КАА) и 1:10 000 – бактерий на мясо-пептонный агар (МПА).

Высевали по 0,05 мл соответствующего разведения на две параллельные чашки. Учет бактерий проводили через двое суток, актиномицетов и грибов – через 7 суток. На КАА учитывали кроме актиномицетов и другие группы бактерий, усваивающие минеральный азот, на среде Чапека – дрожжи.

Численность микроорганизмов в значительной степени определяется метеорологическими условиями, но четкая корреляционная зависимость между ними выявляется в том случае, если один из этих факторов является лимитирующим (например, дефицит влаги). В засушливое летнее время, когда почва испытывает недостаток влаги, последняя выступает как основной экологический фактор, и все показатели почвы, независимо от фитоценотической разновидности, становятся очень сходными по всему комплексу микробиологических процессов. К осени, когда почва достаточно увлажнена, снова проявляются различия между почвами под разными растениями. Тайсон и Поуп установили, что термальный стресс, выражающийся в резком отклонении температурных условий от оптимальных, к которым были адаптированы популяции гетеротрофных бактерий, может приводить к количественным изменениям численности на уровне временного угнетения жизнедеятельности.

Анализ результатов микробиологических исследований, проведенный в 1999 г., показал, что в июле (в период засухи) численность всех групп микроорганизмов невысокая. Увеличение численности бактерий на фоне вспашки отмечается в вариантах РК + ас. уд. и навоз. Во всех остальных вариантах численность бактерий ниже по сравнению с контролем. На фоне дискования незначительное увеличение численности отмечено в вариантах NPK + ас. уд., навоз + ас. уд., навоз + NPK + ас. уд., а также чистый NPK и навоз. В вариантах РК + ас. уд. и навоз + NPK данный показатель ниже контрольного (рис. 5, 6). Однако в целом значительных изменений в численности бактерий по вариантам опыта не наблюдалось. В августе численность бактерий уменьшается практически на всех вариантах за исключением вариантов с ассоциативными удобрениями (навоз + NPK + ас. уд., навоз + ас. уд., NPK + ас. уд., РК + ас. уд.).

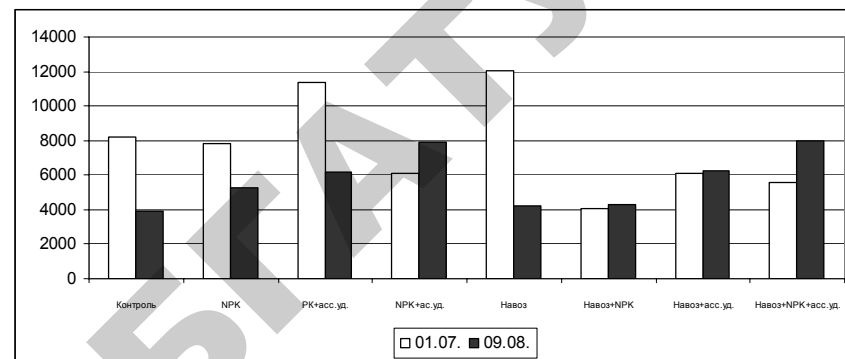


Рис. 5. Численность бактерий в почве, пелюшко-овес + райграсс, 1999 г. (вспашка)

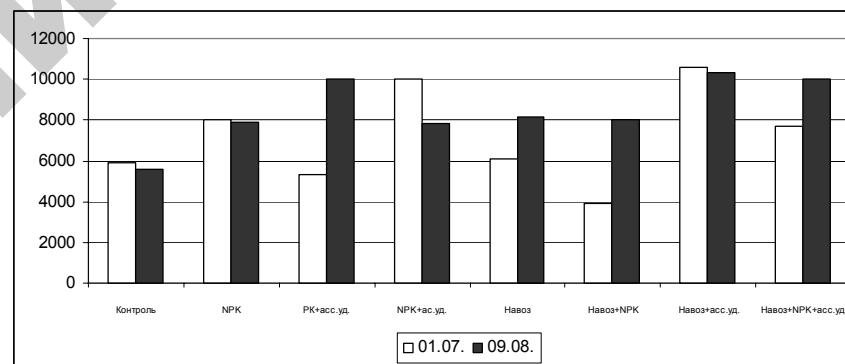


Рис. 6. Численность бактерий в почве, пелюшко-овес + райграсс, 1999 г. (дискование)

Рассматривая группу актиномицетов (рис. 7, 8), можно сказать о резком снижении их численности. В июле количество актиномицетов на фоне вспашки составило 133–346 тыс./г, на фоне дискования – 53–280 тыс./г. В августе, через месяц после уборки пелюшко-овса и райграсса, отмечается резкое увеличение численности актиномицетов по всем вариантам. Особенно выделяются варианты NPK, навоз + NPK, навоз + NPK + ас. уд., а на фоне вспашки еще РК + ас. уд., NPK + ас. уд., навоз + ас. уд.

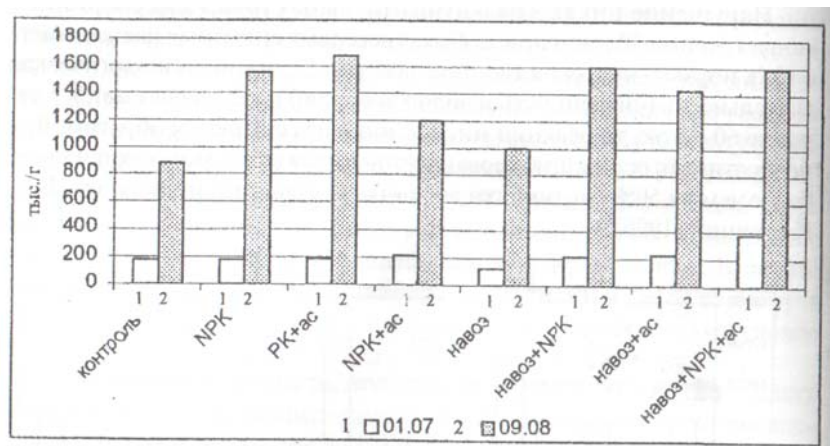


Рис. 7. Численность актиномицетов в почве, пелюшко-овес + райграс, 1999 г. (вспашка)

численности грибов в вариантах РК + ас. уд., NPK + ас. уд., навоз + ас. уд., навоз + NPK + ас. уд.), то на фоне вспашки наблюдается обратный эффект (рис. 9, 10).

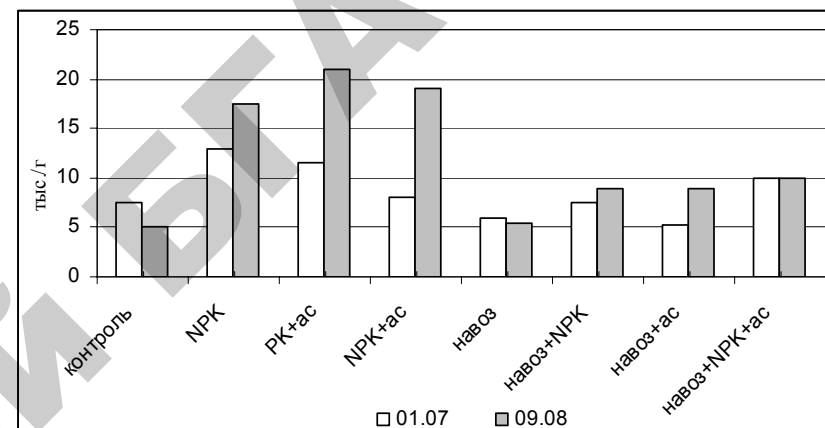


Рис. 9. Численность грибов в почве, пелюшко-овес + райграс, 1999 г. (вспашка)

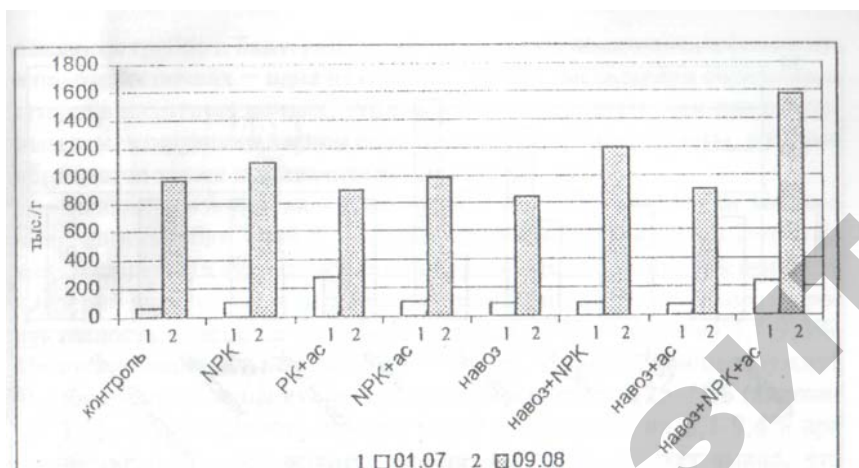


Рис. 8. Численность актиномицетов в почве, пелюшко-овес + райграс, 1999 г. (дискование)

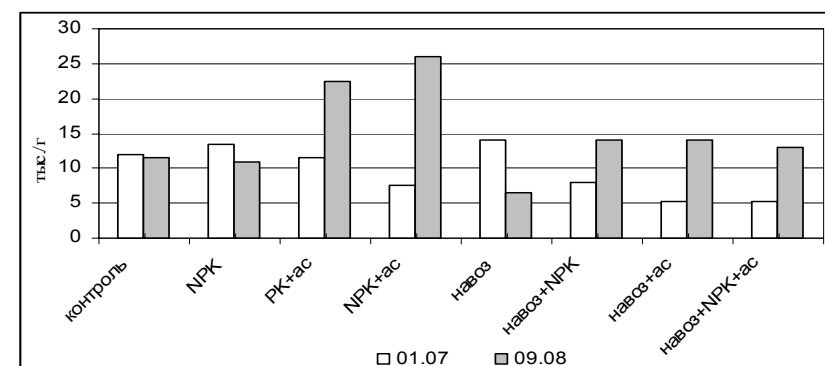


Рис. 10. Численность грибов в почве, пелюшко-овес + райграс, 1999 г. (дискование)

Численность грибов, аналогично другим группам микроорганизмов, определялась влиянием температуры и влажности в данный период. Если на фоне дискования можно проследить антагонистическое влияние ассоциативных удобрений (происходит снижение

Численность грибов в августе значительно увеличивается на вариантах с ассоциативными удобрениями. Внесение навоза с минеральными и ассоциативными удобрениями также способствовало увеличению их

численности. Однако на контрольном варианте и варианте с навозом отмечается снижение численности грибов по сравнению с июлем.

Резюмируя вышесказанное, можно предположить, что в результате резкого отклонения температуры и влажности от оптимальных параметров данный микробный комплекс в июле 1999 г. находился в зоне стресса, то есть наблюдались количественные изменения численности и временное угнетение жизнедеятельности микроорганизмов, что сказалось на урожайности пелюшко-овса и райграса однолетнего.

Нарушение цикла в развитии отдельных групп микроорганизмов в течение 30 дней при любых стрессовых ситуациях расценивается как нормальное, естественное явление. Если микробиологическая деятельность (численность и видовой состав) восстанавливается в течение 60 суток, то реакция микробиоценоза считается обратимой, и необратимой, если ингибирование отдельных форм микроорганизмов более чем на 50 % сохраняется до конца вегетационного периода [52].

Восстановление за 30 дней произошло на вариантах с внесением ассоциативных удобрений. Бактерии обладали наибольшей чувствительностью к неблагоприятным условиям, а грибы – наибольшей устойчивостью. Самому сильному стрессу подверглись микроорганизмы в вариантах: контрольный (без удобрений) и с чистым навозом. Здесь в августе еще отмечалось снижение численности бактерий и грибов.

Анализируя в целом результаты исследований по состоянию почвенной биоты, следует отметить, что антропогенное воздействие посредством удобрений, способов обработки оказывает значительное воздействие на биологические процессы.

Внесение навоза, а также комплексное внесение минеральных и органических удобрений создает оптимальные условия для жизнедеятельности целлюлозоразлагающих микроорганизмов, значительно увеличивает численность всех групп микроорганизмов.

Выявлено положительное влияние ассоциативных удобрений на комплекс биологических показателей почвы, устойчивость микробных сообществ к стрессу, вызванному неблагоприятными погодными условиями (дефицит влаги).

Видовой и количественный состав микроорганизмов не является постоянной величиной и может колебаться в значительных пределах. На этот показатель влияет целый ряд факторов, в том числе и агротехнических (удобрения, обработка почвы) (табл. 11).

Влияние удобрений и способов обработки почвы на численность основных групп микроорганизмов, среднее по трем определениям ежегодно (апрель, июль, сентябрь) (1998–2003 г.)

Варианты	Бактерии, тыс./г абсолютно сухой почвы					Сумма за ротацию.	Среднее
	Пелюшко-овес + райграс, (1998–999 гг.)	Картофель, (1999–2000 гг.)	Ячмень + клевер, (2000–2001 гг.)	Клевер 1-го года пользования (2001–2002 гг.)			
<i>Вспашка</i>							
1. Контроль без удобрений	5950	3733	3416	2475	15574	3894	
2. NPK	6250	4933	3116	3350	17649	4412	
3. PK + ас. уд.	8900	5166	3983	3175	21224	5306	
4. NPK + ас. уд.	6900	5650	4850	3725	21125	5281	
5. Навоз	8200	7100	2966	2850	21116	5279	
6. Навоз + NPK	4450	5116	3383	3475	16424	4106	
7. Навоз + ас. уд.	6600	5833	3766	3475	19574	4894	
8. Навоз + ас. уд. + NPK	6350	5966	4400	4200	20916	5229	
<i>Дискование</i>							
1. Контроль без удобрений	5300	3583	3183	1850	13916	3479	
2. NPK	7750	3550	3316	2650	17266	4317	
3. PK + ас. уд.	7950	5100	4133	2775	19958	4990	
4. NPK + ас. уд.	8650	5650	5383	3825	23508	5877	
5. Навоз	7300	3600	4533	2950	18383	4596	
6. Навоз + NPK	5650	4366	5816	4900	20732	5183	
7. Навоз + ас. уд.	10750	4500	4733	4075	24058	6015	
8. Навоз + ас. уд. + NPK	8750	7233	5666	4325	25974	6494	

Продолжение табл. 11

Варианты	Актиномицеты, тыс./г абсолютно сухой почвы					Сумма за ротации	Среднее
	Пелюшко-овес + райграс, (1998–1999 гг.)	Картофель, (1999–2000 гг.)	Ячмень + клевер, (2000–2001 гг.)	Клевер 1-го года пользования (2001–2002 гг.)			
<i>Вспашка</i>							
1. Контроль без удобрений	536	476	300	216	1528	382	
2. NPK	833	483	385	306	2007	502	
3. PK + ас. уд.	900	555	293	393	2141	535	
4. NPK + ас. уд.	713	603	311	346	1973	493	
5. Навоз	550	575	365	290	1780	445	
6. Навоз + NPK	906	623	355	340	2224	556	
7. Навоз + ас. уд.	829	801	333	430	2393	598	
8. Навоз + ас. уд. + NPK	963	540	481	500	2484	621	
<i>Дискование</i>							
1. Контроль без удобрений	511	460	181	660	1812	453	
2. NPK	596	546	160	350	1652	413	
3. PK + ас. уд.	580	667	281	360	1888	472	
4. NPK + ас. уд.	543	673	238	343	1797	449	
5. Навоз	460	568	221	266	1515	379	
6. Навоз + NPK	635	633	193	356	1817	454	
7. Навоз + ас. уд.	478	593	268	430	1769	442	
8. Навоз + ас. уд. + NPK	901	540	333	403	2177	544	

Варианты	Плесневые грибы, тыс./г абсолютно сухой почвы					
	Пелюшко - овес + райграс, (1998-1999 гг.)	Картофель, (1999–2000 гг.)	Ячмень + кле- вер, (2000–2001 гг.)	Клевер 1-го года пользования (2001–2002 гг.)	Сумма за ротации	Среднее
Вспашка						
1. Контроль без удобрений	6,2	12,0	6,5	4,6	29,3	7,3
2. NPK	14,8	15,7	7,8	6,6	44,9	11,2
3. РК + ас. уд.	15,9	12,0	9,3	5,6	42,8	10,7
4. NPK + ас. уд.	13,7	13,0	8,5	5,0	40,2	10,0
5. Навоз	5,8	10,0	7,6	4,6	28,0	7,0
6. Навоз + NPK	8,4	12,3	9,6	6,6	36,9	9,2
7. Навоз + ас. уд.	7,4	14,0	8,0	8,0	37,4	9,4
8. Навоз + ас. уд. + NPK	10,0	13,0	10,1	6,0	39,1	9,8
Дискование						
1. Контроль без удобрений	11,7	16,0	9,1	5,0	41,8	10,5
2. NPK	12,2	16,0	9,5	8,3	46,0	11,5
3. РК + ас. уд.	16,9	15,0	8,1	6,0	46,0	11,5
4. NPK + ас. уд.	17,3	18,0	9,5	7,3	52,1	13,0
5. Навоз	10,2	14,3	9,8	6,6	40,9	10,2
6. Навоз + NPK	10,7	17,3	11,3	8,6	47,9	12,0
7. Навоз + ас. уд.	9,4	13,0	8,1	9,0	39,5	9,9
8. Навоз + ас. уд. + NPK	8,9	14,0	10,5	10,6	44,0	11,0

Количество микроорганизмов в почве было различно и в течение вегетации. Так, максимальное содержание бактерий было во второй половине лета (июль), а наименьшее количество отмечалось весной (апрель). Примерно такая же динамика сезонного колебания численности была по актиномицетам и плесневым грибам.

Применение безотвальной обработки почвы имело преимущество перед вспашкой в повышении количества бактерий (6,6 %) и плесневых грибов (20,1 %) при всех системах удобрений. Содержание актиномицетов по безотвальной обработке, наоборот, было ниже (в среднем, на 14,5 %). Самое высокое количество микроорганизмов наблюдалось в почве целинного аналога (рис. 11).



Рис. 11. Влияние способов основной обработки почвы на количество микроорганизмов, млн шт./1 г воздушно-сухой почвы (в среднем за вегетацию)

Авторские исследования подтверждают выводы многих специалистов, что в пахотных почвах происходит снижение содержания микроскопических грибов, что является одним из наиболее значимых нарушений почвенной биоты. Грибы являются основным разрушителем органического вещества (85 % органического вещества почвы разлагается совместным влиянием грибов и бактерий), и уменьшение их количества и биомассы в пахотных почвах – одна из главных причин уменьшения содержания гумуса в пахотных

почвах, утраты почвой структуры, так как основным цементирующим звеном ее являются гуминовые кислоты, которые образуются также при значительном участии грибов.

Выявлена взаимосвязь удобрений и способов обработки почвы с численностью бактерий и урожайностью ячменя и клевера 2-го года пользования. На фоне внесения минеральных удобрений численность бактерий по вспашке и дискованию отличалась незначительно, и продуктивность ячменя на этом фоне по вспашке была выше на 3,1–9,3 %. На органо-минеральном фоне численность бактерий при бесплужной обработке превышала их численность по вспашке на 25–71 % (табл. 12, варианты 6–8), и урожайность ячменя также была выше на 5,1–9,4 % при обработке почвы без оборота пласта.

Таблица 12

Взаимосвязь удобрений и способов обработки почвы с численностью бактерий и урожайностью ячменя, 2000–2001 гг.

Варианты	Численность бактерий, тыс. шт.		Урожайность, ц/га	
	Вспашка	Дискование	Вспашка	Дискование
	Среднее значение за 2 года	Среднее значение за 2 года	Среднее значение за 2 года	Среднее значение за 2 года
Без удобрений (контроль)	3416	3183	20,9	19,8
N ₈₀ P ₁₀ K ₁₀₀	3116	3316	32,6	29,8
P ₁₀ K ₁₀₀ + эпин	3983	4133	26,6	25,5
N ₈₀ P ₁₀ K ₁₀₀ + эпин	4850	5383	32,8	31,8
Навоз 20 т/га	2966	4533	27,5	27,8
Навоз + N ₄₅ P ₁₀ K ₄₀	3383	5816	31,2	32,8
Навоз + P ₁₀ K ₁₀₀ + эпин	3766	4733	30,5	32,6
Навоз + N ₄₅ P ₁₀ K ₄₀ + эпин	4400	5666	31,6	34,6
НСП _{0,5}	–	–	1,59	1,57

Из этого следует вывод, что вспашка эффективна только при применении минеральных удобрений. Если в почве достаточно свежего органического вещества, то в этом случае рыхление почвы более эффективно, чем вспашка. Этими данными, по-видимому, можно объяснить неоднозначность выводов многих исследователей относительно эффективности обработки почвы с оборотом пласта и без оборота.

Таблица 13

Взаимосвязь удобрений и способов обработки почвы с численностью бактерий и урожайностью клевера, 2000–2001 гг.

Варианты	Численность бактерий тыс. шт.		Урожайность, ц/га			
	Вспашка	Дискование	Вспашка	Дискование	Вспашка	Дискование
	Среднее значение	Среднее значение	Среднее значение по клеверу 1-го года пользования		Среднее значение по клеверу 2-го года пользования	
Без удобрений (контроль)	2470	1850	90,0	83,0	73,2	70,5
N ₈₀ P ₁₀ K ₁₀₀	3350	2875	95,5	88,0	82,8	83,6
P ₁₀ K ₁₀₀ + эпин	3175	2775	93,1	89,0	78,9	81,8
N ₈₀ P ₁₀ K ₁₀₀ + эпин	3725	3825	96,2	90,2	81,7	82,1
Навоз 20 т/га	2850	2950	102,7	92,3	74,6	77,2
Навоз + N ₄₅ P ₁₀ K ₄₀	3475	4900	103,9	97,2	79,1	82,1
Навоз + P ₁₀ K ₄₀ + эпин	3375	4050	105,8	98,3	77,1	82,5
Навоз + N ₄₅ P ₁₀ K ₄₀ + эпин	4200	4325	103,2	96,1	85,6	84,9

Примерно такая же закономерность сохраняется при рассмотрении взаимосвязей удобрений и способов обработки почвы с численностью бактерий и урожайностью клевера 2-го года пользования.

Урожайность клевера на органоминеральном фоне была выше при дисковании на 3,4–7,0 %, а численность бактерий – на 2,9–41,0 % по сравнению со вспашкой (табл. 13).

4.3. ВЛИЯНИЕ СПОСОБОВ ОБРАБОТКИ ПОЧВЫ И ВНЕСЕНИЯ УДОБРЕНИЙ НА ФЕРМЕНТАТИВНУЮ АКТИВНОСТЬ ПОЧВЫ

Ферменты – биологические катализаторы белковой природы, которые образуются живыми организмами, характеризуются мощностью, лабильностью и специфичностью действия. Им принадлежит важная роль в обмене веществ. Ферментативная активность почвы определяет направленность и интенсивность биохимических процессов в почве и является одним из важнейших биологических показателей, определяющих почвенное плодородие.

Многие исследователи [35, 39, 40, 48, 62, 63] отмечают, что объективным интегральным показателем суммарной биологической активности почвы является ее ферментативная активность. Поскольку без ферментов не происходит ни один биологический процесс, связанный с образованием и разрушением гумуса, их активность рассматривается в качестве критерия оценки степени окультуренности почв, напряженности протекающих в них биологических процессов, то есть всего комплекса параметров, объединенных в понятие «плодородие почвы». Поэтому, по их мнению, ферментативную активность следует использовать для объективного диагностирования почв.

Современная энзимология насчитывает шесть классов ферментов. В почве обнаружены все ферменты, но существенное значение имеют оксиредуктазы (каталаза, полифенолоксидаза и др.), так как в основе синтеза гумусовых компонентов почвы лежат окислительно-восстановительные процессы, в которых участвуют соответствующие ферменты. Различные фенольные соединения растительных остатков после их окисления при участии оксидаз переходят в биологически активную хиноидную форму и впоследствии, в результате реакций конденсации, полимеризации и связывания с азоторганическими соединениями, образуют молекулы гуминовых кислот.

Однако сведений о взаимосвязи ферментативной активности, агрофизических свойств почвы, агротехнических мероприятий (обработка почвы с оборотом и без оборота пласта, удобрениями, наземной растительностью) очень мало, если не считать общих положений. Поэтому исследования в этом направлении представляются перспективными в том отношении, что позволят получить более полное представление о влиянии отдельных агротехнических приемов на продуктивность и устойчивость экосистем и оптимизировать антропогенное воздействие на почву.

Уровень ферментативной активности можно рассматривать как потенциальный резерв биологической активности почвы, который может полностью реализоваться в дальнейшем, а может в зависимости от каких-либо факторов не реализоваться совсем. Он создается не за один-два года, это результат всего предшествующего развития почвы, ее окультуривания, и обусловлен, прежде всего, содержанием органического вещества [40]. Поскольку биохимические показатели, с одной стороны, характеризуют потенциальную активность определенных физиолого-биохимических процессов, а с другой – являются результирующей величиной уже произошедших изменений в биогеоценозе, то эти показатели можно использовать для экологической характеристики почв. Они, как считает Д. Г. Звягинцев [40], не характеризуют интенсивность реально протекающих в природе процессов, а только указывают на потенциальную способность сохранять гомеостаз при меняющихся внешних воздействиях. Задача состоит в том, чтобы фиксировать изменения, которые происходят в ферментативном комплексе при сельскохозяйственном использовании почв для выяснения роли ферментов с разной устойчивостью и локализацией в почвенном метаболизме и, в целом, в экологической стабильности биогеоценозов.

Ферментативная активность в наших опытах определялась по методикам, апробированным в лаборатории почвенной энзимологии института экспериментальной ботаники им. В. Ф. Купревича и БелНИИПА.

Метод определения активности фосфатазы основан на определении минерального фосфора, полученного в результате ферментативного гидролиза бета-глицерофосфата натрия, содержание которого определяется с применением молибденово-кислого аммония

и эйконогена, где образующийся в процессе реакции фосфатно-молибденовый комплекс фотоколориметрически идентифицируется при длине волны 670 нм. Активность фосфатазы выражают в мг Р на 5 г почвы за 24 часа.

Протеолитическую активность почвы определяли по количеству кислоторастворимых продуктов, образующихся при гидролизе казеина 15 %-м ТХУ, и раствором Фолина со спектрофотоколориметрическим окончанием (СПЕКТРОМОМ-204) при длине волны 700 нм, выраженную в тирозиновом эквиваленте. Активность протеазы выражают в мг тирозина на 5 г почвы за 18 часов.

В основу метода определения активности инвертазы положена реакция редуцирующих сахаров, образующихся при ферментативном гидролизе добавленного в почву раствора сахарозы с 305-динитросалициловой кислотой с последующим фотоколориметрическим окончанием окрашенных растворов при длине волны 508 нм. Активность инвертазы выражают в мг глюкозы на 1 г почвы за 4 часа.

Каталазную активность почвы определяли газометрическим методом, основанным на учете кислорода, выделившегося в результате каталитического действия почвы на перекись водорода, с использованием трис-буфера рН–7,2 и 3%-й H_2O_2 . Активность каталазы выражают в мл O_2 на 5 г почвы за 2 минуты.

Активность пероксидазы и полифенолоксидазы определяли по методу Л. А. Корягиной, Н. А. Михайловской. В качестве субстрата использовался гидрохинон, который окислялся под действием пероксидазы в присутствии кислорода перекиси в 1,4-н-бензохинон, имеющий желтую окраску. Спиртовую вытяжку колориметрировали на фотоколориметре с синим светофильтром. Определение активности полифенолоксидазы проводили таким же способом, за исключением того, что в реакционную среду не вносили перекись водорода. Активность пероксидазы и полифенолоксидазы выражают в мг бензохинона на 10 г почвы за 1 час при 30 °С.

Отбор почвенных образцов для анализа проводился в следующие сроки:

- 1 – апрель;
- 2 – в период цветения культуры (июль);
- 3 – после уборки культуры (сентябрь).

Азоторганические соединения, поступающие в почву, претерпевают ряд сложных биохимических превращений, интенсивность которых характеризует активность протеолитических ферментов. Катализируя начальный этап мобилизации органического азота, протеазы играют ведущую роль в жизни почвы, так как обуславливают динамику накопления усвояемых форм азота [11].

Анализы показали (табл. 14), что на опыте с оборотом пласта активность протеазы в апреле была достаточно высокой и находилась в пределах 1,49–2,02 мг. На участке без оборота она была несколько ниже: 1,54–1,80 мг.

Таблица 14

Влияние удобрений и способов обработки почвы на протеазную активность (картофель), 1999 г.

Варианты	Протеаза, мг тирозина на 5 г почвы за 18 часов							
	с оборотом пласта				без оборота пласта			
	Апрель	Июль	Сентябрь	Среднее	Апрель	Июль	Сентябрь	Среднее
Контроль 40 т навоза	1,61	1,65	2,09	1,78	1,79	1,84	2,54	2,05
НРК + 40 кг	2,02	2,02	2,23	2,10	1,58	1,76	2,00	1,78
РС + ас. уд. + + 40 т	1,81	3,07	2,19	2,40	1,79	2,62	2,02	2,14
НРК + ас. уд. + + 40 т	1,68	2,10	2,10	1,96	1,80	2,23	2,21	2,08
Фон 80 т навоза	1,49	1,28	1,66	1,48	1,64	2,11	2,20	1,98
80 т навоза + + НРК	1,80	1,55	1,55	1,63	1,74	3,86	2,55	2,71
80 т навоза + + ас. уд.	1,86	1,76	1,55	1,72	1,73	2,61	2,59	2,31
80 т + НРК + + ас. уд.	1,87	1,90	2,13	1,96	1,54	2,51	3,09	2,38

Внесение удобрений повышало этот показатель. Так в опыте с оборотом пласта в июле он возрастал до 3,07 мг, без оборота – до 3,86 мг. Причем применение ассоциативных микроорганизмов положительно сказывалось на активности протеазы. Ее активность

на навозном фоне (40 т/га) в вариантах РК + ас. уд. и НРК + ас. уд. в опыте с оборотом пласта была максимальной и составила соответственно 3,07 и 2,10 мг. В еще большей степени активность фермента возрастала на участке без оборота пласта.

К третьему отбору (сентябрь) в целом активность протеазы уменьшалась. Однако следует отметить, что внесение НРК способствует активизации данного фермента и достигает максимального значения. Опыт с оборотом пласта в период уборки на I навозном фоне (40 т/га) – 2,23 мг тирозина на 5 г почвы за 18 часов. На II навозном фоне (80 т/га) в сочетании с ассоциативными удобрениями активность фермента была несколько ниже (2,13 мг). На опыте без оборота пласта подобная закономерность также имела место. Наивысшие показатели протеазной активности имели место в вариантах навоз (80 т) + ас. уд. (2,59 мг) и навоз (80 т) + НРК + ас. уд. (3,09 мг).

В целом показатели протеолитической активности были выше в опыте без оборота пласта на 16,2 % и на 14,2 %.

Определение активности азотпревращающих ферментов дает возможность оценить роль биохимических процессов в мобилизации почвенного азота. Вероятно, особенности азотного режима сопряжены с изменением активности протеазы, что проявляется в положительной корреляции между активностью протеаз и нитрификационной активностью почвы ($r = 0,59$).

Показателем интенсивности минерализации фосфорсодержащих органических соединений в почве может служить уровень фосфатазной активности.

Наиболее существенное влияние на активность данного фермента оказывает органическое удобрение (табл. 15, рис. 12). Так, например, при внесении двойной нормы навоза (80 т) фосфатазная активность увеличилась с 0,49–0,50 до 0,60–0,62 у. е. и была максимальной именно на этих вариантах с оборотом и без оборота пласта.

Таблица 15

Влияние удобрений и способов обработки почвы на фосфатазную активность (картофель), 1999 г.

Вариант	Фосфатаза, мг фосфора на 5 г почвы за 24 часа							
	с оборотом пласта				без оборота пласта			
	апрель	июль	сентябрь	среднее	апрель	июль	сентябрь	среднее
Контроль 40 т навоза	0,51	0,49	0,49	0,49	0,49	0,50	0,50	0,50
НРК + 40 т	0,35	0,41	0,42	0,38	0,35	0,41	0,40	0,38
РС + ас. уд. + 40 т	0,34	0,39	0,41	0,38	0,36	0,41	0,40	0,39
НРК + ас.уд. + 40 т	0,35	0,39	0,39	0,37	0,38	0,47	0,44	0,43
Фон 80 т навоз	0,42	0,60	0,60	0,54	0,37	0,62	0,61	0,53
80 т навоз + NRК	0,40	0,52	0,55	0,49	0,38	0,55	0,50	0,47
80 т навоз + ас. уд.	0,45	0,47	0,51	0,47	0,36	0,58	0,52	0,48
80 т + NRК + ас.уд.	0,38	0,46	0,55	0,46	0,40	0,59	0,52	0,50

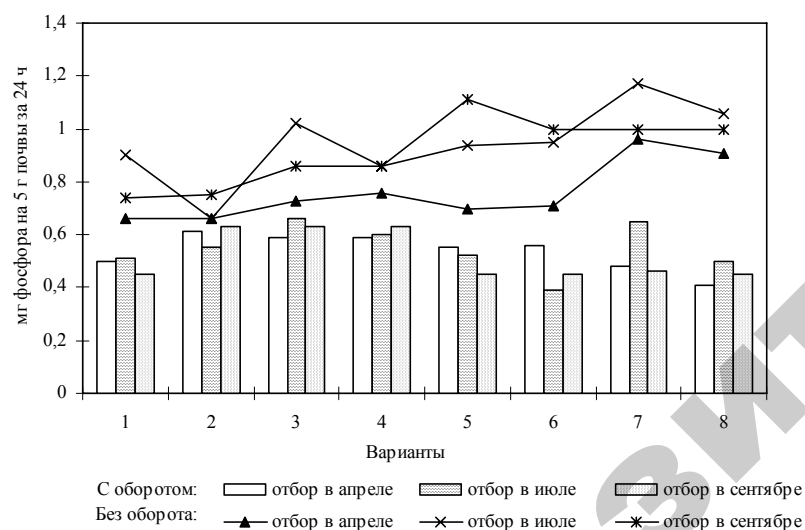


Рис. 12. Влияние удобрений и способов обработки почвы на фосфатазную активность (картофель), 2000 г.:

1 – 40 т навоза; 2 – 40 т навоза + NRК; 3 – 40 т навоза + РК + ас. уд.;
4 – 40 т навоза + NRК + ас. уд.; 5 – 80 т навоза; 6 – 80 т навоза + NRК;
7 – 80 т навоза + ас. уд.; 8 – 80 т навоза + NRК + ас. уд.

Применение ассоциативных удобрений на I навозном фоне (40 т/га) как в опыте с оборотом пласта, так и без оборота (варианты 3 и 4), а также на II навозном фоне (80 т/га) в опыте с оборотом пласта не сказывалось на усилении активности фосфатазы. Некоторое усиление фосфатазной активности имело место при внесении 80 т/га навоза в опыте без оборота пласта (с 0,50 у. е. на контроле до 0,58–0,59 в 7 и 8 вариантах). В апреле фосфатазная активность была несколько ниже, чем в июле и сентябре.

Фосфатаза является довольно лабильным ферментом. В почвенных условиях ее реакция подвержена влиянию многих факторов, тем более таких, как агротехнические мероприятия (применение удобрений и различных способов обработки почвы), агрофизические свойства почвы и особенности погодных условий вегетационного периода.

Подытоживая вышесказанное, можно заключить, что основное положительное влияние на изменение фосфатной активности почвы оказали органические удобрения и, в несколько меньшей степени, ассоциативные удобрения.

В отношении способа обработки почвы можно констатировать следующее (см. рис. 12): абсолютные показатели фосфатазной активности почвы в среднем по всем вариантам без оборота пласта были выше на 63 % по сравнению со вспашкой в 2000 г. В 1999 г. активность фосфатазы также была выше по бесплужной обработке почвы, но разница составила только 2,8 % (см. табл. 15).

Инвертаза участвует в расщеплении дисахаридов, она играет важную роль в формировании предгумусовой фракции из разлагающейся растительной и микробной массы [48, 49].

В исследованиях авторов отмечено, что активность инвертазы (в апреле) по вариантам опыта различалась несущественно и была в пределах 0,81–1,09 единиц по вспашке, 0,93–1,39 по дискованию (табл. 16, рис. 13). Только в опыте без оборота пласта в варианте навоз (80 т) + NRК + ас. уд. она была несколько выше (1,39 ед.).

Таблица 16

Влияние удобрений и способов обработки почвы на инвертазную активность (картофель), 1999 г.

Вариант	Инвертаза, мг глюкозы на 1 г почвы за 4 часа					
	с оборотом пласта			без оборота пласта		
	апрель	июль	сентябрь	апрель	июль	сентябрь
Контроль 40 т навоза	0,81	1,26	1,25	1,11	1,22	0,97
NPK + 40 т	1,09	1,23	1,24	1,12	1,34	1,40
РС + ас. уд. + 40 т	0,88	1,41	0,96	1,13	1,65	1,55
NPK + ас.уд. + 40 т	1,06	1,28	1,19	0,96	1,39	1,37
Фон 80 т навоз	0,95	0,98	1,26	1,10	1,12	1,08
80 т навоз + NPK	1,04	1,27	1,43	1,04	1,66	1,09
80 т навоз + ас. уд.	0,95	1,17	1,27	0,93	1,26	1,29
80 т + NPK + ас.уд.	1,00	1,34	1,42	1,39	1,46	1,06

Более четкие закономерности получены в фазу цветения картофеля (июль); самая низкая инвертазная активность была на вариантах с внесением 80 т/га навоза – 0,98 единиц по вспашке и 1,12 единиц по дискованию. Дополнительное внесение NPK повышало данный показатель соответственно в 1,3 и 1,5 раза.

Внесение ассоциативных удобрений способствовало определенному росту инвертазной активности на всех вариантах, причем самые высокие показатели отмечены на вариантах 80 т + NPK + ас. уд. (1,46 у. е.) и 40 т + РК + ас. уд. (1,65 у. е.) – по дискованию и 1,34–1,41 у. ед., соответственно, по вспашке. По всем вариантам опыта активность инвертазы в 1999 г. была на 7,2 % выше по дискованию.

Возможно, что данные органо-минеральные комплексы в совокупности с ассоциативными экологическими субстратами обладают более подвижным энергетическим материалом и расщепляются инвертазой активнее. Инвертазная активность в 2000 г. была гораздо выше при дисковании по всем вариантам опыта и срокам отбора (рис. 13).

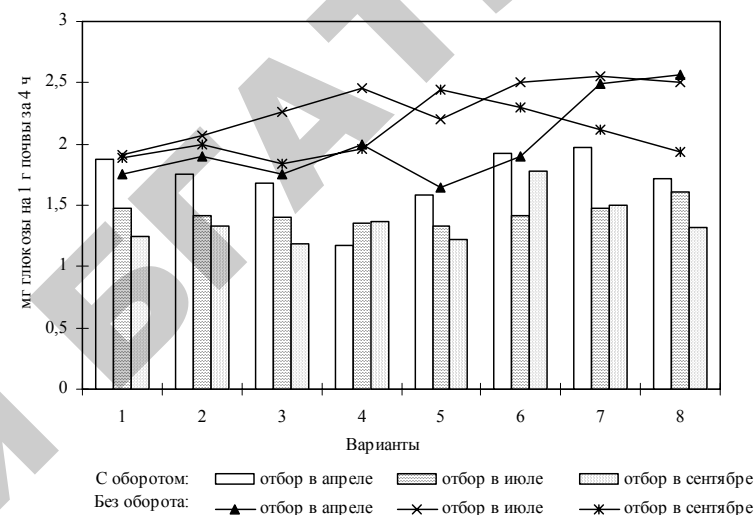


Рис. 13. Влияние удобрений и способов обработки почвы на инвертазную активность (картофель), 2000 г.:
1 – 40 т навоза; 2 – 40 т навоза + NPK; 3 – 40 т навоза + РК + ас. уд.; 4 – 40 т навоза + NPK + ас. уд.; 5 – 80 т навоза; 6 – 80 т навоза + NPK, 7 – 80 т навоза + ас. уд.; 8 – 80 т навоза + NPK + ас. уд.

В процессе обмена веществ и энергии в почве важное место принадлежит окислительно-восстановительным ферментам. В основе синтеза гумусовых компонентов почвы лежат окислительно-восстановительные процессы, в которых участвуют такие ферменты, как каталаза, полифенолоксидаза, пероксидаза. Различные фенольные соединения растительных остатков после их окисления при участии оксидаз переходят в биохимически активную хиноидную форму и впоследствии, в результате реакции поликонденсации, полимеризации и связывания с азоторганическими соединениями, образуют молекулы гуминовых кислот.

Роль каталазы в почве заключается также в том, что она разрушает ядовитую для организма перекись водорода, которая образуется в процессе дыхания живых организмов и в результате различных биохимических реакций окисления органического вещества.

Отмечено (нами. – Авт.), что каталазная активность имеет менее четкую реакцию по вариантам опыта. Весной (апрель) каталазная активность почвы при обоих способах обработки почвы

была примерно одинаковой и составила в среднем: по вспашке – 4,00 и дискованию – 4,09 у. е. (табл. 17, рис. 14) и 4,31 и 4,96 в 2000 г. соответственно.

Таблица 17

Влияние удобрений и способов обработки почвы на каталазную активность (картофель), 1999 г.

Вариант	Каталаза, мг O ₂ на 5 г почвы за 2 мин					
	с оборотом пласта			без оборота пласта		
	апрель	июль	сентябрь	апрель	июль	сентябрь
Контроль 40 т навоза	4,00	4,25	4,75	3,25	3,75	5,00
NPK + 40 т	4,25	3,75	5,00	3,75	4,25	5,50
РС + ас. уд. + 40 т	4,50	3,75	5,00	4,50	5,00	6,25
NPK + ас.уд. + 40 т	4,00	4,00	5,25	4,50	4,75	6,25
Фон 80 т навоз	4,00	3,25	4,75	3,75	4,25	4,75
80 т навоз + NPK	4,25	4,25	4,25	4,25	6,25	5,33
80 т навоз + ас. уд.	3,25	3,50	4,25	4,75	5,00	5,33
80 т + NPK + ас.уд.	3,75	4,00	4,50	4,00	4,50	7,25

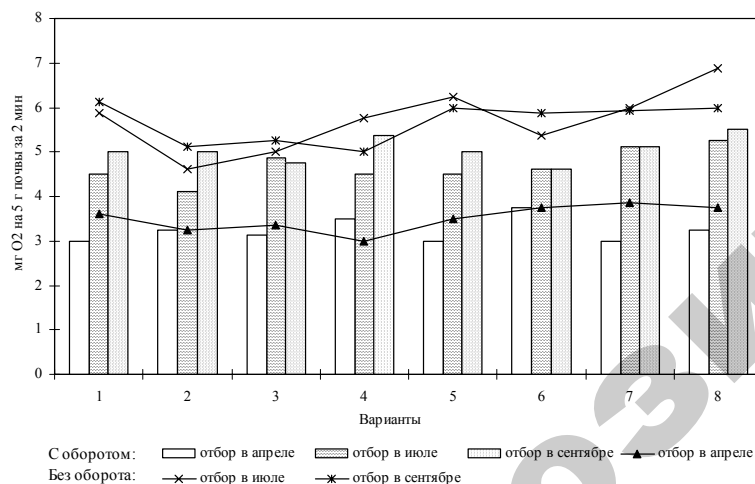


Рис. 14. Влияние удобрений и способов обработки почвы на каталазную активность (картофель), 2000 г.:

1 – 40 т навоза; 2 – 40 т навоза + NPK; 3 – 40 т навоза + РК + ас. уд.; 4 – 40 т навоза + NPK + ас. уд.; 5 – 80 т навоза, 6 – 80 т навоза + NPK; 7 – 80 т навоза + ас. уд.; 8 – 80 т навоза + NPK + ас. уд.

Результаты образцов, отобранных в третий срок (после уборки культуры), показали, что каталазная активность снова возросла. В среднем по опыту на участке с оборотом пласта она составила 4,17, без оборота – 5,84 у. е., или увеличилась на 14,0 %.

Следует отметить, что применение ассоциативных удобрений в определенной степени усиливало каталазную активность почвы, особенно в вариантах, где вносился навоз.

Причем, рост данного показателя был большим в вариантах с двойной дозой навоза. Так, каталазная активность в опыте с оборотом пласта в варианте 7 составила 3,50 у. е. в июле и 4,25 у. е. в сентябре, а в варианте 8 – соответственно 4,00 и 4,50 у. е. В опыте без оборота пласта ассоциативные удобрения увеличивали данный показатель в еще большей степени. В варианте 7 он достигал 5,00 у. е. в июле и возрастал до 6,25 у. е. в сентябре, в варианте 8 – 4,50 и 7,25 у. е. соответственно.

Резюмируя вышеизложенное, можно заключить, что увеличение каталазной активности было большим в условиях обработки дискованием. Вероятно, это происходит вследствие того, что этот способ обработки создает более эффективный газообмен почвенной среды, оптимизирует «дыхание почвы» и способствует также более активному катализу минеральной части.

Дерново-подзолистая почва характеризуется довольно низкой пероксидазной и полифенолоксидазной активностью.

Пероксидаза почв предположительно, по мнению Ф. Х. Хазиева, Л. А. Корягиной и др. [49], участвует в процессах, имеющих важное значение для почвенного плодородия, таких, как разложение гумусовых веществ почвы, фенольных веществ растительных остатков, в утилизации перекиси водорода, образующейся в процессах жизнедеятельности почвенной биоты. Обогащение почвы пероксидазой в значительной мере связано с жизнедеятельностью корней. Наиболее высокая пероксидазная активность наблюдается под травами, имевшими на протяжении вегетации больше живых корней на навеску почвы. После уборки пероксидазная активность быстро снижается, несмотря на попадание в почву большого количества отмерших остатков, что свидетельствует об участии живых корней в обогащении почв ферментом. Пероксидаза более низкая под чистым паром, а под растениями, в зависимости от их биологических особенностей, она возрастает. По данным О. А. Берестецкого, Т. Г. Зубец [16], под пропашными культурами на удобренном фоне сравнительно слабо

развита микрофлора, участвующая в минерализации органического вещества и растительных остатков. Однако интенсивное рыхление почвы, связанное с возделыванием этих культур, приводит к ускорению минерализации органического вещества почвы, активизации процессов превращения труднодоступных соединений гумусовых веществ, а следовательно, к активизации пероксидазной активности.

В опыте с учетом сезонной динамики наиболее высокие показатели пероксидазной активности имели место весной (апрель) и были в пределах 0,40–0,71 у. е. (табл. 18). В июле активность данного фермента снижалась до 0,23–0,55 и в сентябре – до 0,19–0,25 у. е. Следует отметить, что абсолютные величины пероксидазной активности в июле в опыте с оборотом пласта были несколько ниже, чем без оборота. В среднем по опыту этот показатель в первом случае составил 0,38 у. е. и 0,44 у. е. во втором, или на 15,7 % выше. Более высоким данный показатель был в вариантах с совместным внесением навоза и полного минерального удобрения. Ассоциативные удобрения не оказали существенного влияния на данный показатель.

Таблица 18

Влияние удобрений и способов обработки почвы на пероксидазную активность (картофель), 1999 г.

Вариант	Пероксидаза, мг бензохинона на 10 г почвы за 30 мин при 30°C					
	с оборотом пласта			без оборота пласта		
	апрель	июль	сентябрь	апрель	июль	сентябрь
Контроль 40 т навоза	0,53	0,44	0,22	0,53	0,33	0,24
NPK + 40 кг	0,66	0,23	0,24	0,53	0,31	0,24
РС + ас. уд. + 40 т	0,71	0,44	0,23	0,40	0,40	0,26
NPK + ас. уд. + 40 т	0,71	0,40	0,22	0,44	0,55	0,22
Фон 80 т навоз	0,62	0,47	0,22	0,48	0,35	0,25
80 т навоз + NPK	0,62	0,26	0,23	0,71	0,55	0,23
80 т навоз + ас. уд.	0,57	0,31	0,24	0,62	0,49	0,24
80 т + NPK + ас. уд.	0,52	0,53	0,20	0,67	0,53	0,19

Самые низкие показатели активности пероксидазы были в варианте с совместным внесением одинарной дозы навоза (40 т/га + NPK) как в опыте с оборотом пласта (0,23 у. е.), так и без оборота (0,31 у. е.).

Исходя из положения, что полифенолоксидаза участвует в превращении органических соединений ароматического ряда в компоненты гумуса, а ее активность в почве находится в прямой зависимости от содержания гумуса, можно полагать, что ее снижение свидетельствует об ухудшении условий для гумусообразования [64].

Закономерности, имевшие место в отношении пероксидазной активности, отмечаются и для полифенолоксидазной активности.

Так, максимум полифенолоксидазной активности приходился на апрель, в июле месяце активность снижалась и наименьшей была в сентябре (табл. 19). При бесплужной обработке активность полифенолоксидазы была на 14 % выше по сравнению со вспашкой в 1999 г.

Таблица 19

Влияние удобрений и способов обработки почвы на полифенолоксидазную активность (картофель), 1999 г.

Вариант	Полифенолоксидаза, мг бензохинона на 10 г почвы за 30 мин при 30°C					
	с оборотом пласта			без оборота пласта		
	апрель	июль	сентябрь	апрель	июль	сентябрь
Контроль 40 т навоза	1,25	0,67	0,71	1,37	1,03	0,68
NPK + 40 кг	1,37	0,77	0,62	1,37	0,68	0,73
РС + ас. уд. + 40 т	1,29	0,64	0,64	1,50	0,60	0,77
NPK + ас. уд. + 40 т	1,37	0,68	0,82	1,25	0,77	0,86
Фон 80 т навоз	1,25	0,86	0,77	1,42	1,89	0,94
80 т навоз + NPK	1,29	0,68	0,68	1,29	0,99	0,92
80 т навоз + ас. уд.	1,37	0,76	0,68	1,37	0,95	0,90
80 т + NPK + ас. уд.	1,16	0,86	0,73	1,12	0,86	0,82

Формирование почвенного плодородия тесно связано с ферментативными процессами. Обнаружена прямая связь содержания полифенолоксидазы с содержанием гумуса, а для пероксидазы – обратная [48]. Исследования авторов показали, что коэффициент гумусонакопления четко коррелирует с обработкой почвы, и эта зависимость сохраняется по всем вариантам опыта. При обработке почвы без оборота пласта (дискование) условный коэффициент гумусонакопления в среднем был выше по сравнению со вспашкой (табл. 20).

Таблица 20

Влияние удобрений и способов обработки почвы на активность полифенолоксидазы и пероксидазы, картофеля, 1999 г. (среднее по определениям)

Варианты опыта	Пероксидаза, мг бензохинона на 10 г почвы за 30 мин при 30 °С		Полифенолоксидаза, мг бензохинона на 10 г почвы за 30 мин при 30 °С		Условный коэффициент гумусонакопления, %	
	Вспашка	Дискование	Вспашка	Дискование	Условный коэффициент гумусонакопления, %	
					Вспашка	Дискование
Контроль 40 т навоза	0,39	0,36	0,88	1,0	225	285
40 т + NPK	0,38	0,36	0,92	0,93	242	258
40 т + PK + ас. уд.	0,46	0,35	0,86	0,96	187	274
40 т + NPK + ас. уд.	0,44	0,40	0,96	0,96	218	240
80 т навоза	0,43	0,36	0,96	1,42	223	394
80 т + NPK	0,37	0,50	0,88	1,07	238	214
80 т + PK + ас. уд.	0,37	0,45	0,93	1,07	251	237
80 т + NPK + ас. уд.	0,42	0,46	0,92	0,23	219	202

Самое высокое гумусонакопление при возделывании картофеля было в вариантах с применением чистого навоза (80, 40 т/га). При совместном применении навоза и минеральных удобрений коэффициент снижался, особенно в вариантах с применением азота (N 110, 60 кг/га).

При возделывании пелюшко-овсяно-райграсовой смеси условный коэффициент гумусонакопления был более высокий при дисковании: на 5,8–8,4 % по сравнению со вспашкой. Эта зависимость сохранялась на вариантах с внесением минеральных удобрений и невысоких дозах органики и минеральных удобрений (табл. 21). При более высоких дозах органики (80 т/га) и минеральных удобрений условный коэффициент гумусонакопления как по вспашке, так и при дисковании был примерно одинаковым при возделывании картофеля и пелюшко-овсяно-райграсовой смеси.

Активность пероксидазы и полифенолоксидазы с внесением удобрений повышалась. Наиболее высокая активность этих ферментов наблюдалась при органо-минеральной системе удобрений при бесплужной обработке почвы (табл. 21).

Таблица 21

Влияние удобрений и способов обработки почвы на активность полифенолоксидазы и пероксидазы, пелюшко-овсяно-райграсовая смесь

Варианты	Пероксидаза, мг бензохинона на 10 г почвы за 30 мин при 30 °С						Полифенолоксидаза, мг бензохинона на 10 г почвы за 30 мин при 30 °С						Условный коэффициент гумусонакопления, %	
	Вспашка			Дискование			Вспашка			Дискование			Вспашка	Дискование
	1998 г.	1999 г.	среднее	1998 г.	1999 г.	среднее	1998 г.	1999 г.	среднее	1998 г.	1999 г.	среднее		
	1998 г.	1999 г.	среднее	1998 г.	1999 г.	среднее	1998 г.	1999 г.	среднее	1998 г.	1999 г.	среднее	Вспашка	Дискование
1. Контроль (без удобрений)	0,50	0,28	0,39	0,46	0,30	0,38	0,30	0,25	0,27	0,30	0,25	0,28	69	73
2. NPK	0,50	0,37	0,44	0,46	0,37	0,42	0,34	0,27	0,31	0,34	0,27	0,31	70	74
3. PK + ас. уд.	0,54	0,35	0,45	0,46	0,33	0,40	0,34	0,26	0,31	0,34	0,26	0,30	69	75
4. NPK + ас. уд.	0,69	0,39	0,54	0,60	0,39	0,50	0,35	0,28	0,32	0,35	0,28	0,32	59	64
5. Навоз	0,45	0,35	0,40	0,43	0,43	0,43	0,31	0,27	0,26	0,31	0,27	0,29	65	67
6. Навоз + NPK	0,49	0,33	0,41	0,48	0,43	0,46	0,37	0,28	0,32	0,37	0,28	0,33	78	72
7. Навоз + ас. уд.	0,53	0,32	0,43	0,55	0,38	0,47	0,46	0,31	0,36	0,46	0,31	0,39	83	83
8. Навоз + NPK + ас. уд.	0,58	0,37	0,46	0,59	0,39	0,49	0,47	0,30	0,37	0,47	0,30	0,39	80	80

Многие авторы считают [28, 48], что пероксидаза и полифенолоксидаза непосредственно участвуют в процессах превращения углерода и гумусовых веществ в почве.

Пероксидаза катализирует процессы разложения гумусовых веществ и их компонентов, а полифенолоксидаза – реакции синтеза. Поскольку в почве оба процесса идут одновременно, то количество гумуса в почве определяется соотношением этих двух противоположно направленных процессов.

Таким образом, становится понятно, почему при обработке почвы без оборота пласта количество гумуса в почве увеличивается более интенсивно по сравнению со вспашкой. Обработка почвы является радикальным средством регулирования сложных микробиологических процессов, протекающих в почве, в том числе и ферментативной активности, поскольку ферменты продуцируются всей совокупностью живых микроорганизмов почвы, и формирование почвенного плодородия тесно связано с ферментативными процессами.

Подытоживая вышеизложенное, в целом необходимо отметить, что на ферментативную активность почвы оказывали влияние время отбора образцов, система удобрений, способы обработки почвы и возделываемые сельскохозяйственные культуры.

Применение отвальной обработки почвы по сравнению с дискованием снижало в среднем активность ферментов при возделывании картофеля: по протеазе на 15,9 %, фосфатазе – 2,8, инвертазе – 6,9, каталазе – на 16,9 %. Такая же закономерность отмечалась и при возделывании пелюшко-овсяно-райграсовой смеси, но различия были меньшими: по протеазе – на 8,9 %, инвертазе – 4,5, каталазе – на 1,3 %. Активность фосфатазы при дисковании под пелюшко-овсяно-райграсовой смесью была меньше на 5,8 % по сравнению со вспашкой.

Абсолютные показатели активности ферментов под пелюшко-овсяно-райграсовой смесью были выше по сравнению с картофелем: по протеазе – на 90 %, фосфатазе – в 2 раза, инвертазе – в 2,2 раза, и только каталазная активность была ниже на 12 % (табл. 22, 23).

Таблица 22

Влияние удобрений и способов обработки почвы на ферментативную активность, картофель, 1999 г.

(средние данные по трем определениям каждого фермента (апрель, июль, сентябрь))

Варианты	Вспашка				Дискование			
	Протеаза, мг тирозина на 5 г почвы за 18 ч	Фосфатаза, мг фосфата на 5 г почвы за 4 ч	Инвертаза, мг глюкозы на 1 г почвы за 4 ч	Каталаза, мл O ₂ на 5 г почвы за 2 мин	Протеаза, мг тирозина на 5 г почвы за 18 ч	Фосфатаза, мг фосфата на 5 г почвы за 4 ч	Инвертаза, мг глюкозы на 1 г почвы за 4 ч	Каталаза, мл O ₂ на 5 г почвы за 2 мин
1. Контроль 40 т навоза	1,78	0,49	1,11	4,30	2,05	0,50	1,10	4,0
2. 40 т + NPK	2,10	0,38	1,19	4,30	1,78	0,38	1,28	4,50

Варианты	Вспашка				Дискование			
	Протеаза, мг тирозина на 5 г почвы за 18 ч	Фосфатаза, мг фосфата на 5 г почвы за 4 ч	Инвертаза, мг глюкозы на 1 г почвы за 4 ч	Каталаза, мл O ₂ на 5 г почвы за 2 мин	Протеаза, мг тирозина на 5 г почвы за 18 ч	Фосфатаза, мг фосфата на 5 г почвы за 4 ч	Инвертаза, мг глюкозы на 1 г почвы за 4 ч	Каталаза, мл O ₂ на 5 г почвы за 2 мин
3. 40 т + PK + ас. уд.	2,40	0,38	1,08	4,41	2,14	0,39	1,44	5,25
4. 40 т + NPK + ас. уд.	1,96	0,37	1,18	4,41	2,08	0,43	1,24	5,16
5. 80 т навоза	1,48	0,54	1,06	4,0	1,98	0,53	1,10	4,25
6. 80 т + NPK	1,63	0,49	1,24	4,25	2,71	0,47	1,26	5,33
7. 80 т + PK + ас. уд.	1,72	0,47	1,13	3,67	2,31	0,48	1,16	5,33
8. 80 т + NPK + ас. уд.	1,96	0,46	1,25	4,08	2,38	0,50	1,30	5,25

Таблица 23

Влияние удобрений и способов обработки почвы на ферментативную активность дерново-подзолистой почвы, пелюшко-овсяно-райграсовая смесь

Варианты	Вспашка				Дискование			
	Протеаза, мг тирозина на 5 г почвы за 18 ч	Фосфатаза, мг фосфата на 5 г почвы за 4 ч	Инвертаза, мг глюкозы на 1 г почвы за 4 ч	Каталаза, мл O ₂ на 5 г почвы за 2 мин	Протеаза, мг тирозина на 5 г почвы за 18 ч	Фосфатаза, мг фосфата на 5 г почвы за 4 ч	Инвертаза, мг глюкозы на 1 г почвы за 4 ч	Каталаза, мл O ₂ на 5 г почвы за 2 мин
Контроль 40 т навоза	2,67	0,63	2,26	3,20	7,77	0,59	2,16	3,3
40 т + NPK	2,99	0,65	2,66	3,70	4,15	0,78	2,82	4,2
40 т + PK + ас. уд.	3,46	0,75	3,17	4,00	2,83	0,75	3,28	4,1
40 т + NP + ас. уд.	4,19	0,75	3,07	4,10	3,52	0,76	3,12	3,6

Окончание табл. 23

Варианты	Вспашка				Дискование			
	Протеаза, мг тирозина на 5 г почвы за 18 ч	Фосфатаза, мг фосфата на 5 г почвы за 24 ч	Инвертаза, мг глюкозы на 1 г почвы за 4 ч	Каталаза, мл O ₂ на 5 г почвы за 2 мин	Протеаза, мг тирозина на 5 г почвы за 18 ч	Фосфатаза, мг фосфата на 5 г почвы за 24 ч	Инвертаза, мг глюкозы на 1 г почвы за 4 ч	Каталаза, мл O ₂ на 5 г почвы за 2 мин
80 т навоза	4,08	0,81	2,63	3,60	2,58	0,65	2,35	3,2
80 т + NPK	3,14	0,69	2,20	3,30	3,99	0,75	2,55	3,8
80 т + РК + ас. уд.	4,25	0,75	2,81	4,30	3,47	0,56	2,77	4,1
80 т + NPK + ас. уд.	3,79	0,78	2,33	3,60	2,88	0,64	3,03	3,8

Самая высокая активность ферментов была в целинном аналоге (табл. 24). В целом по профилю наиболее высокой активностью ферментов и продуктивностью метаболизма характеризуется гумусово-аккумулятивный горизонт (A1) почвенного профиля. В подзолистом горизонте активность ферментов резко снижается (A2).

Таблица 24

Ферментативная активность почвы

Активность ферментов	Целинный аналог		Опытное поле	
	A1	A2	A1	A2
Инвертаза	3,52	0,44	1,25	0,22
Фосфатаза	1,54	0,14	0,51	0,00
Протеаза	5,86	0,80	1,50	0,15
Каталаза	18,50	1,30	1,30	0,70
Полифенолоксидаза	1,03	0,18	0,53	0,20
Пероксидаза	0,65	0,33	0,44	0,30

Уровень активности ферментов в почве целинного аналога превосходил уровень в почвах опытного поля по каталазе в 14,3 раза, протеазе – 3,9 раза, фосфатазе – 3, инвертазе – в 2,9 раза. Различия по пероксидазе и полифенолоксидазе были

менее значимы (47 % и 94 % соответственно). Следовательно, сравнение уровней ферментативной активности и характера профильного распределения ферментов в целинном аналоге и почве, задействованной в сельскохозяйственном обороте, отражает те изменения, которые происходят в почве при сельскохозяйственном использовании.

4.4. ВЛИЯНИЕ СПОСОБОВ ОБРАБОТКИ ПОЧВЫ И УДОБРЕНИЙ НА СОДЕРЖАНИЕ СВОБОДНЫХ АМИНОКИСЛОТ

В качестве критерия биологической активности и оценки азотного режима почв многие исследователи используют такой показатель, как содержание свободных аминокислот [39, 40, 45, 50]. Чаще всего в первом минимуме в почвах оказывается азот. Он же и определяет величину урожаев сельскохозяйственных культур. Поэтому важно правильно определить фракции органического вещества почв в зависимости от внесения различных доз и видов удобрений и использовать это в диагностике степени окультуренности почв и в расчете доз удобрений.

Специфика азотного метаболизма состоит не только в том, что белки распадаются до полипептидов и аминокислот, но и в конструировании «структурных единиц» гумусовых веществ на основе конденсации с полифенолами, моносахарами и уроновыми кислотами [7, 34].

Большая часть почвенных микроорганизмов подвергает аминокислоты процессам аммонификации. Однако, согласно гипотезе МИ (минерализационно-иммобилизационной), возможно непосредственное поглощение аминокислот микрофлорой и последующее воздействие на них внутриклеточных ферментов.

Аминокислоты являются важным источником питательных веществ для микроорганизмов и растений. В почве они постоянно образуются и распадаются, интенсивность этих процессов связана с химическим составом аминокислот и зависит от типа почв и активности микрофлоры. Исследованиями И. В. Асеевой,

М. М. Умарова [7] установлено, что аминокислоты, внесенные в почву, разрушаются через 4–20 суток и по длительности сохранения в почве образуют следующий ряд: фенилаланин < серин < тирозин < треонин < глютаминовая кислота < гистидин < лейцин < валин < норлейцин < изолейцин < метионин. Основным источником поступления углекислого газа из почвы является декарбоксилирование аминокислот.

По мнению А. Л. Ефремова [36], динамика свободных аминокислот повторяет картину распределения микроорганизмов, однако диапазон их варьирования значительно уже.

В 1998–2000 гг. авторы изучали влияние удобрений и способов обработки почвы при возделывании пелюшко-овсяно-райграсовой смеси и картофеля на содержание (количественные и качественные показатели) свободных аминокислот.

Анализ содержания свободных аминокислот проводился экстракцией 20%-ным этанолом из почвенной суспензии с вакуумным выделением аминной фракции, осаждением после выпаривания изопропиловым спиртом и идентификацией бумажной разделительной хроматографией (качественного состава – реакция с изатинном, количественное иллюирование 80%-ным этанолом по реакции с нингидрином с фотокolorиметрическим окончанием при длине волны 540 нм).

Динамика содержания свободных аминокислот и аминного азота в почве при возделывании пелюшко-овсяно-райграсовой смеси определялась в следующие сроки: 1 – (апрель), 2 – после уборки пелюшко-овсяной смеси и райграса однолетнего (июль), 3 – в период отрастания поукосной культуры – райграса однолетнего (через месяц после уборки пелюшко-овсяной смеси).

Отметим, что содержание свободных аминокислот определяется многочисленными факторами, в частности сроками отбора почвенных образцов, выращиваемой культурой, погодными условиями, вносимыми удобрениями, способами обработки почвы [26, 34, 48].

В наших исследованиях отчетливо проявляется влияние удобрений, в особенности навоза и ассоциативных удобрений, а также способов обработки почв на содержание свободных аминокислот (рис. 15, 16).

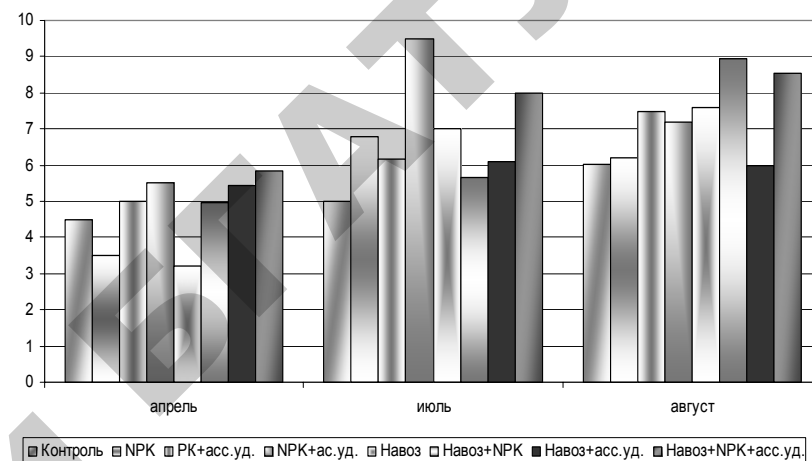


Рис. 15. Содержание свободных аминокислот в почве, мг/кг почвы, 1999 г., пелюшко-овес + райграс (вспашка)

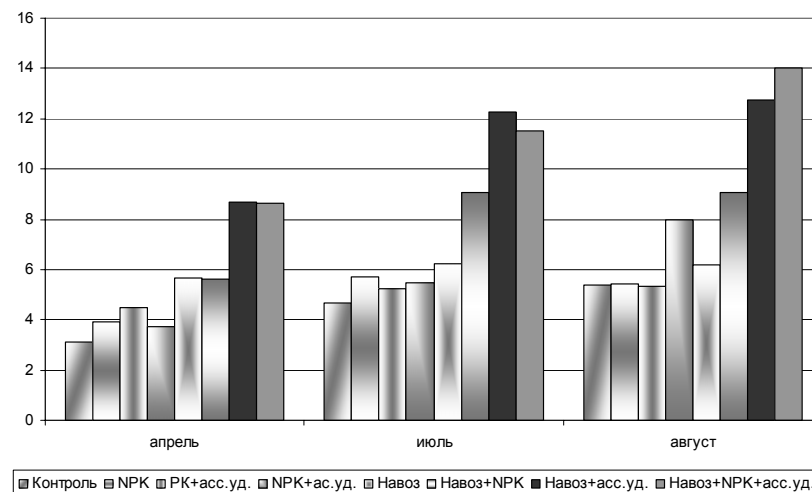


Рис. 16. Содержание свободных аминокислот в почве, мг/кг почвы, 1999 г., пелюшко-овес + райграс (дисковое)

Определение на картофеле велось в два срока:

I – до внесения удобрений (апрель),

II – после уборки картофеля (сентябрь).

Данные хроматографического анализа показали довольно значительный набор свободных аминокислот. Было идентифицировано 12 аминокислот: аспарагиновая, серин + глицин, глутаминовая, треонин, аланин, тирозин, валин + метионин, фенилаланин, лейцин, гамма-аминомасляная (ГАМК).

Суммарное их содержание варьирует в опыте с оборотом пласта от 2,45 до 5,99 мг/кг почвы, в опыте без оборота пласта – от 1,98 до 5,05 мг/кг почвы (табл. 25, 26). Так, общее их содержание весной 2000 г. по вспашке было меньше, чем на участке, где проводилось дискование (2,45–3,85 против 3,86–4,80). После уборки культуры, наоборот, содержание аминокислот в почве на участке с оборотом пласта было значительно выше, чем по дискованию (5,09–5,99 против 1,98–5,05). Их содержание по вариантам представлено на рис. 17.

Таблица 25

Содержание свободных аминокислот в дерново-подзолистой супесчаной почве под картофелем, мг/кг почвы (опыт с оборотом пласта), 2000 г.

Аминокислоты	40 т навоза	40 т+ NPK	40 т+ PK + ас. уд.	40 т+ NPK + ас. уд.	80 т навоза	80 т+ NPK	80 т+ ас. уд.	80 т+ NPK+ас. уд.
<i>До внесения удобрений</i>								
Аспарагино- вая	0,26	0,28	0,22	0,33	0,44	0,36	0,41	0,30
	10,4	10,2	8,9	11,8	11,6	10,0	10,6	8,6
Серин + глицин	0,30	0,24	0,35	0,27	0,38	0,45	0,55	0,37
	12,0	13,2	14,00	9,6	10,0	12,5	14,3	10,6
Глута- миновая	0,48	0,47	0,55	0,50	0,42	0,50	0,36	0,61
	19,2	17,2	22,4	17,8	11,0	13,8	9,3	17,5
Треонин	0,29	0,47	0,21	0,28	0,46	0,37	0,23	0,24
	11,6	17,2	8,6	10,0	12,1	10,2	5,9	6,9
Аланин	0,24	0,19	0,27	0,21	0,39	0,35	0,38	0,38
	9,6	6,9	11,0	7,5	10,2	9,7	9,8	10,9

Продолжение табл. 25

Аминокислоты	40 т навоза	40 т+ NPK	40 т+ PK + ас. уд.	40 т+ NPK + ас. уд.	80 т навоза	80 т+ NPK	80 т+ ас. уд.	80 т+ NPK+ас. уд.
ГАМК	0,00	0,00	0,00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Тирозин	0,41	0,49	0,33	0,55	0,84	0,63	0,57	0,51
	16,4	17,9	13,5	19,6	22,1	17,5	14,8	14,6
Валин + метионин	0,23	0,14	0,17	0,29	0,17	0,27	0,29	0,32
	9,2	5,1	6,9	10,3	4,4	7,5	7,5	9,2
Фенилаланин	0,00	0,00	0,0	0,0	0,19	0,23	0,29	0,36
					5,0	6,3	7,5	10,4
Лейцин	0,29	0,45	0,35	0,37	0,51	0,44	0,48	0,38
	11,6	16,5	14,3	13,2	13,4	12,2	12,5	10,9
Общее количество аминокислот	2,50	2,73	2,45	2,80	3,8	3,6	3,85	3,47
Азот (N) аминокислот	0,28	0,30	0,28	0,30	0,42	0,40	0,40	0,38
<i>После уборки картофеля (сентябрь)</i>								
Аспарагиновая	0,92	1,05	0,9	0,75	0,82	0,94	0,94	0,64
	18,0	19,4	16,1	13,2	14,0	16,5	16,7	10,6
Серин + глицин	1,25	1,31	1,35	1,19	1,11	0,89	1,27	1,26
	24,5	24,2	24,2	20,9	10,0	15,6	22,6	21,0
Глутаминовая	1,15	1,12	1,31	1,18	0,89	1,19	1,19	0,97
	22,5	20,7	23,5	20,7	15,1	20,9	21,2	16,2
Треонин	0,31	0,37	0,22	0,63	0,53	0,55	0,26	0,37
	6,1	6,9	3,9	11,0	9,1	9,6	4,6	6,2
Аланин	0,63	0,92	1,04	0,64	0,7	0,78	0,94	0,82
	12,3	17,0	18,6	11,3	12,0	13,7	16,7	13,7
ГАМК	0,01	0,0	0,04	0,0	0,05	0,04	0,13	0,0
Тирозин	0,18	0,18	0,20	0,67	0,69	0,35	0,26	0,75
	3,5	6,4	3,5	11,8	11,8	6,2	4,9	12,5

Окончание табл. 25

Аминокислоты	40 т навоза	40 т+ NPK	40 т+ PK +ас. уд.	40 т+ NPK +ас. уд.	80 т навоза	80 т+ NPK	80 т+ ас. уд.	80 т+ NPK+ас. уд.
Валин + метионин	0,0	0,05	0,01	0,0	0,05	0,0	0,05	0,14
	0,0	0,9	0,2		0,8		0,8	2,3
Фенилаланин	0,02	0,0	0,02	0,02	0,17	0,08	0,05	0,02
	0,4		0,3	0,4	2,9	1,4	0,8	0,3
Лейцин	0,62	0,40	0,49	0,60	0,81	0,87	0,51	1,02
	12,2	7,4	8,7	10,5	13,9	15,3	9,0	17,0
Общее количество аминокислот	5,09	5,4	5,58	5,68	5,82	5,69	5,62	5,90
Азот (N) аминокислот	0,63	0,68	0,70	0,67	0,69	0,67	0,69	0,75

Таблица 26

Содержание свободных аминокислот в дерново-подзолистой супесчаной почве под картофелем, мг/кг почвы (опыт без оборота пласта), 2000 г.

Аминокислоты	40 т навоза	40 т+ NPK	40 т+PK +ас. уд.	40 т+ NPK +ас. уд.	80 т навоза	80 т+ NPK	80 т+ ас. уд.	80 т+ NPK+ас. уд.
<i>До внесения удобрений</i>								
Аспарагиновая	0,34	0,32	0,41	0,50	0,90	0,73	0,64	0,77
	8,7	8,3	9,9	12,3	19,5	19,9	14,3	16,0
Серин + глицин	0,46	0,48	0,62	0,56	0,72	0,86	0,80	0,94
	2,5	12,4	15,0	13,8	15,6	19,0	17,9	19,6
Глютаминовая	0,56	0,68	0,66	0,49	0,56	0,33	0,48	0,26
	14,4	17,6	15,9	12,0	12,2	7,3	10,7	5,4
Треонин	0,17	0,24	0,28	0,37	0,10	0,14	0,16	0,30
	4,3	6,3	6,7	9,1	2,2	3,1	3,6	6,3

Продолжение табл. 26

Аминокислоты	40 т навоза	40 т+ NPK	40 т+PK +ас. уд.	40 т+ NPK +ас. уд.	80 т навоза	80 т+ NPK	80 т+ ас. уд.	80 т+ NPK+ас. уд.
Аланин	0,41	0,39	0,39	0,34	0,48	0,55	0,58	0,59
	10,5	10,1	9,4	8,4	10,4	12,1	13,0	12,3
ГАМК	0,12	0,05	0,07	0,01	0,01	0,13	0,03	0,07
Тирозин	0,39	0,20	0,29	0,39	0,59	0,45	0,37	0,39
	10,0	5,2	7,0	9,6	12,8	9,9	8,3	8,1
Валин + метионин	0,46	0,56	0,44	0,61	0,27	0,18	0,15	0,17
	11,8	14,5	10,7	15,1	5,8	3,9	3,3	3,5
Фенилаланин	0,17	0,25	0,19	0,13	0,17	0,27	0,21	0,21
	4,4	6,4	4,6	3,2	3,7	5,97	4,7	4,4
Лейцин	0,81	0,69	0,78	0,66	0,80	0,88	1,04	1,10
	20,8	17,8	11,6	13,3	17,4	19,4	23,3	22,9
Общее количество аминокислот	3,89	3,86	4,13	4,05	4,60	4,52	4,46	4,80
Азот (N) аминокислот	0,45	0,45	0,48	0,47	0,53	0,54	0,53	0,58
<i>После уборки картофеля</i>								
Аспарагиновая	0,14	0,22	0,31	0,28	0,39	0,27	0,34	1,10
	7,0	10,8	10,3	8,2	11,1	10,6	9,0	21,7
Серин + глицин	0,29	0,37	0,79	0,58	0,72	0,35	0,71	0,92
	14,6	18,2	2,6	19,2	20,5	13,7	18,8	18,2
Глютаминовая	0,25	0,26	0,38	0,47	0,45	0,33	0,56	1,07
	12,6	12,8	12,6	15,6	12,8	12,9	14,8	21,2
Треонин	0,20	0,10	0,13	0,24	0,19	0,12	0,16	0,16
	10,1	4,9	4,3	7,9	5,4	4,7	4,2	3,1
Аланин	0,25	0,18	0,35	0,52	0,42	0,22	0,47	0,89
	12,6	8,9	11,6	17,3	12,0	8,6	12,4	17,6
ГАМК	0,01	0,00	0,00	0,0	0,0	0,04	0,0	0,01

Окончание табл. 26

Аминокислоты	40 т навоза	40 т+ NPK	40 т+ РК + ас. уд.	40 т+ NPK + ас. уд.	80 т навоза	80 т+ NPK	80 т+ ас. уд.	80 т+ NPK + ас. уд.
Тирозин	0,43	0,57	0,28	0,43	0,53	0,71	0,59	0,31
	21,7	28,0	9,3	14,3	15,1	27,9	15,6	6,1
Валин + метионин	0,01	0,01	0,01	0,03	0,0	0,0	0,05	0,0
	0,5	0,5	0,3	0,9			1,3	
Фенилаланин	0,17	0,10	0,27	0,25	0,17	0,13	0,0	
	8,6		3,3	8,9	7,1	6,69		
Лейцин	0,23	0,26	0,66	0,59	0,55	0,33	0,76	0,59
	11,6	12,8	21,9	19,6	15,7	12,9	20,1	11,7
Общее количество аминокислот	1,98	2,03	3,01	3,41	3,5	2,54	3,77	5,05
Азот (N) аминокислот	0,21	0,23	0,37	0,40	0,41	0,27	0,44	0,61

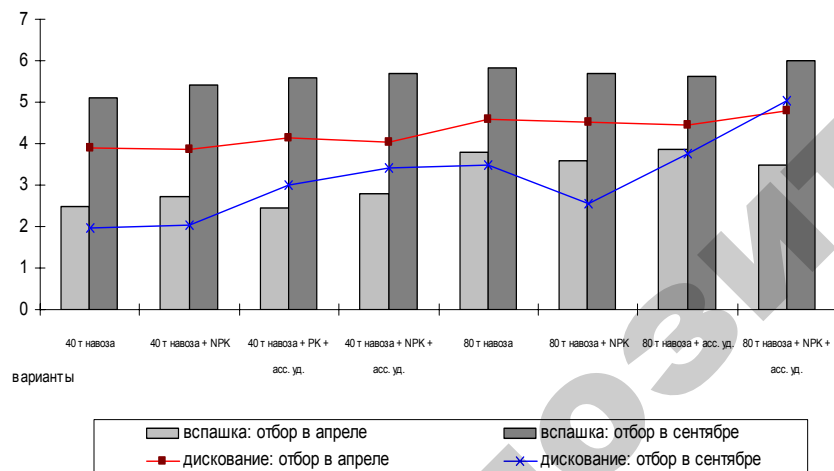


Рис. 17. Суммарное содержание свободных аминокислот в дерново-подзолистой супесчаной почве под картофелем, мг/кг почвы, 2000 г.

Проведенные исследования показали, что количественный состав отдельных аминокислот в почвах по вариантам опыта был достаточно изменчив.

В почвах весеннего отбора в опыте без оборота пласта среди моноаминокарбоновых кислот максимальное содержание было у серина + глицин (2,5–19,6 %) от общего содержания аминокислот, аланина (8,4–13,0 %), лейцина (11,6–23,3). На участке с оборотом пласта абсолютные показатели по вышеназванным аминокислотам были значительно ниже.

Среди моноаминодикарбоновых кислот преобладает аспарагиновая кислота (8,3–19,9 %) в опыте без оборота пласта и глютаминовая (9,3–22,4 %) – в опыте со вспашкой. Из ароматических аминокислот можно выделить тирозин, содержание которого в опыте с оборотом пласта было в пределах 13,5–22,1 %.

Следует также отметить, что в опыте с оборотом пласта не была обнаружена ГАМК, не всегда идентифицировались фенилаланин, низкое содержание валин + метионин (4,4–10,3 %), в опыте без оборота пласта отмечается очень низкое содержание ГАМК (0,2–3,0 %), треонина (2,2–9,1 %) и фенилаланина (3,2–6,4 %).

Анализ почвенных образцов II отбора (после уборки культуры) позволил сделать заключение о значительном влиянии удобрений на содержание свободных аминокислот. По их суммарному содержанию особенно выделяется опыт с оборотом пласта, в котором имело место увеличение содержания аминокислот на 2–155 %. Так, в варианте 40 т навоза + РК + ас. уд. количество аминокислот возросло на 52 %, в варианте 40 т навоза + NPK + ас. уд. – на 72 %, 80 т навоза – на 77 %, 80 т навоза + ас. уд. – на 90 % и 80 т навоза + NPK + ас. уд. – на 155 % по сравнению с контрольным вариантом (40 т навоза).

В случае обработки без оборота пласта также возрастало общее содержание аминокислот по вариантам опыта, но в значительно меньших пределах (6–18 %).

Следует также отметить, что ассоциативные удобрения расширяют пул свободных аминокислот не только в комплексе с 80 т навоза, но и с 40 т навоза, внесенного в чистом виде или совместно с РК или NPK удобрением.

Суммарное содержание свободных аминокислот в дерново-подзолистой супесчаной почве под картофелем при дисковании в апреле было значительно выше по всем вариантам опыта по срав-

нению со вспашкой (см. рис. 17). Это говорит о том, что обработка без оборота пласта создает благоприятный азотный режим в почве весной, в начале вегетации, когда азот необходим для растений. При вспашке самое высокое содержание свободных аминокислот наблюдалось в сентябре, когда растения закончили свою вегетацию, и азот аминокислот безвозвратно теряется без пользы для растений и загрязняет грунтовые воды. По содержанию свободных аминокислот под пелюшко-овсяно-райграсовой смесью выделяются варианты с навозом и ассоциативными удобрениями, а также с внесением NPK (табл. 27).

Таблица 27

Содержание свободных аминокислот и аминного азота в почве при разных способах обработки почвы и видах удобрений (мг/кг почвы)

Варианты	Пелюшко-овсяно-райграсовая смесь, 1999 г.			
	Сроки отбора проб			Среднее
	Апрель	Июль	Август	
<i>Вспашка</i>				
1. Без удобрений	4,50/0,51	5,00/0,58	6,02/0,70	5,17/0,59
2. NPK	3,50/0,35	6,80/0,75	6,21/0,74	5,50/0,61
3. PK + ас. уд.	5,00/0,55	6,17/0,83	7,50/0,97	6,20/0,78
4. NPK +ас. уд.	5,50/0,72	9,49/1,05	7,18/0,95	7,39/0,91
5. Навоз	3,20/0,38	7,00/0,75	7,58/0,84	5,93/0,65
6. Навоз + NPK	4,98/0,64	5,66/0,67	8,95/1,02	6,53/0,78
7. Навоз + ас. уд.	5,45/0,70	6,10/0,65	6,00/0,57	5,85/0,64
8. Навоз + NPK+ ас. уд.	5,83/0,75	8,00/0,79	8,55/0,91	7,46/0,82
<i>Дискование</i>				
1. Без удобрений	3,10/0,36	4,69/0,53	5,40/0,60	4,40/0,49
2. NPK	3,90/0,40	5,71/0,69	5,45/0,69	5,02/0,59
3. PK + ас. уд.	4,50/0,51	5,24/0,57	5,35/0,61	5,03/0,56
4. NPK +ас. уд.	3,75/0,48	5,46/0,70	8,00/0,87	5,74/0,68
5. Навоз	5,65/0,60	6,25/0,92	6,20/0,80	6,03/0,77
6. Навоз + NPK	5,60/0,53	9,08/1,02	9,05/1,04	8,06/0,86
7. Навоз + ас. уд.	8,69/0,93	12,25/1,35	12,75/1,52	11,23/1,27
8. Навоз + NPK+ ас. уд.	8,66/1,08	11,50/1,13	14,00/1,62	11,39/1,28

Примечание. В числителе – аминокислоты; в знаменателе – аминский азот.

Самое низкое содержание аминокислот было на вариантах без удобрений. Показатели содержания аминокислот на этих вариантах

колебались от 4,5 до 6,02 мг/кг почвы при вспашке и от 3,1 до 5,4 мг/кг – при дисковании.

Содержание аминокислот увеличивалось от апреля к августу по всем вариантам и видам обработки почвы под пелюшко-овсяно-райграсовой смесью.

При внесении минеральных удобрений среднее содержание аминокислот и аминного азота увеличивалось от 5,17 до 7,39 мг/кг почвы по вспашке и от 4,40 до 5,74 при дисковании. В варианте с навозом в чистом виде содержание аминокислот и аминного азота было невысокое и колебалось от 5,93 при вспашке до 6,03 при дисковании.

Внесение минеральных удобрений с микробиологическими препаратами и особенно органо-минеральных по бесплужной обработке заметно увеличивало пул аминокислот, таких как серин, глицин, треонин, тирозин, глютаминовая кислота. Общее содержание аминокислот на этих вариантах при дисковании увеличивалось в 1,5–2,2 раза по сравнению со вспашкой. И в целом при дисковании по всем вариантам содержание аминокислот и аминного азота было выше соответственно на 13,8 % и на 12,4 % (см. табл. 27). Эти данные отражают динамику трансформации азотсодержащих органических веществ при внесении удобрений и видах обработки почвы (см. рис. 15, 16).

Таблица 28

Содержание аминокислот в почве (мг/кг почвы)

Аминокислоты	Целинный аналог		Опытное поле	
	A1	A2	A1	A2
Аспарагиновая	0,25	0,19	0,18	0,10
Серин + глицин	0,65	0,44	0,45	0,57
Глютаминовая	0,98	0,44	1,12	0,21
Треонин	0,47	0,21	0,84	0,12
Аланин	0,76	0,39	1,03	0,20
Тирозин	1,14	0,41	0,43	0,08
Валин + метионин	0,41	0,00	0,14	0,00
Фенилаланин	0,52	0,00	0,12	0,00
Лейцин	1,03	0,17	0,24	0,05
Общее количество аминокислот	6,21	2,25	4,55	1,33
Азот (N) аминокислот	0,08	0,45	0,54	0,37

Содержание свободных аминокислот устойчиво диагностирует потенциальные возможности катализа процессов азотного метаболизма в целинных и окультуренных дерново-подзолистых почвах. Судя по данным табл. 28, суммарное содержание свободных аминокислот в почве целинного аналога в 1,3 раза выше, чем в почве опытного поля, по количеству аминного азота – в 1,2 раза. Анализ количественного состава показывает, что в почве опытного поля выше содержание глутаминовой аминокислоты и аланина.

4.5. НИТРИФИКАЦИЯ

Нитрификация является важным микробиологическим показателем, который отражает уровень азотного питания растений. Нитрификационный процесс завершает трансформацию органических азотсодержащих соединений в почве, при этом образуются нитраты и нитриты. От интенсивности нитрификации зависит степень обеспечения растений азотом. Отмечается взаимосвязь между нитрификацией в почве и потреблением нитратов растениями. Многие исследователи отмечают взаимосвязь между интенсивностью нитрификации и развитием целлюлозоразлагающих микроорганизмов [42, 66].

Все вышеизложенное побуждает исследователей к изучению влияния способов обработки почвы и удобрений на оптимизацию нитрификационных процессов. Однако следует учитывать то обстоятельство, что данный показатель очень динамичен и зависит от многочисленных факторов (агротехника, применяемые удобрения, метеорологические условия, выращиваемые сельскохозяйственные культуры).

В авторских исследованиях определение нитрификационной активности почв проводилось по методике С. П. Кравкова в модификации почвенного института им. Докучаева (суммарное количество нитритного азота, образующегося при недельном компостировании почвы при $t = 28\text{ }^{\circ}\text{C}$ и влажности 60 % от полной влагоемкости).

Отбор почвенных образцов проходил в следующие сроки:

- I – до закладки опыта (апрель);
- II – в период цветения культур (июнь);
- III – после уборки картофеля (сентябрь);
- IV – после уборки ячменя (июль).

В 1998–2003 гг. изучалось влияние двух способов обработки почвы (вспашка, дискование) и удобрений при возделывании

пелюшко-овсяно-райграсовой смеси, картофеля, ячменя с подсевом клевера, клевера 1-го и 2-го годов пользования, озимого тритикале на активность нитрификации (табл. 29).

Таблица 29

Нитрификационная активность почвы (N-NO_3 , мг/кг почвы) под пелюшко-овсяно-райграсовой смесью, 1998–1999 гг.

Варианты	С оборотом пласта					Без оборота пласта				
	До закладки опыта (апрель)		После уборки пелюшко-овса (июль)		Среднее	До закладки опыта (апрель)		После уборки пелюшко-овса (июль)		Среднее
	1998	1999	1998	1999		1998	1999	1998	1999	
1. Без удобрений	92	72	36	50	62,5	94	65	40	59	64,0
2. NPK	86	74	38	56	63,5	22	55	98	–	68,0
3. PK + ас. уд.	80	76	36	60	63,0	88	70	40	61	64,5
4. NPK + ас. уд.	88	71	38	57	63,0	84	71	39	67	65,0
5. Навоз	88	72	38	52	62,5	83	69	45	66	65,5
6. Навоз + NPK	81	75	34	55	61,0	90	76	42	67	68,5
7. Навоз + ас. уд.	82	73	43	55	63,0	85	77	49	72	70,5
8. Навоз + NPK + ас. уд.	88	77	36	57	64,0	84	78	48	67	69,0
Среднее по опыту	87,5	73,7	38,6	55,7	63,9	90,3	72	45,5	65,8	68,3

Наиболее высокая нитрификационная активность почвы наблюдалась в апреле до закладки опыта (88–92 мг/кг почвы в 1998 г., 72–77 мг/кг почвы в 1999 г.), что говорит о благоприятных условиях для превращения азотных соединений и накопления нитратного азота в этот период.

После уборки пелюшко-овсяной смеси содержание нитратного азота в 1998 г. уменьшилось в 2,3 раза, а в 1999 г. – в 1,3 раза. Не выявлено дифференциации нитрификационной активности по вариантам опыта, в том числе при внесении ассоциативных удобрений.

Показатели нитрификационной активности при вспашке в среднем за 2 года по всем вариантам были ниже на 6,8 %, чем на вариантах с дискованием.

Наиболее высокая нитрификационная активность почвы под картофелем, так же как и под пелюшко-овсяно-райграсовой смесью, наблюдалась в апреле (69–77 мг/кг почвы в 1999 г. и 81–154 мг/кг почвы в 2000 г.) в период оптимальных условий влажности и температуры (табл. 30).

Таблица 30

Нитрификационная активность почвы (N-NO₃, мг/кг почвы)
под картофелем, 1999–2000 гг.

Варианты	С оборотом пласта						Среднее
	До внесения (апрель)		Цветение (июль)		Уборка (сентябрь)		
	1999	2000	1998	2000	1999	2000	
1. 40 т	76	130	–	72,4	56	56,2	62,5
2. 40 т + NPK	70	130	–	97,7	61	93,3	63,5
3. 40 т + PK + ас. уд.	77	128	–	93,3	62	93,3	63,0
4. 40 т + NPK + ас. уд.	74	138	–	97,7	62	93,3	63,0
5. 80 т	74	93,3	–	77,6	67	72,4	62,5
6. 80 т + NPK	72	102	–	77,6	62	77,6	61,0
7. 80 т + ас. уд.	70	100	–	97,7	67	58,9	63,0
8. 80 т + NPK + ас. уд.	72	133	–	114,8	68	77,6	64,0
Без оборота пласта							
1. 40 т	76	93,3	–	77,6	58	58,9	72,7
2. 40 т + NPK	70,5	151	–	134,9	57	100	102,7
3. 40 т + PK + ас. уд.	70,5	131	–	91,2	62,5	49,0	80,8
4. 40 т + NPK + ас. уд.	69	147	–	114,8	60	74,1	92,9
5. 80 т	74	138	–	97,7	60	58,9	85,7
6. 80 т + NPK	74	138	–	74,1	62	53,7	80,3
7. 80 т + ас. уд.	71	93,3	–	77,6	62	74,1	75,6
8. 80 т + NPK + ас. уд.	69	154	–	138,0	63	91,2	103,0

В период цветения картофеля и после его уборки отмечается постепенное снижение содержания нитратов в почве.

Внесение полного минерального удобрения на навозном фоне (40 т/га) способствовало значительному накоплению нитратов: в варианте

40 т + NPK до 97,7 (с оборотом пласта) и до 134,9 мг/кг (без оборота пласта) по сравнению с контролем (72,4–77,6 мг/кг). Увеличение количества навоза до 80 т/га не повышало данный показатель, который был практически на уровне контрольного варианта.

Дополнительное использование азобактерина на первом фоне не повышало нитрификационную способность почвы. В то же время в варианте 8 (II навозный фон) содержание N-NO₃ значительно возросло – до 114,8 мг/кг на опыте с оборотом пласта и до 138 мг/кг – без оборота пласта.

В среднем за 2 года нитрификационная активность в апреле, июне была выше при обработке почвы без оборота пласта на 15,4 и 10,6 % соответственно. И только после уборки картофеля (сентябрь) активность нитрификации по вспашке была выше на 11,1 % по всем вариантам опыта.

Авторами проводилось также определение нитрификационной активности почвы под ячменем с подсевом клевера.

Аналогично с предыдущей культурой (картофель) отмечается отчетливое влияние сроков отбора на нитрификационную активность. Наибольшее накопление нитратов отмечено в апреле (10,8–16,1 мг/кг почвы в опыте с оборотом пласта и 10,3–14,2 в опыте без оборота пласта) (табл. 31).

Таблица 31

Нитрификационная активность почвы (N-NO₃, мг/кг почвы)
под ячмень + клевер, 2000–2001 гг.

Вариант	С оборотом пласта				Без оборота пласта			
	До посева	Цветение	Уборка	Среднее	До посева	Цветение	Уборка	Среднее
1. Без удобрений	10,8	6,4	6,6	7,9	10,3	6,4	5,7	7,5
2. NPK	12,3	8,8	10,1	10,5	10,7	8,4	7,6	8,9
3. PK + ас. уд.	11,3	7,5	10,0	9,6	11,3	7,7	8,7	9,3
4. NPK + ас. уд.	14,5	6,9	9,5	10,5	14,2	8,7	10,6	11,1
5. 20 т	12,8	8,3	7,6	9,6	11,6	7,8	10,9	10,1
6. 20 т + NPK	14,3	7,4	11,8	11,1	12,6	8,1	9,9	10,2
7. 20 т + ас. уд.	13,9	9,6	12,0	11,8	11,9	8,1	10,0	10,0
8. 20 т + NPK + ас. уд.	16,1	9,6	10,3	12,0	13,8	9,2	10,6	11,3

В среднем за два года в апреле величина нитрификационной активности почвы составляла 14,2–19,1 мг/кг почвы на вариантах с оборотом пласта и 13,1–16,7 мг/кг почвы при проведении безотвальной обработки почвы. При этом уровень показателей в 2002 г. был на 23–43 % выше, чем в 2001 г., что связано, прежде всего, с более теплой и влажной весной 2002 г. и, как следствие, с более высокой общей микробиологической активностью почвы.

Ко времени второго отбора почвенных проб (фаза цветения ячменя) имело место значительное снижение содержания нитратов. Некоторый рост содержания N–NO₃ в период уборки (3-й отбор проб) связан с большим количеством осадков и оптимальным температурным режимом в начале августа, что создало оптимальные условия для нитрификаторов. Нами отмечено заметное влияние NPK, навоза, совместного внесения органических и минеральных удобрений на содержание N–NO₃. Активность нитрификации по всем вариантам опыта по вспашке была выше на 5,8 % по сравнению с дискованием.

В 2001–2002 гг. изучалось влияние удобрений, их последействия и способов обработки почвы на данный показатель при возделывании клевера 1-го и 2-го года пользования.

Отбор почвенных образцов проводился в следующие сроки:

I – в первой декаде апреля;

II – в третьей декаде мая (перед первым укосом клевера);

III – в третьей декаде июля (перед вторым укосом клевера).

Данные по влиянию удобрений и различных способов обработки почвы на уровень нитрификационной способности почвы под клевером 1-го года пользования за 2 года представлены в табл. 32.

Таблица 32

Нитрификационная активность почвы (N–NO₃, мг/кг почвы)
под клевером 1-го года пользования, 2001–2002 гг.

Вариант	1-й отбор (апрель)		2-й отбор (май)		3-й отбор (июль)		Среднее за вегетацию
	2001	2002	2001	2002	2001	2002	
<i>С оборотом пласта</i>							
1. Контроль (б/у)	12,5	17,1	8,1	14,1	11,2	9,1	12,0
2. Последействие N + PK	13,2	16,2	9,3	16,0	10,3	9,7	12,5

Вариант	1-й отбор (апрель)		2-й отбор (май)		3-й отбор (июль)		Среднее за вегетацию
	2001	2002	2001	2002	2001	2002	
3. Последействие ас. уд. + PK	12,4	16,3	9,3	15,3	9,1	10,2	12,1
4. Последействие N, ас. уд. + PK	15,1	19,1	9,8	14,8	10,8	9,4	13,2
5. Последействие навоза	14,5	20,8	9,3	15,9	11,5	10,1	13,7
6. Последействие навоза и N + PK	16,2	22,1	11,1	17,2	9,9	11,3	14,6
7. Последействие навоза и ас. уд. + PK	15,4	19,3	6,9	16,0	10,3	11,2	13,2
8. Последействие навоза, N, ас. уд. + PK	14,1	21,5	7,1	19,1	11,9	10,5	14,0
<i>Без оборота пласта</i>							
1. Контроль (б/у)	10,3	15,8	7,3	14,2	10,5	8,6	11,2
2. Последействие N + PK	13,0	16,2	8,1	15,1	9,2	10,0	11,0
3. Последействие ас. уд. + PK	11,2	15,9	9,1	14,8	8,1	9,1	11,4
4. Последействие N, ас. уд. + PK	13,2	19,3	8,3	16,2	9,1	9,8	12,7
5. Последействие навоза	14,4	20,1	9,1	17,1	10,2	8,9	13,3
6. Последействие навоза и N + PK	12,5	20,3	8,0	16,3	11,2	10,2	13,2
7. Последействие навоза и ас. уд. + PK	14,3	19,1	9,1	17,1	9,5	10,4	13,3
8. Последействие навоза, N, ас. уд. + PK	12,2	20,9	10,0	18,4	10,9	9,3	13,6

Интенсивность нитрификации возрастает под влиянием последействия азотных удобрений. А при внесении фосфорно-калийных удобрений в почву прибавки в накоплении нитратов были незначительны или их не было совсем по сравнению с контролем (см. табл. 32) как по обработке почвы с оборотом пласта, так и по дискованию.

При внесении органо-минеральных удобрений процесс нитратонакопления идет более энергично. Так, например, если при последействии азотных удобрений + PK (вариант 2) содержание нитратов

в среднем за 2 года было 14,7 мг, то при последствии навоза и N + РК содержание их составило 19,2 (вариант 6) по обработке с оборотом пласта и 14,6 и 16,6 соответственно – по дискованию.

В среднем за вегетацию по всем вариантам активность нитрификации под клевером первого года пользования была выше по вспашке на 6 % по сравнению с дискованием.

Общий уровень нитрификационной активности почвы под клевером 1-го года пользования был на 19–37 % выше, чем под покровной культурой (ячменем). Это объясняется более высоким содержанием биологического азота под клевером в результате симбиотической азотфиксации.

Последствие органических и азотных удобрений сказывалось на содержании нитратов не только в течение первого года, но и на следующий год. Нитрификационная активность почвы на посевах клевера 2-го года пользования на вариантах с последствием азотных и органических удобрений была самая высокая. Эти различия по вспашке были более значимы, чем по дискованию, о чем свидетельствуют данные табл. 33.

Таблица 33

Нитрификационная активность почвы (N-NO₃, мг/кг почвы) под клевером 2-го года пользования, 2002–2003 г.

Варианты	С оборотом пласта				Без оборота пласта			
	1 отбор (апрель)	2 отбор (май)	3 отбор (июль)	Среднее	1 отбор (апрель)	2 отбор (май)	3 отбор (июль)	Среднее
1. Контроль (б/у)	15,1	19,2	15,5	16,5	19,8	18,2	14,7	17,6
2. Последствие N + P ₃₀₊₄₀ K ₄₀₊₄₀	17,3	20,6	16,0	18,0	15,8	19,3	14,8	16,6
3. P ₃₀₊₄₀ K ₄₀₊₄₀	14,2	20,1	15,1	16,5	16,0	19,1	15,1	16,7
4. Последствие N + P ₃₀₊₄₀ K ₄₀₊₄₀	16,8	20,9	15,9	17,9	15,2	21,3	15,3	17,3

Окончание табл. 33

Варианты	С оборотом пласта				Без оборота пласта			
	1 отбор (апрель)	2 отбор (май)	3 отбор (июль)	Среднее	1 отбор (апрель)	2 отбор (май)	3 отбор (июль)	Среднее
5. Последствие навоза	19,7	19,8	16,3	18,6	17,0	19,8	15,0	17,3
6. Послед. навоза + послед. N + P ₃₀₊₄₀ K ₄₀₊₄₀	20,1	22,1	15,6	19,3	16,8	22,4	16,1	18,4
7. Последствие навоза + P ₃₀₊₄₀ K ₄₀₊₄₀	21,0	22,7	16,0	19,9	16,5	20,5	15,8	17,6
8. Послед. навоза + послед. N + P ₃₀₊₄₀ K ₄₀₊₄₀	19,8	20,3	16,1	18,7	17,0	21,7	16,0	18,2

Общий уровень нитрификационной активности почвы под клевером 2-го года пользования был на 38 % выше по вспашке и на 40,8 % по дискованию по сравнению с клевером 1-го года пользования, что свидетельствует о положительном влиянии симбиотических азотфиксаторов клевера 2-го года пользования на накопление общего азота в почве. Однако урожайность клевера 2-го года пользования была ниже на 24,7 % с оборотом пласта и на 14 % – без оборота. Это говорит о том, что взаимосвязь между нитрификацией и уровнем урожая отмечается не всегда. На торфяно-болотной почве, обладающей высокой нитрифицирующей способностью, эта связь тоже отрицательная [18, 48].

В ряде работ авторы строго не придерживаются понятия «нитрифицирующая способность». Иногда за такую способность принимают исходное содержание нитратов в почве или нитратонакопление за время компостирования почвы. Нитрифицирующую способность почвы принято выражать как разность между накоплением азота в почве при компостировании в оптимальных условиях и количеством нитратов в почве до инкубации [48].

В 2003 г. было проведено изучение влияния различных систем удобрения и видов обработки почвы на изменение нитрификационной способности почвы под озимым тритикале. Результаты исследований показали, что более активное рыхление почвы – обработка почвы с оборотом пласта, а также внесение минерального азота повышают уровень показателя в почве под культурой (табл. 34).

Таблица 34

Нитрификационная активность почвы (N-NO₃, мг/кг почвы)
под озимым тритикале, 2003 г.

Варианты	С оборотом пласта				Без оборота пласта			
	1 отбор (апрель)	2 отбор (май)	3 отбор (июль)	Среднее	1 отбор (апрель)	2 отбор (май)	3 отбор (июль)	Среднее
1. Контроль (б/у)	9,2	10,2	7,6	9,0	9,0	9,7	7,5	8,7
2. N ₆₀₊₃₀ P ₅₀ K ₉₀	8,9	19,1	8,0	12,0	9,1	11,9	7,7	9,6
3. P ₅₀ K ₉₀	9,1	10,4	7,3	8,9	8,4	10,1	7,1	8,5
4. N ₆₀₊₃₀ P ₅₀ K ₉₀	9,6	12,8	8,2	10,2	8,7	12,6	8,0	9,8
5. Последействие навоза (3-й год)	8,9	10,4	7,7	9,0	9,3	19,4	7,3	12,0
6. Послед. навоза (3-й год) + N ₃₀₊₃₀ P ₅₀ K ₉₀	10,1	11,7	8,1	10,0	9,7	12,3	8,0	10,0
7. Последействие навоза (3-й год) + P ₅₀ K ₉₀	11,2	11,0	7,5	9,9	8,9	10,5	7,2	8,9
8. Послед. навоза (3-й год) + N ₃₀₊₃₀ P ₅₀ K ₉₀	9,7	13,4	7,9	10,3	9,3	12,9	8,1	9,8

Данные табл. 34 и 35 показывают, что общий уровень нитрификационной активности почвы под клевером 2-го года пользования на 27–47 % выше, чем под озимым тритикале, что объясняется более высоким содержанием в почве биологического азота под клевером в результате симбиотической азотфиксации.

Влияние последействия органического удобрения на изменение нитрификационной активности почвы по вспашке не выявлено, а по дискованию последействие органических удобрений оказывало влияние и на третий год их внесения (вариант 5, табл. 34). При внесении органических удобрений нитрификация начинается после латентной фазы, которой соответствует время, необходимое для того, чтобы аммонифицирующая микрофлора вызвала минерализацию органического вещества с выделением аммиака. После этого нитрификация протекает интенсивно. Эти данные говорят о том, что латентная фаза при обработке почвы без оборота пласта длится по времени значительно дольше, поэтому последействие органических удобрений при такой обработке сохраняется и на третий год.

4.6. ЦЕЛЛЮЛОЗОЛИТИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ

Процессы разложения клетчатки в почве позволяют судить об интенсивности биохимических процессов, биологическом круговороте элементов питания и обеспечении ими культурных растений, а, следовательно, о биологической активности почвы и уровне ее плодородия. Следует отметить, что условия жизнедеятельности целлюлозоразрушающих микроорганизмов близки к оптимальным для произрастания полевых культур. Поэтому биологическая активность, определяемая по скорости распада клетчатки, достаточно точно отражает тот комплекс почвенных условий, который действует на важнейший интегральный показатель – урожай [48, 66].

Целлюлозолитическую активность (ЦА) определяли по степени разложения в почве фильтровальной бумаги, зашитой в мешочки из стеклоткани, помещенные в почву на глубину 0–30 см на 1,5 месяца. Повторность закладки проб по вариантам опыта 3-кратная. По истечении указанного срока мешочки извлекались из почвы, тщательно очищались от корневых волосков и почвы, высушивались до воздушно-сухого состояния и взвешивались. По разнице в весе определялось количество распавшейся клетчатки (в %).

Интенсивность разрушения клетчатки можно оценить по следующей шкале: очень слабая – < 10, слабая – 10–30, средняя – 30–50, сильная – 50–80, очень сильная – > 80.

Исследованиями некоторых авторов установлено, что интенсивность разложения целлюлозы изменяется в течение вегетационного периода под воздействием влажности и температуры почвы, условий погоды, почвенно-экологических факторов. Имеются данные о том, что целлюлозолитическая активность прямо пропорциональна количеству поступающего растительного материала, особенно при наличии поукосных и пожнивных культур, и положительное влияние растительных остатков на почву продолжается в течение всего следующего вегетационного периода (9–10 месяцев) [15, 29].

Анализируя результаты исследований по ЦА, можно заключить, что интенсивность распада клетчатки под изучаемыми культурами неодинакова. Так, при возделывании пелюшко-овсяной смеси с подсевом райграса однолетнего выявлено, что при разных системах обработки и удобрений создаются неоднозначные условия для жизнедеятельности микроорганизмов и, как следствие, ее целлюлозолитической активности.

Результаты опыта показали, что удобрения оказывают существенное воздействие на целлюлозолитическую активность. Так, внесение минеральных удобрений (вариант NPK) существенно интенсифицировало этот процесс: в опыте с оборотом пласта – в 2,0 раза, в опыте без оборота пласта – в 2,4 раза по сравнению с контролем (в среднем за 2 года). На вариантах с навозом этот показатель был невысоким и составлял 19 % по вспашке и 28 % при дисковании. Общеизвестно, что интенсивность распада в почве клетчатки зависит прежде всего от наличия в ней подвижного азота, особенно нитратных форм. Поэтому можно утверждать, что традиционная система «навоз + NPK» и «NPK» создает оптимальные условия для жизнедеятельности целлюлозоразрушающих микроорганизмов, а значит, и для питания пелюшко-овсяной смеси с подсевом райграса.

Весьма интересные результаты получены при анализе характера воздействия ассоциативных удобрений на фоне навоза и NPK. Разные по погодным условиям 1998–1999 гг. оказали большое влияние на эффективность данного удобрения. Как известно, интенсивность разложения целлюлозы зависит от влажности почвы, условий погоды, почвенно-экологических факторов [33]. Так, во влажном 1998 г. самая высокая ЦА отмечалась в вариантах NPK + ас. уд. и РК + ас. уд. (54–57 % и 81–86 % соответственно). В засушливом 1999 г. данная тенденция наблюдалась в этих же вариантах. Однако пока-

затели ЦА были значительно ниже (вариант РК + ас. уд. – 25–36 %, варианты NPK + ас. уд. – 36–68 % соответственно).

Таким образом, дополнительное внесение ассоциативных удобрений на фоне навоз + NPK усиливает целлюлозолитическую активность. В силу этого следует предполагать положительное воздействие ассоциативных удобрений на экологическую направленность в улучшении почвенного плодородия.

В среднем за два года по всем вариантам опыта целлюлозолитическая активность почвы под пелюшко-овсяно-райграсовой смесью при дисковании была выше на 29 % по сравнению со вспашкой. В засушливом 1999 г. обработка без оборота пласта особенно повышала активность целлюлозоразрушающих микроорганизмов: их активность была в 1,7 раза выше по всем вариантам в этом году, чем по вспашке. А по вариантам NPK + ас. уд., навоз + NPK показатели целлюлозолитической активности превышали предыдущие более чем 2 раза (табл. 35).

Таблица 35

Влияние удобрений и способов обработки на целлюлозолитическую активность дерново-подзолистой супесчаной почвы, % (пелюшко-овсяная смесь + райграс однолетний)

Варианты	Опыт с оборотом пласта			Опыт без оборота пласта		
	1998 г.	1999 г.	Среднее	1998 г.	1999 г.	Среднее
1. Без удобрений	28	13	21	26	19	22,5
2. NPK	45	41	43	44	66	55
3. РК + ас. уд.	81	25	53	86	36	61
4. NPK + ас. уд.	57	36	46,5	54	68	61
5. Навоз	22	16	19	26	30	28
6. Навоз + NPK	23	36	29,5	30	74	52
7. Навоз + ас. уд.	30	31	30,5	28	37	32,5
8. Навоз + NPK + ас. уд.	31	37	34	29	62	45,5
HCP ₀₅	9,3	6,3		7,7	7,0	

В 1999–2000 гг. изучался характер активности целлюлозоразлагающих микроорганизмов почвы при возделывании картофеля. Установлено, что под пропашной культурой (картофель) клетчатка разлагалась значительно интенсивнее (сильная степень

разложения), чем под однолетними зернобобовыми. Так, целлюлозолитическая активность почвы под пелюшко-овсом с подсевом райграса однолетнего в среднем за 2 года составила 19–61 %, в то время как под картофелем этот показатель был в пределах 37–96 % (табл. 36).

Таблица 36

Влияние удобрений и способов обработки на целлюлозолитическую активность дерново-подзолистой супесчаной почвы под картофелем (в среднем за 2 года), %

Варианты	Опыт с оборотом пласта			Опыт без оборота пласта		
	1999г.	2000г.	Среднее	1999г.	2000г.	Среднее
1. 40 т навоза	58	45	52	61	60	60
2. 40 т + NPK	77	81	79	74	77	76
3. 40 т + РК + ас. уд.	74	28	51	75	67	71
4. 40 т + NPK + ас. уд.	82	82	82	77	74	76
5. 80 т навоза	74	84	79	72	75	74
6. 80 т + NPK	79	96	88	75	55	65
7. 80 т + ас. уд.	66	48	57	77	37	57
8. 80 т + NPK + ас. уд.	73	89	81	80	66	74
НСП ₀₅	8,9	13,0		11,4	11,5	

Внесение минеральных удобрений на фоне навоза (традиционная система удобрения картофеля) навоз 40 т + NPK и навоз 80 т + NPK интенсифицировало процесс разложения целлюлозы в опыте с оборотом пласта в 1,3–2,1 раза, в опыте без оборота пласта – в 1,2 раза.

Еще более высоким этот показатель был в варианте с внесением 80 т/га навоза. Увеличение дозы органических удобрений вдвое способствовало увеличению интенсивности распада клетчатки с 45–58 % до 74–84 % в опыте с оборотом пласта, с 60–61 % до 72–75 % – в опыте без оборота пласта.

Определенный интерес представляет изучение воздействия ассоциативной микрофлоры на фоне навоза, NPK и РК удобрений. По мнению исследователей, вклад азотфиксирующих бактерий в азотный баланс почв при ассоциативной азотфиксации связан с их активным физиологическим состоянием в период быстрого развития растений.

Особое значение приобретает в этом случае фактор увлажненности почвы. В связи с этим М. М. Умаров отмечает, что даже при сочетании многих факторов (температурный режим почвы, воздуха, освещенность, содержание соединений азота в почве, концентрация CO₂ в воздухе и др.) достаточно динамичный в течение вегетационного периода показатель влажности почвы часто является одним из главных стимулирующих величин ассоциативной азотфиксации. Так, в засушливом 1999 г. внесение азобактерина несколько интенсифицировало процесс разложения клетчатки. В вариантах с внесением ассоциативных удобрений, 40 т + РК + ас. уд., 40 т + NPK + ас. уд., 80 т + ас. уд., 80 т + NPK + ас. уд. отмечена сильная степень разложения клетчатки (73–82 %).

В 2000 г. с засушливым началом лета и дождливыми июлем-августом имела место другая закономерность. В вариантах с внесением РК удобрений на навозном фоне ассоциативные микроорганизмы значительно снизили свою работоспособность. Целлюлозолитическая активность в этих вариантах (3 и 7) составила 28–48 % в опыте с оборотом пласта и 37–67 % без оборота пласта. Полное минеральное удобрение (2, 4, 6 и 8 варианты) значительно повышало этот показатель на обоих способах обработки почвы (до 77–96 %).

Таким образом, традиционная органоминеральная система удобрения создает оптимальные условия для жизнедеятельности целлюлозоразлагающих микроорганизмов, а, следовательно, и для питания картофеля.

Таблица 37

37. Влияние удобрений и способов обработки на целлюлозолитическую активность дерново-подзолистой супесчаной почвы, % (ячмень с подсевом клевера, 2000 г.)

№ п/п	Вариант	Опыт с оборотом пласта	Опыт без оборота пласта
1.	Без удобрений	46	73
2.	NPK	77	97
3.	РК + ас. уд.	63	72
4.	NPK + ас. уд.	97	86
5.	Навоз	53	93
6.	Навоз + NPK	65	94
7.	Навоз + ас. уд.	55	78
8.	Навоз + NPK + ас. уд.	66	64
9.	НСП ₀₅	9,37	11,79

В целом по опыту внесение азобактерина несколько усиливало целлюлозолитическую активность. Однако этот показатель в значительной степени зависел от способа заделки органических удобрений, от влажности и температуры почвы. В исследованиях проявилось неоднозначное воздействие способов обработки на данный показатель. Если в засушливом 1999 г. минимализация обработок несколько усиливала процессы разложения клетчатки, то в 2000 г. заделка навоза под вспашку способствовала значительному усилению процессов разложения клетчатки (96 и 55 %; 89 и 66 %). Можно предположить, что чем интенсивнее протекают процессы разложения клетчатки, тем быстрее осуществляется биологический круговорот элементов питания и тем полнее культура обеспечивается питательными элементами. Данное положение нашло подтверждение в авторских исследованиях: установлена достоверная корреляционная связь между урожайностью картофеля и целлюлозолитической активностью почвы ($r = 0,61$).

Анализ данных ЦА под ячменем с подсевом клевера показал, что в целом уровень разложения целлюлозы был достаточно высоким – «сильная» и «очень сильная» степень разложения клетчатки.

Внесение удобрений значительно повышало этот показатель. Причем, в вариантах с полным удобрением ЦА была, как правило, наивысшей. Степень разложения клетчатки в значительной мере связана с системой обработки почвы. В опыте анализируемый показатель с оборотом пласта был на 25,8 % выше, чем по вспашке (см. табл. 37).

5. ОПТИМИЗАЦИЯ ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА ПОЧВ КАК ГЛАВНОГО ФАКТОРА ПОЧВЕННОГО ПЛОДОРОДИЯ

Плодородие почвы является важнейшим интегральным показателем ее режимов, обусловленным в значительной степени параметрами и свойствами гумуса. Органическому веществу принадлежит ведущая роль в формировании плодородия почвы и обеспечении устойчивой продуктивности сельскохозяйственных культур. Основоположник научных знаний о почве В. В. Докучаев неоднократно обращал внимание на роль органического вещества в плодородии почв, высказывал справедливое опасение потерей почвами гумуса в результате неправильной эксплуатации их. Однако, несмотря на огромное число работ в данной области, полной ясности в этих вопросах нет до сих пор. И сегодня в среде ученых и практиков отсутствует единая точка зрения на проблему: влияние подвижного гумуса в почвах на плодородие и устойчивость агроэкосистем. Это связано, по-видимому, с недостаточностью экспериментального материала по оценке взаимосвязей «почва–растение» и разнообразием природных и технологических условий производства сельскохозяйственной продукции, в которых роль фракционно-группового состава гумуса может быть различной. Органические вещества гумусовой природы определяют чаще всего структурно-статические свойства почв (агрегатные, сорбционные, буферные). В то же время органические остатки негумусовой природы определяют преимущественно функциональные свойства почв (развитие микрофлоры, дыхание и т. д.).

По мере интенсификации сельскохозяйственного производства утрачивается прямая связь содержания гумуса с урожайностью. Наблюдения ученых и опыт практиков показывают, что даже 12 % содержания гумуса в почве не гарантируют получения высоких урожаев [51].

Об этом свидетельствуют и данные, полученные в Республике Беларусь. Средневзвешенное содержание гумуса в 7 и 8 турах агрохимического обследования составляло 2,25 %, в 8 и 9 турах – 2,28 %, то есть содержание гумуса не уменьшилось, а урожайность сельскохозяйственных культур по республике снизилась значительно: с 26,6 ц/га в 1990 г. до 18,3; 14,5; 19,4 ц/га соответственно в 1998–2000 гг. [16].

В то же время многие исследователи отмечают высокую степень корреляции между величиной урожая и запасами подвижного гумуса [8, 28, 37]. Если в составе общего гумуса преобладает стабильная часть, а доля лабильного гумуса сведена к минимуму («выпаханные почвы»), то эффективное плодородие таких почв резко снижается даже при относительно высоком содержании общего гумуса.

Поэтому на практике необходимо определять два главных показателя: содержание гумуса и лабильного органического вещества. Таким образом, оптимизация гумусового режима почв по содержанию лабильных органических веществ будет более реально отражать состояние эффективного плодородия почв и позволит более оперативно регулировать его за счет изменения технологических приемов возделывания сельскохозяйственных культур.

На протяжении многих лет баланс органического вещества в республике поддерживался за счет внесения торфа в почву. В 80-х гг. XX в. его доля в структуре органических удобрений составляла 50–60 %, и это явилось следствием кампании по созданию бездефицитного баланса гумуса на полях страны. Казалось, ничего плохого в этом нет, привлечено внимание общественности к проблеме плодородия почвы и правительства в экономическом содействии в ее решении. Но абсолютизация роли гумуса и недооценка роли лабильных органических веществ нанесла прямой экономический ущерб республике, сопровождающийся уничтожением торфяно-болотных почв. К тому же многие исследователи отмечают, что накопление запасов общего углерода в почве от внесения больших доз сильноразложившегося низинного торфа не соответствует действительному плодородию почвы [22, 48, 64].

Последовательное увеличение доли торфа в органическом удобрении увеличивало содержание углерода в почве, однако продуктивность севооборота при этом уменьшалась. Указанная закономерность сохранялась для всех культур севооборота.

В опытах Л. А. Корягиной [48] установлено, что уменьшение общей продуктивности севооборота под влиянием возрастающих доз торфа происходит на фоне общего ухудшения микробиологических и биохимических свойств почвы. При этом уменьшалось накопление нитратов и полифенолоксидазная активность почвы, способствующая синтезу гумуса. Эти данные говорят о том, что надо осторожно относиться к толкованию абсолютных значений гумуса, так как высокий уровень плодородия почвы имеет тесную корреляцию, прежде всего, с ее биологической активностью.

При оптимизации органического вещества почв необходимо исходить из того, что его регулирование должно осуществляться всеми средствами систем земледелия: структурой высеваемых культур и подбором высокопродуктивных травосмесей, системой обработки почвы, применением органических, минеральных удобрений, долей занятого пара и т. д.

Системы земледелия должны быть построены так, чтобы воспроизводство гумуса в почвах не требовало больших затрат, а являлось следствием мероприятий, направленных на повышение продуктивности агроценозов и защиты почв от разрушения. Примером такой технологии является возделывание однолетних бобово-злаковых смесей с подсевом райграсса однолетнего.

5.1. ВЛИЯНИЕ МНОГОУКОСНЫХ БОБОВО-ЗЛАКОВЫХ СМЕСЕЙ С ПОДСЕВОМ РАЙГРАСА ОДНОЛЕТНЕГО НА НАКОПЛЕНИЕ КОРНЕВЫХ И ПОЖНИВНЫХ ОСТАТКОВ, СОДЕРЖАНИЕ В НИХ АЗОТА, НА СТРУКТУРУ ПОЧВЫ

В целях более полной оценки агротехнической роли райграсса однолетнего при возделывании его с бобово-злаковыми смесями и в чистом виде учитывалась не только урожайность отчужденной массы, но и то количество органического вещества в виде корневых и поукосных остатков, которое накапливается в почве. Необходимо было выяснить влияние различных травосмесей на структуру почвы, качественную сторону корневых и пожнивных остатков.

Изучением агротехнической роли райграса однолетнего занимались многие авторы [33, 90]. По Беларуси данные об агротехнической роли райграса имеются в работах И. М. Огнева, П. М. Шершнева, Н. И. Калиновской, В. Н. Шлапунова, Л. И. Чухлей и др. [77, 87, 88]. Однако упомянутые авторы изучали этот вопрос в основном при возделывании райграса однолетнего как парозанимающей культуры. Выращивание райграса в системе однолетних трав, используемых в зеленом конвейере в течение вегетации, имеет существенное отличие в том, что длительность воздействия растений на почву значительно увеличивается, а следовательно, возрастает и размер накопления органических веществ в почве за счет корневых и пожнивных остатков.

Результаты авторских исследований по этой проблеме показали, что подсев райграса в бобово-злаковые смеси значительно увеличивает количество корневых и поукосных остатков в пахотном горизонте. При выращивании его с вико-овсяной смесью в среднем за три года количество корневых и поукосных остатков увеличилось на 55,7 %, с пелюшко-овсяной – на 72,3, с люпино-овсяной – на 49,2 % по сравнению с аналогичными смесями без райграса. Вико-овсяная смесь оставляла после себя 2,46 т/га корневых и поукосных остатков, пелюшко-овсяная – 2,31, люпино-овсяная – 2,99, а те же смеси, но с подсевом райграса однолетнего – 3,83, 3,98, 4,46 т/га соответственно (табл. 38). Больше всего растительных остатков накапливалось под посевами райграса в чистом виде (5,01 т/га).

Таблица 38

Накопление корневых и поукосных остатков в пахотном горизонте бобово-злаковыми смесями (т/га воздушно-сухого вещества)

Варианты опыта	1978 г.			1979 г.			1980 г.			Среднее за три года			% к смесям без райграса
	Корневые	Поукосные	Всего	Корневые	Поукосные	Всего	Корневые	Поукосные	Всего	Корневые	Поукосные	Всего	
Вика + овес	2,22	0,63	2,85	1,92	0,39	2,31	1,13	1,08	2,21	1,76	0,70	2,46	100,0
Вика + овес + райграс	2,68	1,16	3,84	3,27	0,68	3,95	2,57	1,12	3,69	2,84	0,99	3,83	155,7
Пелюшка+овес	2,06	1,0	3,06	1,15	0,31	1,46	1,21	1,20	2,49	1,47	0,84	2,31	100,0
Пелюшка + овес + райграс	2,95	1,23	4,18	3,91	0,58	4,49	2,37	0,90	3,27	3,08	0,90	3,98	172,3

Окончание табл. 38

Варианты опыта	1978 г.			1979 г.			1980 г.			Среднее за три года			% к смесям без райграса
	Корневые	Поукосные	Всего	Корневые	Поукосные	Всего	Корневые	Поукосные	Всего	Корневые	Поукосные	Всего	
Люпин + овес	2,84	0,94	3,78	1,94	0,76	2,70	1,79	0,70	2,49	2,19	0,80	2,99	100,0
Люпин + овес + райграс	4,0	1,21	5,21	4,29	0,66	4,95	2,26	0,94	3,20	3,52	0,94	4,46	149,2
Люпин	1,21	0,78	1,99	2,09	–	2,09	1,24	1,20	2,44	1,51	0,66	2,17	–
Райграс	4,04	1,24	5,24	4,35	0,90	5,25	2,95	1,56	4,51	3,78	1,23	5,01	–

Почва имеет только два источника пополнения органического вещества – растительные остатки и органические удобрения. С каждым годом внесение навоза, торфо-навозных компостов на поля уменьшается. Если в 1986–1990 гг. в среднем по республике вносилось 14,4 т/га органических удобрений, то в 1995–1996 гг. было внесено на 1 га 9,2; 8,9 т, в 2000–2001 гг. – соответственно 3,9 и 4,2 т/га. Второму источнику органического вещества, растительным остаткам в производстве уделяется недостаточно внимания, хотя их количество в пересчете на сухое вещество значительно превышает размеры вносимых органических удобрений. В то же время азот корневых и пожнивных остатков для растений является лучшим источником питания, чем азот гуминовых соединений. Поэтому во многих странах мира научным исследованиям по изучению влияния различных сельскохозяйственных культур, технологий и систем ведения сельскохозяйственного производства на плодородие почвы придается особое значение. Ценным достоинством растительных остатков является и то, что они не требуют дополнительных затрат на их заготовку и внесение.

Поскольку райграс однолетний вегетирует до поздней осени, а корневая система отмирает с наступлением холодов, то ее разложение идет в условиях избыточного увлажнения с накоплением значительного количества гумуса в почве (табл. 39).

Таблица 39

Влияние райграса однолетнего и его смесей на гумусовый баланс почвы

Варианты опыта	Количество гумуса в пахотном горизонте, т/га	Накоплено растительных остатков, т/га	Образовалось гумуса, т/га	Общее содержание гумуса, т/га	Разложилось гумуса, т/га	Баланс гумуса, т/га
Вика+овес	52,0	2,46	0,61	52,61	0,78	-0,17
Вика+овес+райграс	52,0	3,83	0,96	52,96	0,79	+0,17
Пелюшка+овес	52,0	2,31	0,57	52,57	0,78	-0,21
Пелюшка+овес+райграс	52,0	3,98	0,99	52,99	0,79	+0,20
Люпин+овес	52,0	2,99	0,75	52,75	0,79	-0,04
Люпин+овес+райграс	52,0	4,46	1,11	53,11	0,80	+0,31
Люпин	52,0	2,17	0,54	52,54	0,77	-0,23
Райграс	52,0	5,01	1,25	53,25	0,80	+0,45

Используя коэффициент гумификации растительных остатков (25 %) [55], определили количество гумуса, образовавшегося от их разложения. Среднее содержание гумуса в почве, где проводились исследования, составило 2,1 %. Отсюда вычислены запасы его в слое 0,25 см – 52 т/га. Плотность почвы – 1,3. Определив общее содержание гумуса, по коэффициенту минерализации (0,015) нашли количество разложившегося гумуса. Данные табл. 39 показывают, что возделывание райграса однолетнего позволяет не только получать сравнительно высокие урожаи надземной массы, но также накапливать значительное количество органического вещества в почве и поддерживать в ней положительный баланс гумуса. При ведении интенсивного земледелия это обстоятельство с каждым годом будет иметь все большее значение. Поэтому возделывание райграса однолетнего в севооборотах необходимо применять как можно шире.

Исследованиями установлено, что на количество корневых и послеуборочных остатков влияют как удобрения, так и обработка почвы. Накопление биомассы растительных остатков по всем вариантам опыта было выше при обработке почвы без оборота пласта при практически одинаковой продуктивности надземной массы.

Однако ценность корневых и поуборочных остатков определяется не только их абсолютной величиной, но и содержанием в них основных элементов минерального питания для растений, в частности азота. Данные авторских исследований показывают (табл. 40), что содержание азота в растительных остатках колеблется как по годам, так и по укосам. Например, в 1979 г. его содержание в первом и втором укосах было выше, чем в 1980 г. Причем во все годы в первом укосе корневые и поуборочные остатки двойных бобово-злаковых смесей были богаче азотом на 0,17–0,25 % по сравнению с аналогичными смесями, но с подсевом райграса однолетнего. Отмечено также, что содержание азота в растительных остатках увеличивалось от первого укоса ко второму, а от второго к третьему – опять снижалось.

Таблица 40

Содержание азота в корневых и поуборочных остатках бобово-злаковых смесей с подсевом и без посева райграса однолетнего и его накопление в почве (в % на абсолютно сухое вещество)

Варианты опыта	1979 г.			1980 г.			Среднее за два года			Среднее из определенных за вегетацию	Количество накопленного азота в почве с растительными остатками, кг/га
	Укосы										
	1	2	3	1	2	3	1	2	3		
Вика+овес	1,86	–	–	1,32	–	–	1,59	–	–	1,59	35,9
Вика+овес+райграс	1,61	2,42	1,28	1,19	1,37	1,61	1,40	1,93	1,44	1,58	60,4
Пелюшка+овес	1,90	–	–	1,38	–	–	1,64	–	–	1,64	31,7
Пелюшка+овес+райграс	1,74	2,50	1,30	1,19	1,49	1,48	1,47	1,99	1,39	1,62	62,7
Люпин+овес	1,69	–	–	1,73	–	–	1,71	–	–	1,71	44,4
Люпин+овес+райграс	1,57	2,40	1,30	1,34	1,35	1,51	1,46	1,88	1,40	1,58	64,4
Люпин	2,42	–	–	1,84	–	–	1,84	–	–	2,13	48,2
Райграс	1,37	2,27	1,19	1,15	1,32	1,50	1,26	1,80	1,35	1,46	71,5

Подсев райграса однолетнего в вико-овсяную смесь позволяет увеличить количество азота, накапливаемого в корневых и поуборочных остатках, на 68,2 %, в пелюшко-овсяную – на 97,7, в люпино-овсяную смесь – на 45,0 % по сравнению с аналогичными смесями без райграса. Наибольшее количество азота накапливалось в растительных остатках под посевами райграса в чистом виде – 71,5 кг/га.

Райграс однолетний и его смеси не только обогащают почву органическим веществом, но и положительно влияют на образование мелкокомковатой структуры почвы. Приведенные авторами данные согласовываются с иными исследованиями по этой проблеме.

Данные табл. 41 показывают, что к концу вегетации содержание наиболее ценных в агрономическом отношении агрегатов почвы (7,00–0,25 мм) под райграсом однолетним и его смесями значительно возросло.

Таблица 41

Агрегатное состояние почвы под бобово-злаковыми смесями с райграсом и без райграса однолетнего, 1978–1980 гг., %

Варианты опыта	Мелкие глыбки, 10 мм	Комки		Зернистые элементы 0,5–0,25 мм	Пыль 0,25 мм	Сумма агрегатов в 7,0–0,25	Сумма глыбок и пыли	Коэффициент структурности
		10–7 мм	7,0–0,5 мм					
Вика+овес	29,3	14,4	42,6	4,6	10,1	47,2	53,8	0,87
Вика+овес+райграс	26,0	11,0	46,7	4,3	12,0	51,0	49,0	1,04
Пелюшка+ овес	32,2	12,1	4,8	4,3	9,6	46,1	53,9	0,86
Пелюшка+овес+райграс	27,6	11,2	47,9	5,4	7,9	53,3	46,7	1,14
Люпин+овес	37,5	12,9	36,3	3,4	9,9	39,7	60,3	0,66
Люпин + овес + райграс	25,8	11,4	49,3	4,1	9,4	53,4	46,6	1,15
Люпин	30,8	13,2	41,7	4,7	9,6	46,4	53,6	0,87
Райграс	23,7	14,5	47,5	5,9	8,4	53,4	46,6	1,15

Под вико-овсяной смесью с райграсом однолетним их содержание увеличилось на 3,8 %, пелюшко-овсяно-райграсовой смесью – на 7,2, люпино-овсяно-райграсовой – на 13,7 % по сравнению со смесями без подсева райграса. Коэффициент структурности (отношение суммы агрегатов 7,00–0,25 мм к сумме агрегатов больше 7 мм и меньше 0,25 мм) в этих вариантах также был выше и составлял соответственно 1,04; 1,14; 1,15, а без райграса – 0,87; 0,86; 0,66.

5.2. ВЛИЯНИЕ УДОБРЕНИЙ И ВИДОВ ОБРАБОТКИ ПОЧВЫ НА НАКОПЛЕНИЕ КОРНЕВЫХ И ПОЖНИВНЫХ ОСТАТКОВ

Основоположники почвоведения В. В. Докучаев, В. Р. Вильямс [31, 44] придавали большое значение биотическому фактору в почвообразовании и плодородии почв, что и было подтверждено впоследствии учеными в других странах [58]. Было установлено значение различных естественных растительных формаций и почвенной биоты в формировании почвенного покрова и биологической продуктивности почв.

Интенсификация сельскохозяйственного производства, некоторые негативные тенденции его химизации, а также резкое повышение стоимости энергоресурсов вызвали повышенный интерес к вопросам почвенного плодородия, его естественного воспроизводства. В этом отношении важным является изучение роста и развития корней сельскохозяйственных растений при различных факторах среды их обитания и агротехники возделывания с целью разрешения вопросов регулирования жизнедеятельности растений через корневые системы, а также микроценозы. Исследованиями, проведенными А. М. Брагиным в 1950–1965 гг. в БСХА, было установлено, что в среднем за ротацию 8-9-польных севооборотов корневые и пожнивные остатки составляют 5–8 т/га сухого вещества в год. Это количество растительных остатков в 3–4 раза превосходит органическое вещество, которое вносится с навозом в средних дозах (6–10 т/га пашни), а по содержанию в них основных питательных веществ может быть приравнено к 15–20 т/га навоза при ежегодном его внесении. Т. Н. Кулаковская показала [59], что масса сухого вещества пожнивных и корневых остатков в среднем за севооборот составляет примерно 70–75 % от массы сухого вещества отчуждаемой с поля основной и побочной продукции.

Установлено также, что на накопление биомассы корней влияют степень обеспеченности почв питательными веществами, влагообеспеченность растений, погода и т. д. [59, 71]. П. И. Никончик [71] отмечает значительную вариабельность образования биомассы пожнивных и корневых остатков, однако отчетливо проявляется влияние на данный показатель биологии отдельных сельскохозяйственных культур.

В последние годы как за рубежом, так и в нашей стране возрос интерес к исследованиям с использованием промежуточных сидеральных культур, которые позволяют продлить вегетационный период, более полно использовать климатические ресурсы, что способствует повышению устойчивости земледелия. Это касается и систем интегрированного землепользования. Обстоятельные исследования по промежуточным культурам проведены в БелНИИЗК [71]. В этих опытах установлено, что озимая рожь на зеленую массу и пожнивные – редька масличная, горчица белая, озимый рапс оставляют 20,8–27,3 ц/га абсолютно сухой органической массы с содержанием в ней 25,5–39,8 кг N; 9,3–14,7 кг P₂O₅ и 23,1–43,3 кг K₂O. Для промежуточных культур характерно более высокое отношение пожнивных остатков к отчуждаемому урожаю. У пожнивных и подсевных культур этот показатель в среднем был 80 %, а у зерновых и зернобобовых культур – 43,3–56,3 %, однолетних бобовых трав на зеленую массу – 26,7–49,3, многолетних трав – 52,2–80,2, кукурузы на силос – 54,2, кукурузы на силос – 8,4–12,8 %.

В культурные почвы ежегодно поступает на 1 га 5–8 т растительных остатков, на их долю в дерново-подзолистых почвах приходится 7–8 % всего органического вещества пахотного слоя. В сумме на негумифицированную часть приходится 10–15 % общего запаса органического вещества почвы.

5.2.1. Накопление корневых и пожнивных остатков под смесью пелюшко-овес + райграс однолетний

Авторами в течение 1998–1999 гг. велись наблюдения и учеты за накоплением растительных остатков в почве под пелюшко-овсяной смесью с подсевом райграса однолетнего в зависимости от вносимых удобрений и способов обработки почв.

После уборки пелюшко-овсяной смеси остатки стерни в опыте с оборотом пласта (табл. 42) в среднем за 2 года составляли 5,6–10,4 ц/га, корней – 24,4–28,6 ц/га и 7,6–10,4 ц/га стерни и 28,6–43,8 ц/га корней без оборота пласта. При возрастании урожайности возрастало и количество корневых и пожнивных остатков. Фосфорно-калийное удобрение в сочетании с ассоциативной микрофлорой (вариант 3) существенно увеличивало биомассу растительных ос-

татков – 35,4 ц/га с оборотом пласта и 42,1 ц/га в опыте без оборота почвы. Совместное применение NPK и препарата ас. уд. обеспечивало образование примерно такого же количества биомассы растительных остатков (35 ц/га) в опыте со вспашкой и значительно увеличивало биомассу корневых и пожнивных остатков при дисковании (53,4 ц/га). В среднем за два года по всем вариантам опыта количество органики за счет корневых и пожнивных остатков было на 30,3 % выше при дисковании по сравнению со вспашкой. А с учетом всех остатков (полуразложившихся и разложившихся) эта разница была несколько меньше и составляла 23 %.

Таблица 42

Влияние удобрений и обработки почвы на сухую массу растительных остатков пелюшко-овсяной смеси с подсевом райграса однолетнего, ц/га (в среднем за 1998–1999 гг.)

Вариант	Стерня	Корни	Всего свежих остатков	Полуразложившиеся остатки	Разложившиеся остатки	Всего отмерших остатков	Всего растительных остатков
<i>С оборотом пласта</i>							
1. Без удобрений	5,6	24,4	30,1	16,4	14,8	36,4	66,4
2. NPK	7,2	24,4	31,7	16,2	17,7	34,0	65,6
3. РК + ас. уд.	6,9	28,4	35,4	16,8	21,0	37,7	73,0
4. NPK + ас.уд.	10,4	24,6	35,0	16,8	14,2	31,0	66,0
5. Навоз	8,0	25,2	33,2	23,4	32,0	55,4	88,6
6. Навоз + NPK	6,0	27,2	33,2	28,5	25,1	53,6	86,8
7. Навоз + ас. уд.	8,6	27,5	36,2	17,3	24,0	41,2	77,4
8. Навоз + NPK + ас. уд.	7,2	28,6	35,8	18,0	21,6	39,6	75,4

Окончание табл. 42

Вариант	Стерня	Корни	Всего свежих остатков	Полуразложившиеся остатки	Разложившиеся остатки	Всего отмерших остатков	Всего растительных остатков
<i>Без оборота пласта</i>							
1. Без удобрений	8,3	34,5	42,8	24,2	27,5	51,7	94,5
2. NPK	8,5	28,6	37,0	21,4	32,2	53,3	90,6
3. РК + ас. уд.	7,6	34,5	42,1	21,7	30,6	52,4	94,4
4. NPK + ас. уд.	9,6	43,8	53,4	16,8	20,2	37,0	90,5
5. Навоз	8,0	30,2	38,0	16,4	25,6	41,0	80,1
6. Навоз + NPK	10,4	41,3	51,8	18,2	22,2	40,5	92,1
7. Навоз + ас. уд.	8,6	27,8	36,2	24,7	30,5	55,2	91,4
8. Навоз + NPK + ас. уд.	8,6	42,6	51,2	21,3	31,1	52,4	103,6

При выращивании райграсса однолетнего после пелюшкo-овсяной смеси на фоне весенней вспашки масса стерни составила 2,2–3,8 ц/га, корней 13,8–20,2 ц/га и 2,2–6,9 ц/га стерни и 13,8–25,2 ц/га корней в опыте без оборота пласта. С ростом урожая в основном возрастала и биомасса растительных остатков. В опыте с оборотом пласта максимальная биомасса растительных остатков была в варианте навоз + NPK (25,6 ц/га), при этом доля корней от общего накопления биомассы составила 66 %. В вариантах с применением ассоциативных микроорганизмов биомасса растительных остатков райграсса однолетнего была на 15–30 % меньше. Однако доля корней в этом случае повышалась до 83–85 % (табл. 43).

Таблица 43

Сухая масса растительных остатков после райграсса однолетнего, ц/га
(в среднем за 1998–1999 гг.)

Варианты	Стерня	Корни	Всего свежих остатков	Полуразложившиеся	Разложившиеся	Всего отмерших остатков	Всего растительных остатков
<i>С оборотом пласта</i>							
Без удобрений	2,2	20,2	22,3	10,7	28,2	39,0	61,3
NPK	3,2	16,4	19,6	10,0	38,5	48,8	68,4
РК + ас. уд.	2,6	13,8	16,4	12,8	38,6	51,5	67,9
NPK + ас. уд.	3,2	17,0	20,3	10,4	38,5	48,9	69,2
Навоз	2,6	15,3	17,9	11,2	43,4	54,6	72,4
Навоз + NPK	3,8	16,8	25,6	15,4	48,0	63,8	84,4
Навоз + ас. уд.	3,0	15,2	18,3	13,5	39,4	52,9	71,2
Навоз + ас. уд. + NPK	3,0	17,2	20,2	16,6	38,8	55,4	75,6
<i>Без оборота пласта</i>							
Без удобрений	2,2	11,6	13,8	10,0	28,2	38,2	52,0
NPK	3,3	18,2	21,6	10,9	40,0	50,9	72,4
РК + ас. уд.	3,0	15,4	18,4	9,3	39,9	49,2	67,6
NPK + ас. уд.	3,6	16,6	20,2	9,6	37,5	47,2	67,4
Навоз	2,9	16,2	19,1	12,0	39,7	51,7	70,8
Навоз + NPK	3,5	17,5	21,0	11,2	41,5	52,7	73,7
Навоз + ас. уд.	3,4	17,3	21,0	10,2	39,5	49,8	70,7
Навоз + ас. уд. + NPK	6,9	18,2	25,2	10,8	40,0	50,8	76,0

Следует отметить, что способ обработки почвы существенно влияет на образование корней. В среднем за 2 года в пахотном слое почвы при обработке ее дисковыми боронами корней накапливается на 0,9–2,1 ц/га больше, чем после вспашки. Способы обработки, как и выбор удобрения, сказались и на минерализации органического вещества. Более высокие темпы минерализации были по вспашке. Внесение минеральных удобрений также приводило к усилению минерализации органических веществ.

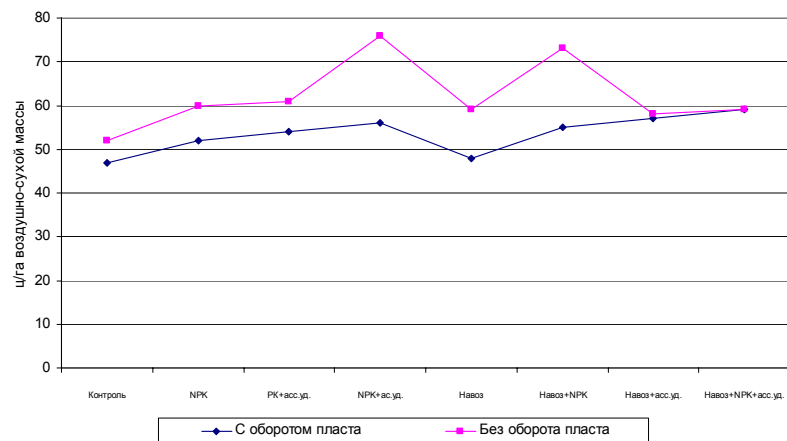


Рис. 18. Количество послеуборочных растительных остатков после пелюшко-овсяной смеси и райграса однолетнего (по данным двухлетних исследований)

Суммарное накопление растительных остатков под посевом пелюшко-овсяной смеси с последующим промежуточным посевом райграса однолетнего в среднем за 2 года представлено на рис. 18.

5.2.2. Накопление корневых и пожнивных остатков под картофелем

Установлено, что масса послеуборочных растительных остатков (стерня + корни) составила в среднем за 2 года 45–56 ц/га по фону весно-вспашки и 51,6–72,9 ц/га по обработке почвы дисковой бороной. Эти данные четко свидетельствуют, что более мелкая обработка почвы без оборота пласта способствует большему накоплению растительных остатков в пахотном слое 20 см. Применение удобрений, в том числе и ассоциативных микроорганизмов, также повышает накопление растительных остатков при обоих видах обработки почвы. В целом мероприятия, способствующие повышению урожайности, также способствуют и накоплению растительных остатков.

В 1999–2000 гг. были продолжены исследования в севообороте на втором поле второй закладки с картофелем. Урожай клубней в опыте 2000 г. уступал уровню 1999 г. По-видимому, это связано с биологическими особенностями сорта и погодными условиями вегетационного периода. Так, если за апрель-июль в 1999 г. выпало 182 мм осадков, то в 2000 г. – 111,2 мм при норме 167 мм. Результаты учета растительных остатков представлены в табл. 44.

Накопление воздушно-сухой массы растительных остатков после картофеля, ц/га (среднее за 1999–2000 гг.)

Вариант	Ботва	Корни	Всего свежих остатков	Полуразложившиеся остатки	Разложившиеся остатки	Всего отмерших остатков	Всего растительных остатков
<i>Вспашка</i>							
1. 40 т навоза	7,3	15,4	22,7	4,2	2,8	7,0	29,7
2. 40 т навоза + N ₁₁₀ P ₁₀ K ₁₉₀	9,1	18,8	27,9	4,3	2,7	7,0	34,9
3. 40 т навоз. + P ₁₀ K ₁₉₀ + ас. уд.	8,5	15,5	24,0	4,5	2,5	7,0	31,0
4. 40 т навоз. N ₁₁₀ P ₁₀ K ₁₉₀ + ас. уд.	8,9	17,8	27,7	3,8	2,7	6,5	34,2
5. 80 т навоза	8,5	19,4	27,9	5,0	3,5	8,5	36,4
6. 80 т навоза + N ₆₅ P ₁₀ K ₁₀₀	9,6	18,7	28,3	4,9	2,8	7,8	36,1
7. 80 т навоза + ас. уд.	8,9	17,5	26,4	5,2	4,6	9,8	36,2
8. 80 т навоз. + N ₆₅ P ₁₀ K ₁₀₀ + ас. уд.	8,2	19,7	27,9	4,9	4,2	9,1	37,0
<i>Дискование</i>							
1. 40 т навоза	6,5	15,6	22,1	3,9	2,7	6,6	28,7
2. 40 т навоза + N ₁₁₀ P ₁₀ K ₁₉₀	8,2	17,4	25,6	4,5	2,8	7,3	32,9
3. 40 т навоз. + P ₁₀ K ₁₉₀ + ас. уд.	6,6	20,5	27,1	4,6	3,1	7,7	34,8
4. 40 т навоз. N ₁₁₀ P ₁₀ K ₁₉₀ + ас. уд.	7,1	18,1	25,2	4,5	2,7	7,2	32,4
5. 80 т навоза	6,5	17,1	23,6	7,1	5,1	12,2	35,8
6. 80 т навоза + N ₆₅ P ₁₀ K ₁₀₀	7,2	18,7	25,9	8,0	5,5	13,5	39,4
7. 80 т навоза + ас. уд.	6,7	17,7	24,4	7,3	5,3	12,6	37,0
8. 80 т навоз. + N ₆₅ P ₁₀ K ₁₀₀ + ас. уд.	7,8	19,2	27,0	7,8	6,0	13,8	40,8

Из данных табл. 44 видно, что по вспашке уровень накопления свежих растительных остатков в сильной степени зависел от применения органических и минеральных удобрений. Максимальное количество их отмечено на вариантах с полным минеральным удобрением в сочетании с 40 и 80 т/га навоза. Фосфорно-калийные удобрения не давали существенного увеличения количества послеуборочных остатков. Аналогичная картина отмечалась и при дисковании. На фоне дискования количество растительных послеуборочных остатков было на одинаковом уровне по сравнению с вспашкой или ниже, если не вносились азотные удобрения.

Максимальное количество отмерших растительных остатков отмечено на вариантах с 80 т/га навоза и в сочетании этой дозы с полным минеральным удобрением. Следует отметить, что разложившихся остатков было больше на фоне дискования по сравнению со вспашкой.

При внесении 80 т/га навоза количество растительных остатков было выше на 5,2 ц/га после вспашки и 1,5 ц/га при дисковании по сравнению с дозой навоза 40 т/га. Полное минеральное удобрение, внесенное по фону 80 т/га навоза, увеличивало массу растительных остатков на 0,4 ц/га при вспашке и на 2,3 ц/га при дисковании по сравнению с 80 т/га навоза без минеральных удобрений.

В целом можно сделать заключение, что все агроприемы, способствующие повышению урожайности, увеличивают массу растительных остатков в почве. Сроки отбора проб имеют существенное влияние на определение массы растительных остатков, так как при определенных условиях погоды скорость минерализации может достигать больших величин за короткий промежуток времени. Развитие сорной растительности после отмирания ботвы картофеля и прекращения действия гербицидов также изменяет показатели массы корней. В накоплении растительных остатков и корней на картофеле по видам обработки почвы четкой закономерности не выявлено, но имеется тенденция к их увеличению при обработке без оборота пласта.

5.2.3. Накопление корневых и пожнивных остатков под ячменем с подсевом клевера

Данные по накоплению массы растительных остатков после ячменя приведены в табл. 45 и 46.

Их анализ показывает, что воздействие засухи и повреждение всходов ячменя заморозками в 2000 г. привели к тому, что урожайность культуры была сравнительно невысокой, и поэтому масса растительных остатков

была низкой. Однако полное минеральное удобрение повышало массу пожнивных остатков на 4,7 ц/га по вспашке и на 2 ц/га после дискования по сравнению с контролем. Положительное действие на данный показатель оказывало также применение ассоциативных удобрений.

Таблица 45

Влияние удобрений и обработки почвы на накопление воздушно-сухой массы растительных остатков после ячменя, ц/га (2000 г.)

Вариант	Стерня	Корни	Всего свежих остатков	Полуразложившиеся остатки	Разложившиеся остатки	Всего отмерших остатков	Всего растительных остатков
<i>Вспашка</i>							
1. Контроль (без удобрений)	4,5	11,0	15,5	3,0	3,0	6,0	21,5
2. N ₈₀ P ₁₀ K ₁₀₀	5,2	15,0	20,2	2,8	3,1	5,9	26,1
3. P ₁₀ K ₁₀₀ + ас. уд.	5,0	10,0	15,0	3,2	3,3	6,5	21,5
4. N ₈₀ P ₁₀ K ₁₀₀ + ас. уд.	6,1	16,0	22,1	3,3	2,9	6,2	28,3
5. Навоз 20 т/га	6,3	15,6	21,9	4,1	4,3	8,4	30,3
6. Навоз 20 т/га + N ₄₅ P ₁₀ K ₄₀	6,5	16,0	22,5	4,2	4,5	8,7	31,2
7. Навоз 20 т/га + ас. уд. + P ₁₀ K ₄₀	4,7	16,3	21,0	3,9	3,7	7,6	28,6
8. Навоз 20 т/га + N ₄₅ P ₁₀ K ₄₀ + ас. уд.	6,7	18,0	24,7	4,5	5,0	9,5	34,2
<i>Дискование</i>							
1. Контроль (без удобрений)	4,3	11,0	15,3	2,6	3,0	5,6	20,9
2. N ₈₀ P ₁₀ K ₁₀₀	5,3	12,0	17,3	3,3	2,9	6,2	23,5
3. P ₁₀ K ₁₀₀ + ас. уд.	5,4	10,9	16,3	2,6	2,9	5,5	21,8
4. N ₈₀ P ₁₀ K ₁₀₀ + ас. уд.	7,2	14,7	21,9	4,0	4,5	8,5	30,4
5. Навоз 20 т/га	7,4	16,0	23,4	4,3	4,8	9,1	32,5
6. Навоз 20 т/га + N ₄₅ P ₁₀ K ₄₀	7,9	16,8	24,7	4,1	4,4	8,5	33,2
7. Навоз 20 т/га + ас. уд. + P ₁₀ K ₄₀	7,5	16,4	23,9	3,8	4,2	8,0	31,9
8. Навоз 20 т/га + N ₄₅ P ₁₀ K ₄₀ + ас. уд.	8,2	18,8	27,0	5,0	5,3	10,3	37,3

Таблица 46

Влияние удобрений и обработки почвы на накопление растительных остатков после уборки ячменя, ц/га воздушно-сухого вещества (2001 г.)

Вариант	Всего свежих растительных остатков	Стерня	Корни	Полуразложившиеся остатки	Разложившиеся остатки	Всего растительных остатков
<i>Вспашка</i>						
1. Контроль (без удобрений)	23,2	7,3	15,9	2,6	2,8	28,6
2. NPK	34,7	10,9	23,8	2,3	2,7	39,7
3. РК + эпин	47,2	10,0	37,2	3,2	2,5	52,9
4. NPK+ эпин	47,1	11,0	36,1	3,4	2,4	52,9
5. Навоз 20 т/га	27,3	9,0	18,3	4,1	3,9	35,3
6. Навоз + NPK	44,1	9,5	44,6	4,5	4,3	52,9
7. Навоз + эпин	35,6	10,9	24,7	4,3	4,2	44,1
8. Навоз + NPK+ эпин	42,3	9,6	32,7	4,8	4,9	52,0
<i>Дискование</i>						
1. Контроль (без удобрений)	38,3	6,6	31,7	2,8	3,0	44,1
2. NPK	37,4	10,0	27,4	2,7	3,1	43,2
3. РК + эпин	50,7	9,0	41,7	2,5	2,5	55,7
4. NPK+ эпин	38,4	10,0	28,4	3,0	2,7	44,1
5. Навоз 20 т/га	31,9	8,3	23,6	3,8	4,0	39,7
6. Навоз + NPK	36,4	10,5	35,9	3,7	5,0	55,1
7. Навоз + эпин	44,6	11,1	33,5	3,8	4,5	52,9
8. Навоз + NPK+ эпин	31,6	10,9	20,7	3,9	5,1	40,6

Применение навоза в дозе 20 т/га увеличивало массу пожнивных остатков на 6,4 ц/га после вспашки и 8,0 ц/га после дискования по сравнению с вариантом 1 (без удобрений).

Следует отметить, что даже при погодных условиях 2000 г. масса растительных остатков после дискования была выше на 4,2 % в среднем по всем вариантам опыта, чем по вспашке. Особенно разница была заметна в вариантах с совместным внесением навоза и минеральных удобрений.

Результаты исследований 2001 г. (см. табл. 46) показывают, что приемы, повышающие урожайность зерна, однозначно способствуют накоплению растительных остатков в пахотном слое 0–20 см. После вспашки на безнавозном фоне максимальное количество растительных остатков отмечено на фоне РК и NPK в сочетании с ассоциативными удобрениями (52,9 ц/га, в т. ч. свежих 46–47 ц/га). При внесении 20 т/га навоза количество остатков возросло по вспашке по сравнению с контролем на 4,1 ц/га, а при дисковании уменьшилось на 4,4 ц/га.

Следует отметить, что количество свежих корневых и пожнивных остатков в 2001 г. превосходило их массу в 2000 г. на 78 % по вспашке и 88 % по дискованию в среднем по всем вариантам опыта. Эти факты свидетельствуют о большом влиянии на накопление послеуборочных растительных остатков в почве складывающихся погодных условий.

В среднем за два года накопление органических остатков в почве было выше на 5,3 % при дисковании, чем по вспашке.

5.2.4. Накопление корневых и пожнивных остатков под клевером первого года пользования

Исследования 2001–2002 гг., проведенные с клевером красным (табл. 47), показывают, что данная культура, по сравнению с зерновыми (ячмень), однолетними травами и пропашными (картофель), значительно превосходит их по накоплению органических остатков в почве. В первый год пользования клевером их количество достигло 100–115 ц/га на удобренных вариантах, в том числе стерни и корней – 96–110 ц/га. На клевере также отмечается тенденция более высокого накопления стерни и корней при безотвальной обработке почвы. Так, в среднем за 2 года в опыте с оборотом пласта на удобренных вариантах накопление свежих остатков (стерня + корни) составило 95,8–106,2 ц/га, без оборота пласта – 98,8–110,2 ц/га. Накопление свежих органических остатков по всем вариантам опыта было на 6,5% больше при дисковании по сравнению со вспашкой.

Таблица 47

Влияние удобрений и обработки почвы на накопление растительных остатков после уборки клевера красного 1-го года пользования, в среднем за 2001–2002 г., ц/га (воздушно-сухое вещество)

Вариант	Стерня	Корни	Всего свежих растительных остатков	Полуразложившиеся остатки	Разложившиеся остатки	Всего отмерших остатков	Всего остатков
<i>С оборотом пласта</i>							
1. Контроль (без удобрений)	25,0	55,0	80,0	2,2	1,6	3,8	83,9
2. Последействие N + P ₃₀₊₄₀ K ₄₀₊₄₀	27,0	68,8	95,8	2,7	1,8	4,4	100,2
3. P ₃₀₊₄₀ K ₄₀₊₄₀	27,0	69,2	96,2	2,8	1,8	4,6	100,8
4. Последействие N + P ₃₀₊₄₀ K ₄₀₊₄₀	27,7	71,5	99,2	2,9	1,8	4,7	103,9
5. Последействие навоза	28,2	72,1	100,3	3,1	2,2	5,2	105,6
6. Послед. навоза + последействие N + P ₃₀₊₄₀ K ₄₀₊₄₀	28,8	74,2	102,9	3,1	2,2	5,3	108,2
7. Последействие навоза + P ₃₀₊₄₀ K ₄₀₊₄₀	29,5	76,7	106,2	3,3	2,6	5,8	112,0
8. Послед. навоза + последействие N + P ₃₀₊₄₀ K ₄₀₊₄₀	28,4	75,6	104,1	3,2	2,4	5,6	109,6
<i>Без оборота пласта</i>							
1. Контроль (без удобрений)	24,1	76,2	100,3	2,2	1,6	3,8	104,2
2. Последействие N + P ₃₀₊₄₀ K ₄₀₊₄₀	24,0	77,6	101,7	2,6	1,7	4,4	106,0
3. P ₃₀₊₄₀ K ₄₀₊₄₀	25,0	77,8	102,8	2,4	1,7	4,1	107,0
4. Последействие N + P ₃₀₊₄₀ K ₄₀₊₄₀	24,5	74,2	98,8	2,3	1,7	4,0	102,8
5. Последействие навоза	25,8	80,8	106,6	2,4	1,8	4,3	110,6

Окончание табл. 47

Вариант	Стерня	Корни	Всего свежих растительных остатков	Полуразложившиеся остатки	Разложившиеся остатки	Всего отмерших остатков	Всего остатков
6. Послед. навоза + последействие N + P ₃₀₊₄₀ K ₄₀₊₄₀	27,8	81,2	109,0	2,6	2,0	4,6	113,6
7. Последействие навоза + P ₃₀₊₄₀ K ₄₀₊₄₀	26,8	83,5	110,2	2,6	2,1	4,7	115,0
8. Послед. навоза + последействие N + P ₃₀₊₄₀ K ₄₀₊₄₀	25,5	81,2	106,8	2,5	1,9	4,4	111,2

Последействие навоза положительно влияло на накопление растительных остатков как по вспашке, так и по дискованию. Только по дискованию масса свежих органических остатков превосходила на 6,6 ц/га по сравнению с аналогичным вариантом (5) по вспашке.

Самое высокое накопление органического вещества (свежих и полуразложившихся остатков) было в варианте 7 как по вспашке (112 ц/га), так и по дискованию (115 ц/га).

5.2.5. Накопление корневых и пожнивных остатков под клевером второго года пользования

Расчеты проведенных в 2002–2003 гг. исследований (табл. 48) подтвердили ранее выявленную закономерность: более высокое накопление растительных остатков в слое почвы 0–20 см при безотвальной обработке почвы по сравнению со вспашкой. Так, в среднем за 2002–2003 гг. посевом клевера второго года пользования на удобренных вариантах по вспашке было накоплено 109,8–124,8 ц/га сухого вещества растительных остатков. В вариантах с обработкой почвы без оборота пласта уровень этого показателя был несколько выше – 114,5–135,7 ц/га.

Таблица 48

Влияние удобрений и обработки почвы на накопление послеуборочных остатков и корней клевера красного 2-го года пользования, ц/га, в среднем за 2002–2004 гг. (воздушно-сухое вещество)

Вариант	Стерня	Корни	Всего свежих растительных остатков	Полу-разложившиеся остатки	Разложившиеся остатки	Всего отмерших остатков	Всего остатков
<i>С оборотом пласта</i>							
1. Контроль (без удобрений)	12,8	56,5	69,3	15,5	18,5	34,0	103,3
2. Последействие N + P ₃₀₊₄₀ K ₄₀₊₄₀	13,6	64,0	77,6	19,0	20,0	39,0	116,6
3. P ₃₀₊₄₀ K ₄₀₊₄₀	13,2	59,6	72,8	16,5	20,5	37,0	109,8
4. Последействие N + P ₃₀₊₄₀ K ₄₀₊₄₀	14,0	63,5	77,5	17,2	20,6	37,8	115,3
5. Последействие навоза	12,9	61,1	74,0	17,5	19,8	37,3	111,3
6. Послед. навоза + последействие N + P ₃₀₊₄₀ K ₄₀₊₄₀	14,2	65,4	79,6	17,8	22,5	40,3	119,9
7. Последействие навоза + P ₃₀₊₄₀ K ₄₀₊₄₀	14,2	62,0	76,2	18,0	23,5	41,5	117,7
8. Послед. навоза + последействие N + P ₃₀₊₄₀ K ₄₀₊₄₀	14,8	66,5	81,3	18,0	25,5	43,5	124,8

Окончание табл. 48

Вариант	Стерня	Корни	Всего свежих растительных остатков	Полу-разложившиеся остатки	Разложившиеся остатки	Всего отмерших остатков	Всего остатков
<i>Без оборота пласта</i>							
1. Контроль (без удобрений)	12,2	60,0	72,2	14,0	17,8	31,8	104,0
2. Последействие N + P ₃₀₊₄₀ K ₄₀₊₄₀	13,6	66,5	80,1	16,0	20,2	36,2	116,3
3. P ₃₀₊₄₀ K ₄₀₊₄₀	12,0	64,9	76,9	17,2	20,4	37,6	114,5
4. Последействие N + P ₃₀₊₄₀ K ₄₀₊₄₀	12,9	65,6	78,5	17,5	20,5	38,0	116,5
5. Последействие навоза	12,5	68,0	80,5	15,5	23,5	39,0	119,5
6. Послед. навоза + последействие N + P ₃₀₊₄₀ K ₄₀₊₄₀	12,8	70,0	82,8	16,0	25,5	49,5	124,2
7. Последействие навоза + P ₃₀₊₄₀ K ₄₀₊₄₀	13,6	72,1	85,7	20,2	29,8	50,0	135,7
8. Послед. навоза + последействие N + P ₃₀₊₄₀ K ₄₀₊₄₀	13,2	75,0	88,6	20,2	21,0	41,2	129,8

На фоне последействия органического удобрения (вариант 5) посевом клевера 2-го года пользования по вспашке было накоплено 111,3 ц/га растительных остатков, по дискованию – 119,5 ц/га. Самое высокое накопление свежих корневых и пожнивных остатков наблюдалось при последействии навоза и азотных удобрений (вариант 8) как при вспашке, так и при дисковании. Только при дисковании количество растительных остатков было на 7,3 ц/га больше.

Анализ структуры растительных остатков посевом клевера красного 1-го и 2-го годов пользования (табл. 49) показал, что основная масса растительных остатков после уборки клевера 1-го года пользования приходится на свежие растительные остатки (стерня + корни) – 95–96%. На долю разложившихся и полуразложившихся приходится всего 4–5%.

Таблица 49

Влияние систем удобрений и способов обработки почвы на накопление растительных остатков после уборки клевера красного, в среднем за 2 года, ц/га (воздушно-сухое вещество)

Варианты	1-го года пользования (2001–2002 гг.)						2-го года пользования (2002–2003 гг.)					
	Всего свежих остатков (стерня + корни)		Всего отмерших остатков (разложившиеся + полуразложившиеся)		Всего остатков		Всего свежих остатков (стерня + корни)		Всего отмерших остатков (разложившиеся + полуразложившиеся)		Всего остатков	
	ц/га	%	ц/га	%	ц/га	%	ц/га	%	ц/га	%	ц/га	%
<i>Вспашка</i>												
1.	80	96	3,8	4	83,8	100	69	67	34	33	103	100
2.	96	96	4,4	4	100,4	100	78	67	39	33	117	100
3.	96	95	4,6	5	100,6	100	73	66	37	34	110	100
4.	99	96	4,7	4	103,7	100	78	67	38	33	116	100
5.	100	95	5,2	5	105,2	100	74	67	37	33	111	100
6.	103	95	5,3	5	108,3	100	80	67	40	33	120	100
7.	106	95	5,8	5	11,8	100	76	64	42	36	118	100
8.	104	95	5,6	5	109,6	100	81	65	44	35	125	100
<i>Дискование</i>												
1.	100	96	3,8	4	103,8	100	72	69	32	31	104	100
2.	102	96	4,4	4	106,4	100	80	69	36	31	116	100
3.	103	96	4,1	4	107,1	100	77	67	38	33	115	100
4.	99	96	4,0	4	103,0	100	48	67	38	33	116	100
5.	107	96	4,3	4	111,3	100	80	67	39	33	119	100
6.	109	96	4,6	4	113,6	100	83	66	42	34	125	100
7.	110	96	4,7	4	114,7	100	86	63	50	37	136	100
8.	107	96	4,4	4	111,4	100	89	68	41	32	130	100

После уборки клевера 2-го года пользования общая доля отмерших остатков (разложившиеся + полуразложившиеся) возрастала до 31–37 % от общего количества растительных остатков.

Виды обработки почвы так же, как и по другим культурам, оказывали влияние на накопление свежих органических остатков клевера 2-го года пользования. Обработка почвы без оборота пласта увеличивала накопление корневых и пожнивных остатков на 6,8 % в среднем по всем вариантам по сравнению со вспашкой.

По этому виду обработки почвы (дискование) различия сохранились и при учете всех органических остатков (полуразложившиеся и разложившиеся), и они были выше на 4,5 %.

5.2.6. Накопление корневых и пожнивных остатков под посевом озимого тритикале

Результаты исследований 2003 г. показали, что количество растительных остатков после уборки озимого тритикале (табл. 50) зависело от системы удобрения и способа обработки почвы. Так, на вариантах после вспашки общая масса остатков составляла 49,3–57,2 ц/га, а на фоне проведения безотвальной обработки почвы – 46,8–55,1 ц/га, что, по-видимому, связано с различным уровнем урожайности культуры по этим видам обработки.

Таблица 50

Влияние удобрений и способов обработки почвы на накопление послеуборочных остатков в посевах озимого тритикале, ц/га сухой массы (2003 г.)

Вариант	Стерня	Корни	Всего свежих растительных остатков	Полуразложившиеся остатки	Разложившиеся остатки	Всего отмерших остатков	Всего остатков
<i>С оборотом пласта</i>							
1. Контроль (без удобрений)	6,0	37,0	43,0	4,2	2,1	6,3	49,3
2. N ₆₀ +30P ₅₀ K ₉₀	6,9	41,0	47,9	4,0	2,0	6,0	53,9
3. P ₅₀ K ₉₀	6,0	39,0	45,0	3,0	2,0	5,0	50,0
4. N ₆₀ +30P ₅₀ K ₉₀	6,1	40,0	46,1	3,0	2,0	5,0	51,1
5. Последствие навоза (3 год)	7,0	43,0	50,0	3,0	2,0	5,0	55,0
6. Последствие навоза (3 год) + N ₃₀ +30P ₅₀ K ₉₀	7,5	44,0	51,5	3,0	2,0	5,0	56,5

Окончание табл. 50

Вариант	Стерня	Корни	Всего свежих растительных остатков	Полуразложившиеся остатки	Разложившиеся остатки	Всего отмерших остатков	Всего остатков
7. Последействие навоза (3 год) + P ₅₀ K ₉₀	6,5	42,0	48,5	4,0	2,5	6,5	55,0
8. Последействие навоза (3 год) + N ₃₀₊₃₀ P ₅₀ K ₉₀	7,2	45,0	52,2	3,0	2,0	5,0	57,2
<i>Без оборота пласта</i>							
1. Контроль (без удобрений)	5,8	36,0	41,8	3,0	2,0	5,0	46,8
2. N ₆₀₊₃₀ P ₅₀ K ₉₀	6,5	42,0	48,5	4,0	2,0	6,0	54,5
3. P ₅₀ K ₉₀	5,9	42,1	48,0	3,0	2,0	5,0	53,0
4. N ₆₀₊₃₀ P ₅₀ K ₉₀	6,0	41,0	47,0	3,0	2,0	5,0	52,0
5. Последействие навоза (3 год)	6,0	39,0	45,0	3,5	2,0	5,5	50,5
6. Последействие навоза (3 год) + N ₃₀₊₃₀ P ₅₀ K ₉₀	6,5	42,5	49,0	4,0	2,0	6,0	55,0
7. Последействие навоза (3 год) + P ₅₀ K ₉₀	6,8	42,0	48,8	3,5	2,0	5,5	54,3
8. Последействие навоза (3 год) + N ₃₀₊₃₀ P ₅₀ K ₉₀	6,6	43,0	49,6	3,5	2,0	5,5	55,1

Отмечается положительное влияние на данный показатель фосфорно-калийных удобрений, а также навоза и полного минерального удобрения, внесенных под предшествующие культуры. Основную массу растительных остатков по вспашке составляли корни (37–45 ц/га), масса стерни составляла 6,0–7,5 ц/га, полуразложившихся – 3,0–4,2, разложившихся остатков – 2,0–2,5 ц/га. Аналогичная ситуация отмечена на вариантах при проведении безотвальной обработки почвы. Масса послеуборочных остатков составила: 36,0–43,0 ц/га – корни, 5,8–6,8 ц/га – стерневые остатки, 3,0–3,5 – полуразложившиеся и 2,0 ц/га – разложившиеся остатки.

Результаты исследований по видам обработки почвы показали, что по всем вариантам опыта масса корневых и пожнивных остатков при дисковании была на 1,6 % ниже по сравнению со вспашкой при возделывании тритикале.

Выяснение процессов накопления органического вещества, его распада и превращения имеет определяющее значение в агрономической практике.

Таблица 51

Влияние удобрений и способов обработки почвы на накопление корневых и пожнивных остатков (ц/га воздушно-сухого вещества)

Варианты	Картофель 1999–2000 гг.		Ячмень+клевер 2000–2001 гг.		Клевер 1-го года, 2001–2002 гг.	
	Вспашка	Дискование	Вспашка	Дискование	Вспашка	Дискование
1. Без удобрений	29,7	28,7	25,0	32,5	83,9	104,3
2. NPK	34,9	32,9	32,9	33,3	100,3	106,1
3. PK + ас. уд.	31,0	34,8	37,2	38,7	100,8	106,9
4. NPK + ас. уд.	34,2	32,4	40,6	37,3	103,9	102,8
5. Навоз	36,4	25,8	32,8	36,1	105,5	110,6
6. Навоз + NPK	36,1	39,4	42,0	44,2	108,2	113,6
7. Навоз + ас. уд.	36,2	37,0	36,3	42,4	112,1	114,9
8. Навоз + ас. уд. + NPK	37,0	37,0	43,1	39,0	109,6	111,2
Варианты	Клевер 2-го года, 2002–2003 гг.		Озимое тритикале, 2003 г.		Всего за ротацию севооборота	
	Вспашка	Дискование	Вспашка	Дискование	Вспашка	Дискование
1. Без удобрений	103,3	104,0	49,3	46,8	355,0	389,5
2. NPK	116,6	116,3	53,9	54,5	405,6	424,6
3. PK + ас. уд.	109,8	114,5	50,0	53,0	399,2	428,9
4. NPK + ас. уд.	115,3	116,5	51,1	52,0	412,7	419,9
5. Навоз	111,3	119,5	55,0	50,5	421,5	417,9
6. Навоз + NPK	119,9	124,2	56,5	55,0	448,3	459,3
7. Навоз + ас. уд.	117,7	135,7	55,0	54,3	431,6	465,3
8. Навоз + ас. + NPK	124,8	129,8	57,2	55,1	447,2	461,9

Результаты исследований, проведенных на дерново-подзолистой супесчаной почве, по определению влияния систем удобрений (табл. 51) и обработки почвы на накопление и превращение растительных послеуборочных остатков в посевах пелюшко-овсяной

смеси с подсевом райграса однолетнего, убираемых на зеленую массу, картофеля и ячменя, клевера 1-го и 2-го года пользования, озимого тритикале, показали следующее.

1. Минеральные и органические удобрения, а также ассоциативная микрофлора способствуют повышению урожайности и накоплению корневых и пожнивных остатков.

2. Погодные условия оказывают влияние на урожай и массу послеуборочных остатков, особенно райграса однолетнего как промежуточной культуры. Погодные условия оказывают также существенное влияние на разложение растительных остатков в почве. Так, в 1998 г., в условиях с относительным избытком увлажнения, учеты показали нарастающее количество всех растительных остатков (от первого до последнего учета) на 17–60 ц/га после весенней вспашки и 6–30 ц/га после дискования. В условиях засушливого 1999 г. учтенная масса растительных остатков после уборки райграса представляла в основном стерню и корни этой культуры.

3. Формирование растительной послеуборочной массы исследуемых культур в значительной степени определялось способом обработки почвы. Накопление корневых и пожнивных остатков по бесплужной обработке почвы было выше по всем культурам севооборота за исключением картофеля и озимого тритикале. В целом за ротацию севооборота накопление органического вещества при дисковании было на 4,4 % выше по сравнению со вспашкой на контрольном варианте, и с внесением РК + ас. уд. накопление корневых и пожнивных остатков было выше на 9,7–7,4 % по сравнению со вспашкой (см. табл. 51). Вспашка относительно увеличивает нарастание наземной массы, а дискование, наоборот, увеличивает накопление корневых послеуборочных остатков в слое почвы 0–20 см, что связано с глубиной обработки почвы.

4. Важнейшим фактором влияния на отношение сухой массы послеуборочных растительных остатков к отчуждаемой массе урожая в годы проведения исследований явились погодные условия. В 1998 г. с относительным избытком влаги этот показатель составил в среднем после вспашки 29,3 %, после дискования – 35,2 %, а в засушливом 1999 г. он был равен соответственно 60,7 и 63,3 %.

6. ВЛИЯНИЕ БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫХ ПРЕПАРАТОВ НА ДОСТУПНОСТЬ ЦЕЗИЯ-137 РАСТЕНИЯМ ПРИРОДНЫХ ЭКОСИСТЕМ РАДИОАКТИВНО ЗАГРЯЗНЕННЫХ РАЙОНОВ МОГИЛЕВСКОЙ ОБЛАСТИ

Термины, определения, условные обозначения и сокращения:

Загрязнение радиоактивное – присутствие радионуклидов на поверхности, внутри материала, в воздухе, в организме человека и других объектах окружающей среды в количествах, превышающих нормативные уровни.

Радионуклид – радиоактивный атом с данным атомным номером и массовым числом (^{137}Cs , ^{90}Sr и др.).

Активность радиоактивного вещества – число спонтанных распадов радионуклидов в единицу времени.

Беккерель (Бк) – единица радиоактивности в системе СИ, равная одному распаду в секунду, $2,7 \cdot 10^{11}$ Ки.

Кюри (Ки) – внесистемная единица радиоактивности, равная $3,7 \cdot 10^{10}$ Бк.

Удельная (объемная) активность (Бк/кг или Бк/л) – содержание радионуклида в 1 кг (л) исследуемого образца (сено, зеленая масса, жидкость, почва и т. д.).

Плотность загрязнения (Ки/км², кБк/м²) – содержание радионуклида на единице площади почвы.

Цезий-137 (^{137}Cs) – радиоактивный изотоп химического элемента цезия с периодом полураспада 30,2 года. Является как бета-, так и гамма-излучателем. При попадании в организм человека равномерно распределяется в мышцах и внутренних органах. Участвует в формировании дозы внутреннего и внешнего облучения.

Зиверт (Зв) – единица поглощенной дозы в организме, соответствует 1 Дж/кг, долевые единицы: миллизиверт (мЗв) – 1×10^{-3} Зв, микрозиверт (мкЗв) – 10^{-6} Зв.

РДУ-99 – Республиканские допустимые уровни содержания радионуклидов в пищевых продуктах и питьевой воде (ГН 10-117-99), утверждены и введены в действие 26.04.1999 г., действие продлено Постановлением Главного государственного санитарного врача от 16.05.2001 г.

Защитные меры – комплекс специальных мероприятий (организационных, агротехнических, агрохимических, зоотехнических, технологических), направленных на производство продукции с допустимым содержанием радионуклидов.

Актуальность исследований обусловлена тем, что на территории Могилевской области в результате аварии на Чернобыльской АЭС ^{137}Cs загрязнено 1313,2 тыс. га земель, из них на лесные экосистемы приходится 437,2 тыс. га, причем с уровнем радиоактивного загрязнения более 1480 кБк/м² – более 5,1 тыс. га. Одной из задач реабилитации радиоактивно загрязненных территорий является вовлечение в хозяйственную деятельность земель с высокими уровнями радиоактивного загрязнения почв, для чего необходимо разрабатывать комплексы мероприятий, направленных на производство нормативно-чистой продукции. Изучение методов использования биологически активных препаратов в природных экосистемах необходимо, чтобы выявить их влияние на иммобилизацию ^{137}Cs в почве природных экосистем Могилевской области, что позволит оценить возможность разработки мероприятий, направленных на получение минимально радиоактивно загрязненной продукции природных экосистем.

Подобного рода исследования на территории Могилевской области не проводились. Поэтому изучение влияния биологически активных препаратов на иммобилизацию цезия-137 в почве и переход его в растения природных экосистем Чериковского района Могилевской области позволит решить следующие задачи:

- 1) определить накопление ^{137}Cs :
- а) в растительности лесных экосистем Чериковского района Могилевской области при разных уровнях радиоактивного загрязнения почвы;

б) в сопряженных пробах почвы и растительности при проведении обработки биологически активными препаратами радиоактивно загрязненных биогеоценозов Чериковского района Могилевской области;

2) изучить влияние биологически активных препаратов на переход ^{137}Cs из почвы в растения.

В результате исследований получены данные по загрязнению почв и некоторых видов растений, произрастающих в условиях различного уровня радиоактивного загрязнения природных сообществ. Полученные результаты позволят выявить закономерности поведения ^{137}Cs в системе «почва–растение» при применении биологически активных препаратов в условиях различных уровней радиоактивного загрязнения.

Выявлено влияние препаратов Гидрогумат, Экосил и Байкал ЭМ-1 на иммобилизацию ^{137}Cs в почве природных экосистем Могилевской области. Установление статистических зависимостей между аккумуляцией ^{137}Cs в растительных пробах и его подвижностью в почве, а также оценка тенденций к сопряженному варьированию показателей содержания указанного радионуклида в почве и растительных образцах позволило оценить возможность разработки мероприятий, направленных на получение минимально радиоактивно загрязненной продукции природных экосистем.

На основании проведенных исследований можно будет оценить возможность использования при промышленном культивировании лесных травянистых и кустарничковых растений с целью получения нормативно-чистой продукции.

Исследования по использованию биологически активных препаратов в сельском хозяйстве показывают их эффективность в повышении урожайности сельскохозяйственных культур и за счет эффекта «биологического разбавления» – снижение накопления в них радионуклидов. Указанные научные разработки проводились сотрудниками Могилевского филиала РНИУП «Институт радиологии» совместно с УО «Белорусская государственная сельскохозяйственная академия».

Проблемами загрязнения лесных экосистем в Беларуси занимаются Институт леса НАНБ, Институт радиобиологии НАНБ, РНИУП «Институт радиологии», но практически все их работы связаны с загрязнением лесов Гомельской области и Полесского радиационно-экологического заповедника. Контроль плотности поверхностного

загрязнения радионуклидами лесов Беларуси ведет ГУП радиационного контроля и радиационной безопасности «Беллесрад», но в данном случае составляются поквартальные картосхемы загрязнения. Измерение содержания радионуклидов в продукции леса и лесоматериалах, направляемых на переработку и другие хозяйственные нужды, проводится радиологическими лабораториями и постами производственных лесохозяйственных объединений.

Указанными учреждениями не рассматривалась возможность использования биологически активных препаратов в природных сообществах с целью снижения перехода радионуклида в их продуцентную составляющую за счет иммобилизации ^{137}Cs в почве. В состав микробиологического препарата Байкал ЭМ-1 входят симбиотические, анабиотические микроорганизмы, продукты их жизнедеятельности и комплекс биологически активных веществ, повышающие почвенное плодородие за счет интенсификации процессов гумификации, нитрификации и накопления органического вещества почвы и выделяющие соединения, которые стимулируют рост и развитие растений. Регулятор роста растений Гидрогумат – препарат из торфа, состоящий из гуминовых и гуминоподобных кислот (70–80%), биологически активных низкомолекулярных карбоновых кислот (15–20%), аминокислот (4–5%). Регулятор роста растений Экосил содержит биологически активные тритерпеновые кислоты. Эти препараты безвредны для человека, животных, водной фауны, полезных насекомых и почвенной микрофлоры. Процессы, вызываемые указанными препаратами, могут привести к иммобилизации ^{137}Cs в почве и снизить его переход в растения.

6.1. ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Объектами исследований являлась растительность нижнего яруса естественных лесных биогеоценозов Чериковского района Могилевской области, расположенных на загрязненных радионуклидами территориях.

Чериковский район Могилевской области – один из наиболее радиоактивно загрязненных районов Беларуси, где остро стоит проблема радиоактивного загрязнения продукции леса.

Для выполнения исследований использованы следующие методы: полевые эксперименты, лабораторные анализы, а также сравнительно-аналитический метод.

Сделан подбор репрезентативных сообществ, расположенных на территориях с различной плотностью радиоактивного загрязнения по одному при уровне загрязнения 74–185 кБк/м² (3-й выдел 64-го лесного квартала Вепринского лесничества) и 185–555 кБк/м² (9-й выдел 65-го лесного квартала Вепринского лесничества) в Чериковском районе Могилевской области (рис. 19, 20), на территории которых заложены экспериментальные площадки. В среднем по кварталу № 64 плотность загрязнения составляет 85,1 кБк/м², по кварталу № 65 – 392,2 кБк/м².



ЗАГРЯЗНЕНИЕ ЦЕЗИЕМ ПО ЗОНАМ



Рис. 19. Картосхема расположения экспериментальных площадок

Схема проведения экспериментов включает контрольный фон – без обработки биопрепаратами, и двукратное за вегетационный период опрыскивание растений на экспериментальных площадках биопрепаратами Байкал ЭМ-1, Гидрогумат и Экосил при двух уровнях радиоактивного загрязнения. В эксперименте была трехкратная повторность. Площадь делянки – 25 м² (5 м×5 м), площадь варианта – 75 м², повторность трехкратная. Перед и после второй обработки биопрепаратами на указанных участках проведен отбор сопряженных проб растительности (травянистой и кустарничковой и почвы) с каждого участка для проведения анализов удельной активности ¹³⁷Cs.



Рис. 20. Экспериментальная площадка

Байкал ЭМ-1 – микробиологический препарат нового поколения, сочетающий в себе симбиотические, ананобиотические микроорганизмы, продукты их жизнедеятельности и комплекс биологически активных веществ, стимулирующих рост и развитие

растений. Как показала мировая практика его использования, данный препарат весьма эффективен для повышения урожайности сельскохозяйственных культур, снижения уровня их заболеваемости, и, в некоторой степени, для повышения качественных характеристик получаемой продукции.

Регулятор роста растений Гидрогумат – препарат из торфа, состоящий из гуминовых и гуминоподобных кислот (70–80 %), биологически активных низкомолекулярных карбоновых кислот (15–20 %), аминокислот (4–5 %).

Регулятор роста растений с фунгицидными свойствами, индуктор иммунитета растений Экосил – препарат тритерпеновых кислот древесной зелени пихты сибирской [43, 44].

Проведены две обработки в год биопрепаратами Гидрогумат, Байкал ЭМ-1 и Экосил выбранных экспериментальных участков лесных экосистем методом равномерного мелкодисперсного опрыскивания растительности ручным помповым опрыскивателем. Расход рабочей жидкости – 20 см³/м² (200 л/га). Дозы внесения препаратов определены в соответствии с рекомендациями разработчиков и результатами научных исследований по применению используемых препаратов для культурных ягодников: Байкал ЭМ-1 – 0,5 мл/л, Гидрогумат – 0,6 мл/л, Экосил – 0,15 мл/л воды [3–11].

В качестве средства измерений удельной активности ¹³⁷Cs использовались гамма-бета спектрометры МКС-АТ1315 (производства НПУП «Атомтех», Республика Беларусь).

Измерение удельной активности проводилось в соответствии с методикой выполнения измерений МВИ. МН 1181-2007 «Методика выполнения измерений объемной и удельной активности ⁹⁰Sr, ¹³⁷Cs и ⁴⁰K на гамма-бета-спектрометре типа МКС-АТ1315, объемной и удельной активности гамма-излучающих радионуклидов ¹³⁷Cs и ⁴⁰K на гамма-спектрометре типа EL 1309 (МКГ-1309) в пищевых продуктах питания, питьевой воде, почве, сельскохозяйственном сырье и кормах, продукции лесного хозяйства, других объектах окружающей среды». Утверждена директором НПУП «Атомтех» 18.10.2007 г. Согласована Председателем Государственного

комитета по стандартизации Республики Беларусь 16.10.2007 г. Использовались указанные в методике вспомогательные устройства и оборудование. Все применяемые приборы прошли метрологическую аттестацию и имеют действующие свидетельства о государственной поверке.

Для установления размеров перехода цезия-137 и стронция-90 в сельскохозяйственную продукцию использовались коэффициенты накопления (Кн). Расчет коэффициентов производился по формуле: $K_n = \text{удельная активность растительного образца (Бк/кг)} : \text{удельная активность почвы (Бк/кг)}$ [4].

Статистическую обработку полученных результатов проводили методом дисперсионного анализа с использованием стандартного программного обеспечения [32]. В процессе исследований использовались нормативные материалы, результаты ранее проведенных научных исследований.

6.2. РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

6.2.1. Накопление ^{137}Cs растительностью лесных экосистем Чериковского района Могилевской области при разных уровнях радиоактивного загрязнения почвы

Были проведены радиологические обследования нескольких типов естественных лесных биогеоценозов Чериковского района Могилевской области для подбора наиболее репрезентативных сообществ с наибольшей дифференциацией по накоплению радионуклидов в высшей растительности нижнего яруса.

Тип эдафотопы определялся по П. С. Погребняку, формации леса структурировались по И. Д. Юркевичу.

В табл. 52 и 53 представлены результаты проведенных измерений в сопряженных пробах почвы и травянистой растительности, а также почвы и кустарничковой растительности, с учетом типов условий местообитания (эдафотопы).

Таблица 52

Влияние формаций леса на содержание ^{137}Cs в сопряженных пробах почвы и травянистой растительности

Формации леса (по И.Д. Юркевичу)	Эдафотопы (по П.С. Погребняку)					
	В ₂	В ₃	В ₄	В ₂	В ₃	В ₄
	Активность почвы, Бк/кг			Активность растительных проб, Бк/кг		
<i>Плотность загрязнения территорий – 74–185 кБк/м²</i>						
Сосняки	344,0	775,4	832,8	926,7	1318,0	1416,5
Березняки	484,4	648,7	953,5	935,9	1266,6	1722,7
Ельники	588,7	646,8	878,5	946,7	1037,9	1506,3
Осинники	653,5	750,8	972,5	1018,4	1373,3	1755,1
<i>Плотность загрязнения территорий – 370–555 кБк/м²</i>						
Березняки	1051,6	1927,5	1951,0	1655,8	2405,5	2409,9
Ельники	1026,6	1573,1	2265,7	1609,5	2214,3	2546,3
Осинники	1135,6	1518,8	2533,3	1707,5	2211,3	2917,8
Сосняки	1260,3	1296,5	2233,9	2014,9	2054,7	2538,3

Таблица 53

Влияние формаций леса на содержание ^{137}Cs в сопряженных пробах почвы и кустарничковой растительности

Формации леса (по И.Д. Юркевичу)	Эдафотопы (по П.С. Погребняку)					
	В ₂	В ₃	В ₄	В ₂	В ₃	В ₄
	Активность почвы, Бк/кг			Активность растительных проб, Бк/кг		
<i>Плотность загрязнения территорий – 74–185 кБк/м²</i>						
Сосняки	891,6	632,1	667,6	627,7	576,6	487,0
Березняки	987,3	1026,6	467,8	949,7	948,3	829,5
Ельники	1037,6	1162,2	1007,8	794,8	1082,5	532,9
Осинники	610,9	519,9	912,6	868,5	485,7	925,0
<i>Плотность загрязнения территорий 370 – 555 кБк/м²</i>						
Березняки	1279,6	1261,0	1780,6	1869,7	2065,6	4211,4
Ельники	1517,9	1736,6	1392,4	2532,0	2123,1	2536,1
Осинники	1262,0	1424,9	1470,6	2001,4	2104,5	3211,0
Сосняки	1416,6	1158,2	1513,6	2203,6	1829,7	3266,8

Полученные результаты свидетельствуют о значительном варьировании уровня радиоактивного загрязнения почвы и растительности в изучаемых сообществах.

Наблюдается тенденция более сильного накопления ^{137}Cs в растительных образцах, произраставших на более влажных почвах (B_3 – влажные почвы, B_4 – сырые почвы). В травянистой растительности, на свежих (B_2) почвах при плотности радиоактивного загрязнения $74\text{--}185\text{ кБк/м}^2$, наблюдалось большее, по сравнению с кустарничковой растительностью, накопление ^{137}Cs .

Результаты расчетов коэффициентов накопления ^{137}Cs , сделанных на основании проведенных измерений удельной активности в сопряженных пробах почвы и травянистой растительности, а также почвы и кустарничковой растительности соответственно представлены в табл. 54.

Таблица 54

Влияние формаций леса на переход ^{137}Cs в лесную растительность

Ранги формаций	Формации леса (по И. Д. Юркевичу)	Эдафотопы (по П. С. Погребняку)					
		B_2	B_3	B_4	B_2	B_3	B_4
		Кoeffициенты накопления в растительности травянистой			кустарничковой		
<i>Плотность загрязнения территорий – $74\text{--}185\text{ кБк/м}^2$</i>							
1	Березняки	1,9321	1,9525	1,8067	0,9619	0,9237	1,7732
2	Осинники	1,5584	1,8291	1,8047	1,4217	0,9342	1,0136
3	Сосняки	2,6939	1,6998	1,7009	0,7040	0,9122	0,7295
4	Ельники	1,6081	1,6047	1,7146	0,7660	0,9314	0,5288
<i>Среднее</i>		<i>1,9481</i>	<i>1,7715</i>	<i>1,7567</i>	<i>0,9634</i>	<i>0,9254</i>	<i>1,0113</i>
<i>Плотность загрязнения территорий – $370\text{--}555\text{ кБк/м}^2$</i>							
1	Сосняки	1,5987	1,5848	1,1363	1,5556	1,5798	2,1583
2	Березняки	1,5746	1,2480	1,2352	1,4612	1,6381	2,3652
3	Осинники	1,5036	1,4560	1,1518	1,5859	1,4769	2,1835
4	Ельники	1,5678	1,4076	1,1238	1,6681	1,2226	1,8214
<i>Среднее</i>		<i>1,5612</i>	<i>1,4241</i>	<i>1,1618</i>	<i>1,5677</i>	<i>1,4794</i>	<i>2,1321</i>

Анализируя ранги формаций леса по переходу ^{137}Cs из почвы в растительность нижнего яруса, оцениваемые по средним по формации значениям коэффициентов накопления в растительности, следует отметить, что у ельников наблюдались минималь-

ные средние по формации значения коэффициентов накопления, при этом отмечалось сильное их варьирование в зависимости от эдафотопы.

У остальных изученных формаций наблюдалась смена рангов на различных плотностях радиоактивного загрязнения. В частности, березняки сменили ранг с первого по уровню значений коэффициентов накопления ^{137}Cs на фоне $74\text{--}185\text{ кБк/м}^2$ на второй – на фоне $370\text{--}555\text{ кБк/м}^2$, сосняки – с третьего на первый, осинники – со второго на третий соответственно.

Влияние типа эдафотопы на значения коэффициентов накопления ^{137}Cs неоднозначно и зависит от формы растительности. Увеличение степени увлажнения от свежих (B_2) до сырых (B_4) почв незначительно повышает переход ^{137}Cs в травянистую растительность вне зависимости от плотности радиоактивного загрязнения и сильно увеличивает переход в кустарничковую. При этом на более высоком уровне радиоактивного загрязнения переход ^{137}Cs в кустарничковую растительность повышается в зависимости от гидротопы в 1,6–2,1 раза. Кроме того, следует отметить, что максимальные значения коэффициентов накопления ^{137}Cs наблюдаются у кустарничковой растительности на сырых почвах на фоне $370\text{--}555\text{ кБк/м}^2$ в березняках, осинниках и сосняках, несколько ниже – в ельниках [12].

В травянистой растительности, на свежих (B_2), по типу гидротопы, почвах при плотности радиоактивного загрязнения $74\text{--}185\text{ кБк/м}^2$, наблюдался больший, по сравнению с кустарничковой растительностью, переход ^{137}Cs в растения.

Резюмируя, следует отметить, что полученные данные демонстрируют значительное варьирование загрязнения ^{137}Cs травянистой и кустарничковой лесной растительности. Наименьшее значение коэффициентов накопления ^{137}Cs в растительности нижнего яруса в среднем по фонам радиоактивного загрязнения отмечено в еловых лесах.

При плотности радиоактивного загрязнения $370\text{--}555\text{ кБк/м}^2$ переход ^{137}Cs в кустарничковую растительность повышается в зависимости от гидротопы в 1,6–2,1 раза по сравнению с плотностью загрязнения $74\text{--}185\text{ кБк/м}^2$. В то же время при анализе перехода радиоцезия в травянистую растительность можно

наблюдать, что повышение увлажнения почвы не приводит к значительному повышению перехода радионуклида в растения.

Следует отметить неоднозначное влияние эдафических условий на переход ^{137}Cs в лесную растительность нижнего яруса, и поэтому необходимо дальнейшее изучение и решение этих вопросов.

6.2.2. Видовая специфика накопления ^{137}Cs лесной флорой нижнего яруса

Для оценки видовой специфика накопления радионуклидов лесной флорой нижнего яруса были отобраны пробы грибов, вегетирующих травянистых и кустарничковых растений. Результаты спектрометрических анализов аккумуляции ^{137}Cs в различных представителях грибов и растительности нижнего яруса лесных экосистем представлены на рис. 21.

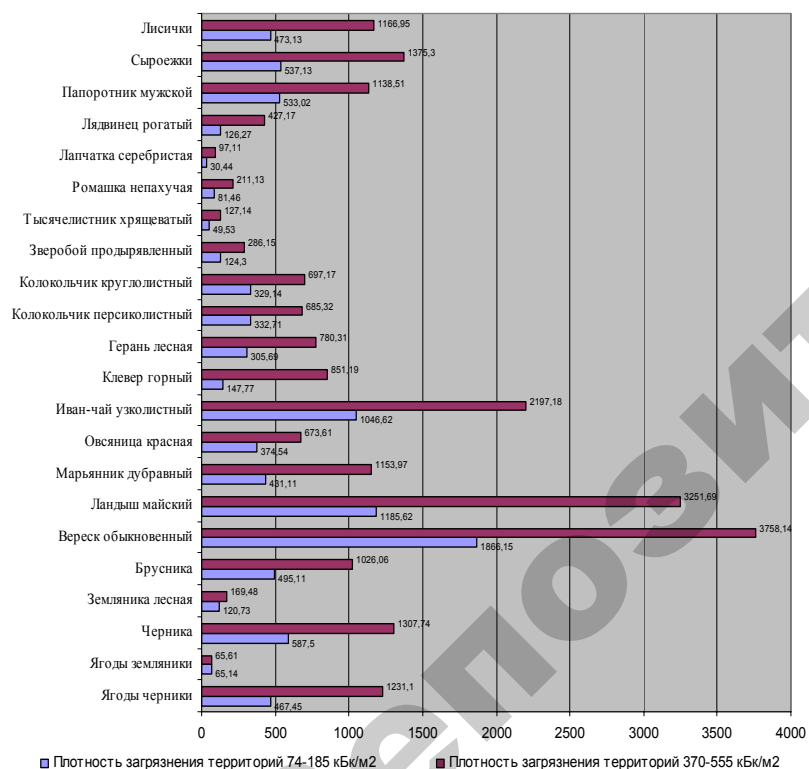


Рис. 21. Видовая специфика накопления ^{137}Cs в лесной флоре нижнего яруса

Полученные результаты свидетельствуют о наличии видовой специфики накопления ^{137}Cs в растительности и существенном влиянии на данный показатель жизненных форм растений. Наименьшая аккумуляция при различных плотностях радиоактивного загрязнения наблюдалась у лапчатки серебристой (*Potentilla argentea* L.), максимальный аккумулянт среди кустарничковой растительности – вереск обыкновенный (*Calluna vulgaris* L.), среди травянистой – ландыш майский (*Convallaria majalis* L.).

Данные показывают, что плотность радиоактивного загрязнения территории в значительной степени детерминирует накопление радионуклидов в различных растительных формах. В то же время на накопление ^{137}Cs в ягодах земляники указанный параметр не оказал значительного воздействия. Установлено, что значительное влияние на накопление ^{137}Cs в растительности и грибах оказывают особенности строения корневой системы растений [92].

6.2.3. Определение форм содержания ^{137}Cs в почве

Изучено содержание доступных и недоступных растениям форм ^{137}Cs , выделенных из почвы. Результаты расчета процентных соотношений содержания в почве экспериментального участка доступных и недоступных растениям форм ^{137}Cs представлены на рис. 22 и 23.

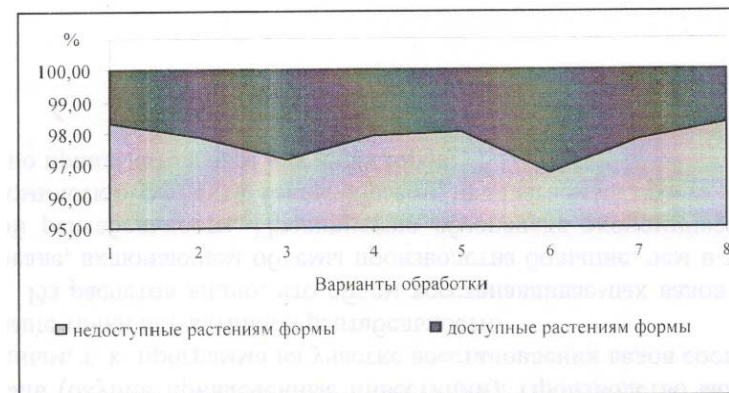


Рис. 22. Соотношение форм содержания ^{137}Cs в почве под травянистой растительностью экспериментального участка

Примечание. Номера вариантов обработки соответствуют нумерации в табл. 55.

Следует отметить, что вне зависимости от плотности радиоактивного загрязнения земель под травянистой растительностью, доступные формы ^{137}Cs в почве были невысокие и составляли от 1,66 до 3,28 %. Однако наблюдаемое значительное накопление ^{137}Cs в растительности может быть связано с тем, что растения выступают аккумуляторами данного радионуклида из-за своих морфофизиологических особенностей.

Анализируя формы содержания ^{137}Cs в почве под кустарничковой растительностью, можно отметить аналогичную картину – доступные формы составляют от 1,79 до 4,31 %.

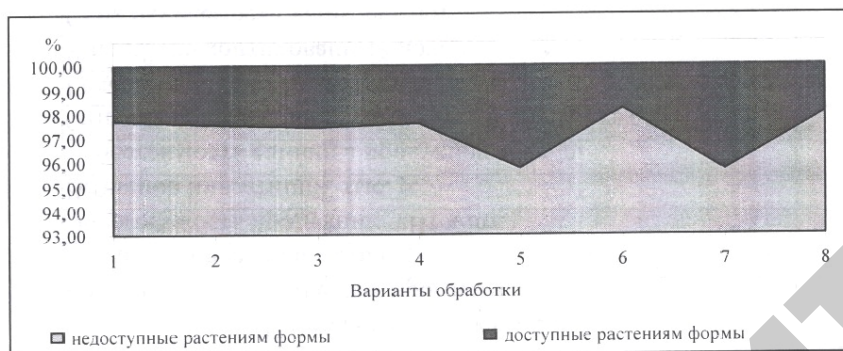


Рис. 23. Соотношение форм содержания ^{137}Cs в почве под кустарничковой растительностью экспериментального участка

Примечание. Номера вариантов обработки соответствуют нумерации в табл. 55.

Таким образом, можно сделать предположение: несмотря на низкий уровень доступных форм ^{137}Cs в почве, происходит его аккумуляция как в кустарничковой, так и в травянистой растительности, что связано с особенностями метаболизма растений [92].

6.2.4. Изучение содержания ^{137}Cs в сопряженных пробах почвы и растительности при проведении обработки биологически активными препаратами

В рамках проведения запланированных исследований в 2008–2009 гг. выполнялись по два отбора сопряженных почвенно-растительных проб (до проведения обработок биопрепаратами и через месяц после повторной обработки).

Выполнены спектрометрические анализы содержания цезия-137 в сопряженных почвенно-растительных пробах, отобранных на выбранных опытных участках до и после обработки биопрепаратами. В табл. 55 и 56 представлены усредненные результаты проведенных измерений в сопряженных пробах почвы и травянистой растительности, а также почвы и кустарничковой растительности соответственно, отобранных в 2008 г.

Таблица 55

Влияние биологически активных препаратов на переход ^{137}Cs в травянистую растительность лесных экосистем (отобранных в 2008 г.)

Вариант опыта	Активность почвы, Бк/кг		Активность растительных проб, Бк/кг	
	До обработки	После обработки	До обработки	После обработки
<i>Плотность загрязнения территорий – 74–185 кБк/м²</i>				
1. Контроль	1452,3	362,4	1258,0	2365,8
2. Байкал ЭМ-1	1115,3	491,2	1177,0	2113,8
3. Гидрогумат	851,98	264,3	1591,0	1749,7
4. Экосил	975,8	560,3	1262,0	1395,1
<i>Плотность загрязнения территорий – 370–555 кБк/м²</i>				
5. Контроль	1419,0	608,5	2233,0	1315,5
6. Байкал ЭМ-1	1235,0	382,6	2625,0	2252,3
7. Гидрогумат	1251,9	403,8	1978,0	3013,1
8. Экосил	1485,7	255,5	1361,0	1434,7
НСР ₀₅	81,5		73,3	

Таблица 56

Влияние биологически активных препаратов на переход ^{137}Cs в кустарничковую растительность лесных экосистем (отобранных в 2008 г.)

Вариант опыта	Активность почвы, Бк/кг		Активность растительных проб, Бк/кг	
	До обработки	После обработки	До обработки	После обработки
<i>Плотность загрязнения территорий – 74–185 кБк/м²</i>				
1. Контроль	1159,8	265,1	1038,7	3091,8
2. Байкал ЭМ-1	1939,2	829,2	784,8	2007,5
3. Гидрогумат	1488,8	226,8	803,4	1795,5
4. Экосил	1378,8	316,0	759,7	3845,1
<i>Плотность загрязнения территорий – 370–555 кБк/м²</i>				
5. Контроль	730,4	467,4	2525,6	1071,4
6. Байкал ЭМ-1	1549,0	476,2	2982,3	834,8
7. Гидрогумат	1863,4	268,2	1877,7	1930,1
8. Экосил	881,5	253,2	2032,4	1059,2
НСР ₀₅	88,1		132,7	

Следует отметить, что в связи с большой пестротой загрязнения участков радиоцезием данные, полученные при спектрометрии отобранных проб, неоднозначны. В то же время наблюдается накопление радиоцезия растениями за вегетационный период, что связано с особенностями их метаболизма.

6.2.5. Коэффициенты накопления и коэффициенты перехода ^{137}Cs в лесную растительность

Коэффициенты накопления ^{137}Cs , рассчитанные на основании спектрометрических измерений удельной активности сопряженных почвенных и растительных проб, отобранных в 2008 г., приведены в табл. 57.

Полученные в 2008 г. и представленные в табл. 57 данные о коэффициентах перехода подтверждают ранее указанные наблюдения об эффективности использования микробиологических препаратов

Экосил и Байкал ЭМ-1 для снижения перехода радионуклидов в лесные растения.

Таблица 57

Влияние биологически активных препаратов на коэффициенты перехода ^{137}Cs в растительность лесных экосистем в 2008 г.

Вариант опыта	Формы растительности	
	травянистая	кустарничковая
<i>Плотность загрязнения – 74–185 кБк/м²</i>		
Контроль (без обработки)	0,0218	0,0438
Байкал ЭМ-1	0,0143	0,0114
Гидрогумат	0,0221	0,0397
Экосил	0,0083	0,0306
<i>Плотность загрязнения – 370–555 кБк/м²</i>		
Контроль (без обработки)	0,0072	0,0093
Байкал ЭМ-1	0,0196	0,0051
Гидрогумат	0,0249	0,0143
Экосил	0,0187	0,0126
НСР ₀₅	0,0011	0,0009

Оценивая коэффициенты перехода, следует отметить их значительное варьирование от 0,0051 до 0,0438, в то же время меньшие их значения характерны для кустарничковой растительности на фоне 370–555 кБк/м², при этом они достоверно ниже, чем на фоне 74–185 кБк/м².

В табл. 58 указаны коэффициенты перехода ^{137}Cs в травянистую и кустарничковую растительность нижнего яруса лесных экосистем, рассчитанные по результатам отбора проб в 2009 г.

Анализ представленных данных показывает, что описываемый показатель при плотности радиоактивного загрязнения 74–185 кБк/м² варьирует от 0,0031 до 0,0084 у травянистой растительности и от 0,0062 до 0,0196 у кустарничковой. При плотности радиоактивного загрязнения 370–555 кБк/м² данный параметр у травянистой растительности находился в диапазоне от 0,0037 до 0,0125, кустарничковая растительность имела его значения от 0,0044 до 0,0183.

Таблица 58

Влияние биологически активных препаратов на коэффициенты перехода ^{137}Cs в растительность лесных экосистем в 2009 г.

Препарат	Формы растительности			
	травянистая		кустарничковая	
	Весенний отбор	Осенний отбор	Весенний отбор	Осенний отбор
<i>Плотность загрязнения – 74–185 кБк/м²</i>				
Контроль (без обработки)	0,0079	0,0084	0,0115	0,0108
Байкал ЭМ-1	0,0047	0,0048	0,0196	0,0090
Гидрогумат	0,0061	0,0065	0,0098	0,0069
Экосил	0,0031	0,0042	0,0102	0,0062
<i>Плотность загрязнения – 370–555 кБк/м²</i>				
Контроль (без обработки)	0,0063	0,0060	0,0052	0,0096
Байкал ЭМ-1	0,0042	0,0037	0,0044	0,0119
Гидрогумат	0,0048	0,0125	0,0047	0,0183
Экосил	0,0039	0,0037	0,0055	0,0052
НСР ₀₅	0,0011		0,0013	

Представленные в табл. 58 данные подтверждают ранее сделанные выводы об эффективности использования микробиологических препаратов Экосил и Байкал ЭМ-1 для снижения перехода радионуклидов в лесные растения.

Наибольшее, по сравнению с контролем, влияние на снижение перехода радионуклидов в травянистую растительность при плотности радиоактивного загрязнения 74–185 кБк/м² оказала обработка растений микробиологическим препаратом Байкал ЭМ-1, в кустарничковую – Байкал ЭМ-1 и Экосил.

При плотности радиоактивного загрязнения 370–555 кБк/м² достоверное снижение изучаемого параметра у травянистой растительности по сравнению с контролем дали обработки препаратами Байкал ЭМ-1 и Экосил, у кустарничковой растительности – только Экосил.

Таким образом, можно сделать заключение, что биологически активные препараты Байкал ЭМ-1 и Экосил оказывают влияние на снижение перехода ^{137}Cs из почвы в растения [75, 76].

6.2.6. Оценка зависимости между аккумуляцией ^{137}Cs в растительных пробах и его подвижностью в почве, показателей содержания радионуклида в почве и растительных образцах

В табл. 59 и 60 приведены результаты корреляционного анализа изучаемых показателей.

Таблица 59

Корреляционный анализ показателей содержания ^{137}Cs в почве и растительных образцах при плотности загрязнения 74–185 кБк/м²

Наименования признаков	Значения коэффициента корреляции
1. Активность растительных образцов – содержание доступных форм ^{137}Cs в почве	0,175
2. Удельная активность почвы до и после обработки биопрепаратами	0,019
3. Удельная активность почвы и травянистых растений до обработки биопрепаратами	0,941
4. Удельная активность почвы и травянистых растений после обработки биопрепаратами	0,589
5. Удельная активность почвы и кустарничковых растений до обработки биопрепаратами	0,811
6. Удельная активность почвы и кустарничковых растений после обработки биопрепаратами	0,475

Оценивая представленные в табл. 59 результаты, можно отметить, что зависимость между активностью растительных образцов и содержанием доступных форм ^{137}Cs в почве незначительная. В то же время наблюдается тенденция к снижению уровня сопряженного варьирования признаков содержания ^{137}Cs в почве и растительных образцах после применения биологически активных препаратов, что подтверждает гипотезу об их влиянии на переход ^{137}Cs из почвы в растение.

Анализ данных, представленных в табл. 60, подтверждает ранее высказанное предположение о наличии слабой зависимости между содержанием доступных форм ^{137}Cs в почве и его аккумуляцией растительными образцами. Кроме того, наблюдается аналогичная картина по уменьшению уровня сопряженного варьирования между удельной активностью почвы и растительных образцов после обработки биологически активными препаратами.

Таблица 60

Корреляционный анализ показателей содержания ^{137}Cs в почве и растительных образцах при плотности загрязнения 370–555 кБк/м²

Наименования признаков	Значения коэффициента корреляции
1. Активность растительных образцов – содержание доступных форм ^{137}Cs в почве	0,270
2. Удельная активность почвы до и после обработки биопрепаратами	0,042
3. Удельная активность почвы и травянистых растений до обработки биопрепаратами	0,503
4. Удельная активность почвы и травянистых растений после обработки биопрепаратами	0,206
5. Удельная активность почвы и кустарничковых растений до обработки биопрепаратами	0,719
6. Удельная активность почвы и кустарничковых растений после обработки биопрепаратами	0,318

Таким образом, можно сделать вывод о наличии слабой зависимости между активностью растительных образцов и содержанием доступных форм ^{137}Cs в почве, а также о значительном уменьшении уровня сопряженного варьирования между удельной активностью почвы и растительных образцов после обработки биологически активными препаратами.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Химико-техногенная интенсификация сельскохозяйственного производства привела к ухудшению качества водных ресурсов, продуктов питания, загрязнению и деградации почв, обеднению биогеоценозов. И, как следствие, затраты на поддержание нужного для человека уровня производства сельскохозяйственной продукции с каждым годом возрастают, а отдача от вложенного капитала уменьшается. Сельскохозяйственная отрасль, базирующаяся на использовании даровой энергии Солнца, оказалась в числе ресурсорасточительных и природоопасных.

В монографии анализируются причины негативного антропогенного воздействия на почву и окружающую среду. В результате проведенных исследований и обобщения данных других авторов установлено снижение численности плесневых грибов на всех вариантах опыта в севообороте при обработке почвы с оборотом пласта (на 2,6–42,0 %) по сравнению с обработкой почвы без оборота пласта. Уменьшение содержания микроскопических грибов является одним из наиболее серьезных нарушений в составе почвенной биоты. Грибы – основные разрушители органического вещества и главные агенты процесса гумусообразования, так как основное цементирующее звено – гуминовые кислоты – образуются при значительном участии грибов. Это приводит к быстрой минерализации гумуса, изменению физической структуры почвы, снижению ее плодородия в целом и нарушению круговорота веществ. Особенно если учесть, что биомасса грибов составляет 85–90 % от суммарной биомассы микроорганизмов, а длина грибного мицелия достигает 600–900 м/г почвы. При вспашке грибы из мицелиальной формы переходят в споровую, тем самым нарушается связь литосферы с фитоценозами, которая осуществлялась через мицелий грибов.

Можно констатировать, что дано теоретическое обоснование обработки почвы и негативного воздействия вспашки на естественное воспроизводство плодородия почвы.

Учитывая огромную роль биологического фактора в формировании и регулировании воспроизводства плодородия почвы, предлагается классифицировать почвы не только по физико-химическим свойствам и типам почвообразования, но и с учетом микробиологического пейзажа.

Выявлена высокая биологическая активность почвы целинного аналога. Содержание свободных аминокислот в почве целинного аналога было в 1,3 раза выше, содержание аминного азота – в 1,2 раза по сравнению с почвой опытного поля. Активность ферментативных процессов была выше соответственно по инвертазе в 2,8 раза, фосфатазе – 3,0, протеазе – 3,9, каталазе – 14,2, полифенолоксидазе – 1,9, пероксидазе – 1,47 раза.

Установлены положительные корреляционные связи между урожайностью и количеством почвенных бактерий ($r = 0,76$), между целлюлозоразрушающей способностью почвы и способом обработки почвы, между количеством бактерий и активностью ферментов группы оксиредуктаз ($r = 0,51-0,75$).

Предложены высокопродуктивные агрофитоценозы, позволяющие увеличивать на 50 % продуктивность надземной массы и накапливать значительное количество корневых и пожнивных остатков в почве (3,83–4,46 т/га сухого вещества), что позволяет поддерживать положительный баланс гумуса с наименьшими затратами труда и средств. Продолжительность использования вегетационного периода увеличивается с 39,8 до 90,8 %.

Установлена самая эффективная система удобрений – органо-минеральная с применением микробиологических препаратов. Сбор кормовых единиц за ротацию севооборота превышал контрольный вариант на 26 % (с оборотом пласта) и 28 % (без оборота пласта).

Поскольку природные системы устойчивы, продуктивность их со временем не падает, а возрастает, и они способны к саморегуляции в течение длительного времени, то с учетом этого предлагается новая система земледелия, основанная на биогеоценологических принципах, в названии которой раскрывается внутренний механизм более высокой эффективности новой системы земледелия.

В связи с этим необходимо более глубоко изучать механизмы управления биогеоценологическими процессами в природе и на их основе разрабатывать технологии возделывания сельскохозяйственных культур, которые бы соответствовали биосферным процессам, а не противоречили им. На этих принципах будет базироваться стратегия сельского хозяйства будущего, основанного на повышении общей продуктивности с наименьшими затратами без подрыва производительной силы земли с обеспечением высокой стабильности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Агрικультура в памятниках западного средневековья. – М.-Л. : Изд-во АН СССР, 1936.
2. Азаров Б. Ф. Симбиотический азот в земледелии Центрально-Черноземной зоны Российской Федерации : автореф. дис. ... д-ра с.-х. наук. – М., 1995.
3. Ананьева Н. Д. Микробиологическая оценка почв в связи с самоочищением от пестицидов и устойчивостью к антропогенным воздействиям : автореф. дис. ... на соиск. учен. степ. д-ра биол. наук [Институт физ.-хим. и биол. проблем почвоведения РАН]. – М., 2001.
4. Андрианов Б. В. Земледелие наших предков. – М. : Наука, 1978.
5. Анненков Б. Н., Аверин В. С. Ведение сельского хозяйства в районах радиоактивного загрязнения (радионуклиды в продуктах питания). – Минск : ПроPILEI, 2003.
6. Аристовская Т. В. Микробиология процессов почвообразования. – Л. : Наука, 1980.
7. Асеева И. В., Умарова М. М. Свободные аминокислоты. – М. : МГУ, 1979.
8. Багаутдинов Ф. Я., Хазиев Ф. Х., Гарипов Т. Т. Гумусное состояние некоторых почв Южного Урала и приемы его регулирования // Почвоведение. – 1997. – № 9.
9. Балаян Т. В. Биологическая активность дерновоподзолистой почвы и урожай сельскохозяйственных культур // Почвоведение. – 1993. – № 12.
10. Бамбалов Н. Н. Состав негидролизующего остатка торфяных почв // Почвоведение. – 1993. – № 8.
11. Бардышев М. А., Павловская Г. А., Яцевич В. А. Ферментативная активность и азотно-фосфорный режим дерново-подзолистой супесчаной почвы // Проблемы экспериментальной ботаники. – Минск : Беларус. наука, 1977.
12. Бартольд В. В. К истории орошения Туркестана // Зап. ВОРАО. – СПб, 1914. – Т. XIX.

13. Берестецкий О. А., Возняковская Ю. М. Влияние растительных остатков на почвенно-микробиологические процессы в полях севооборота // Роль микроорганизмов в с.-х. производстве. – 1983. – Т. 53.

14. Берестецкий О. А., Зубец Т. Г. Влияние сельскохозяйственных культур на численность микрофлоры и биологическую активность дерново-подзолистой почвы // Почвоведение. – 1981. – № 1.

15. Бернал Дж. Наука в истории общества / пер. с англ. – М. : Изд-во иностр. лит., 1956.

16. Богдевич И. М. [и др.]. Электронная база данных агрохимических и радиологических свойств почв и ее использование в Республике Беларусь // Междунар. аграр. журн. – 2000. – № 12.

17. Булавин Л. А. Агрономические аспекты адаптивной интенсификации земледелия : автореф. дис. ... на соиск. учен. степ. д-ра с.-х. наук. – Жодино, 2001.

18. Вавуло Ф. П. Микрофлора основных типов почв БССР и их плодородия. – Мн. : Ураджай, 1972.

19. Ваксман С. А. Гумус: происхождение, химический состав и значение его в природе / пер. с англ. – М. : Сельхозгиз, 1937.

20. Валько В. П. Сельскому хозяйству – биогеоценологическую основу // Наука – производству : материалы 2-й Междунар. конф. – Гродно, 1998.

21. Валько В. П. К вопросу обработки почвы и ее плодородия // Наука – производству : материалы 3-й Междунар. конф. – Гродно, 1999.

22. Валько В. П. Влияние удобрений и способов обработки почвы на численность и групповой состав микробных сообществ в дерново-подзолистой супесчаной почве // Междунар. аграр. журн. – 2001. – № 7.

23. Валько В. П. Эффективность возделывания многоукосных смесей с использованием райграса однолетнего // Вопросы агротехники, семеноводства и селекции полевых культур. – Жодино, 1982. – Вып. 3.

24. Вильямс В. Р. Общее земледелие с основами почвоведения. – М. : Новый агроном, 1931.

25. Вильямс В. Р., Савинов Н. И. Перегнойные вещества и теория питания растений в науке XVI–XIX столетий // В. Р. Вильямс. Собр. соч. Т. 3. – М. : Сельхозгиз, 1953.

26. Гаврилкина Н. В., Апанасенко Г. А. Деятельность микроорганизмов и состав свободных аминокислот в торфяно-болотных и минеральных почвах. – Мн. : Наука и техника, 1974.

27. Гилярова М. С. Зоологический метод диагностики почв. – М. : Наука, 1965.

28. Голоха В. В. Изменение биологической активности чернозема оподзоленного тяжелосуглинистого в многолетнем стационарном опыте с удобрениями : автореф. дис. ... на соиск. учен. степ. канд. с.-х. наук. – Л. : Пушкин, 1979.

29. Гончаров Н. Ф., Попов А. В., Митина Н. Г. Способы использования и биологическая активность почвы // Совершенствование технологических средств и технологий возделывания с.-х. культур : материалы науч.-практ. конф., Курск, 1–4 февраля 1994. – Курск, 1995.

30. Добровольский Г. В. Сохранение почв и их плодородия – важнейшая экологическая проблема XXI века // Почвы и их плодородие на рубеже столетий : материалы II съезда белорус. общества почвоведов. – Минск, 2001. – Кн. 1.

31. Докучаев В. В. Русский чернозем. Отчет Вольному экономическому обществу. – СПб., 1883.

32. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). – 5-е изд., доп. и перераб. – М. : Агропромиздат, 1985.

33. Елсуков М. П., Шишкин А. И. Райграсс однолетний : Однолет. кормов. культуры. – М., 1954.

34. Ефремов А. Л. Зонально-типологический анализ биогенных процессов в почвах сосновых лесов Беларуси : автореф. дис. ... д-ра биол. наук. – Минск, 1999.

35. Ефремов А. Л. Биологическая активность и динамика разложения аппликационных материалов в почвах лесных биогеоценозов в связи с их радионуклидным загрязнением // Почвоведение. – 1999. – № 10.

36. Ефремов А. Л. Состав и содержание свободных аминокислот в почвах мелколиственных лесов Припятского Полесья // Почвоведение. – 1987. – № 6.

37. Жукова И. И. Появление водной эрозии почв в Центральной почвенно-эрозионной зоне Беларуси // Междунар. аграр. журн. – 1999. – № 7.

38. Захаров С. А., Профессор П. С. Коссович как ученый и учитель // Русский почвовед. – 1915. – № 11, 12.

39. Звягинцев Д. Г. Биология почв и их диагностика // Проблемы и методы биолог. диагностики и индикации почв. – М. : Наука, 1976.

40. Звягинцев Д. Г. Почва и микроорганизмы. – М. : МГУ, 1987.

41. Звягинцев Д. Г., Голимбет В. Е. Динамика численности, биомассы и продуктивности микробных сообществ в почвах // Успехи микробиологии. – М. : Наука, 1983. – Т. 18.

42. Зименко Т. Г., Гаврилкина Н. В., Ревинская Л. С. Взаимосвязь между деятельностью микроорганизмов и содержанием свободных аминокислот в торфяно-болотных почвах // Использование микроорганизмов и их метаболитов в народном хозяйстве. – Мн. : Наука и техника, 1973.

43. Ивьев Н. М., Скуро Т. П., Любян Ж. К. ЭМ-технологии: проблемы и решения. – Улан-Уде : Издательство Бурятского университета, 2003.

44. Инновационные разработки Белорусской государственной сельскохозяйственной академии / авт.-сост. А. Р. Цыганов, М. В. Шалак, В. М. Лившиц. – Могилев, 2005.

45. История плодородия почв. Учение о перегное почв в XIX веке. – М.-Л. : Изд-во АН СССР, 1940. – Ч. 1.

46. Кадыров М. А. Стратегия экономически целесообразной адаптивной интенсификации системы земледелия Беларуси. Институт земледелия и селекции НАН Беларуси. – Минск : В.И.З.А., 2004.

47. Кант Г. Земледелие без плуга. – М. : Колос, 1980.

48. Корягина Л. А. Микробиологические основы повышения плодородия почв. – Минск : Наука и техника, 1983.

49. Корягина Л. А. Свободные аминокислоты как показатель обеспеченности почвы подвижным азотом // Использование микроорганизмов и их метаболитов в народном хозяйстве. – Мн. : Наука и техника, 1973.

50. Катон, Варрон, Колумелла, Плиний. О сельском хозяйстве / под ред. М. И. Бурского. – М.-Л. : Сельхозгиз, 1937.

51. Кирюшин В. И. Экологические основы земледелия. – М. : Колос, 1996.

52. Ковда В. А. Основы учения о почвах. – М. : Наука, 1973. – Кн. 1, 2.

53. Комисаров И. Обработка почвы и трансформация органического вещества в ней // Проблемы земледелия. – М. : Колос, 1978.

54. Комов И. М. О земледелии. 2-е изд. – М., 1989.

55. Кононова М. М. Органическое вещество почвы. – М. : Изд-во АН СССР, 1963.

56. Крупеников И. А. Севергин В. М. и его роль в истории почвоведения // Почвоведение. – 1952. – № 7.

57. Крупеников И. А. История почвоведения. – М. : Наука, 1981.

58. Кукреш Л. В., Лукашевич Н. П., Брагинец З. Я. Высокобелковые зернофуражные смеси // Пути повышения урожайности полевых культур. – 1990. – Вып. 21.

59. Кулаковская Т. Н. Почвенно-агрохимические основы получения высоких урожаев. – Мн. : Ураджай, 1978.

60. Мальцев Т. С. Система безотвального земледелия. – М. : Агропромиздат, 1988.

61. Манжосов В. Г., Маймусов В. Н. Изменение целлюлолитической способности дерново-подзолистой почвы при ее обработке и удобрении // Почвоведение. – 1993. – № 5.

62. Манжосов В. П., Маймусов В. Н. Нитрификационная способность дерново-подзолистой почвы и урожайность полевых культур // Почвоведение. – 1993. – № 8.

63. Марфенина О. Е., Мирчинк Т. Г. Микроскопические грибы при антропогенном воздействии на почву // Почвоведение. – 1988. – № 9.

64. Михновский В. К. Эффективность некоторых приемов углубления пахотного слоя дерново-подзолистых почв : автореф. дис. ... на соиск. учен. степ. канд. с.-х. наук / Акад. наук СССР. Почв. ин-т им. В. В. Докучаева. – М., 1954.

65. Мишустин Е. Н. Ассоциации почвенных микроорганизмов. – М. : Наука, 1975.

66. Мишустин Е. Н. Ценозы почвенных микроорганизмов // Почвенные организмы как компоненты биогеоценоза. – М. : Наука, 1984.

67. Мишустин Е. Н. Ассоциации почвенных микроорганизмов. – М. : Наука, 1975.

68. Мишустин Е. Н. Предисловие к сб. научн. тр.: Экология и земледелие. – 1980.

69. Никитин Е. Д. Берегите почву. – М. : Знание, 1990.

70. Никитина З. И. Микробиологический мониторинг наземных экосистем. – Новосибирск : Наука. Сиб. отд-ние, 1991.

71. Никончик П. И. Интенсивное использование пашни. – Мн. : Ураджай, 1995.

72. Пейве Я. В. Биохимия почв. – М. : Сельхозгиз, 1961.

73. Полянская Л. М., Гейдефехт В. В., Звягинцев Д. Г. Биомасса грибов в различных типах почв // Почвоведение. – 1995. – № 5.

74. Привалов Ф. И. Актуальные проблемы устойчивого развития земледелия Беларуси // Белорусское сельское хозяйство. – 2008. – № 9.

75. Применение diaзотропных и фосфатмобилизующих бактериальных препаратов при возделывании основных сельскохозяйственных культур : рекомендации для колхозов, совхозов и фермерских хозяйств / под ред. Т. Ф. Персиковой. – Горки, 2003.

76. Применение регуляторов роста растений при возделывании основных сельскохозяйственных культур : рекомендации для колхозов, совхозов и фермерских хозяйств / под ред. И. Р. Вильдфлуша. – Горки, 2002.

77. Шлапунов В. Н. [и др.]. Райграсс однолетний : рекомендации. – Мн. : Ураджай, 1980.

78. Санковский В. И. Чизельная обработка почв и урожай. – Мн. : Ураджай, 1989.

79. Севернев М. М. Интенсификация сельскохозяйственного производства и материально-энергетические ресурсы Беларуси. – Мн., 1989.

80. Симченко Г. В. Совершенствование обработки почвы в Белоруссии // Земледелие. – 1991. – № 12.

81. Симченко Д. Г. Влияние приемов основной обработки на плодородие почвы // Науч. тр. по земледелию и растениеводству / БелНИИЗК. – 1999. – Вып. 36.

82. Титлянова А. А., Терсажова М. Режимы биологического круговорота. – Новосибирск : Наука. Сиб. отд-е, 1991.

83. Уголев А. Н. Теория адекватного питания. – Л. : Наука, 1991.

84. Фолкнер Э. Безумие пахаря. – М. : Сельхозиздат, 1959.

85. Шенявский А. Л. «Минимальная», «нулевая» и другие способы обработки почвы : обзорн. информ. – М., 1965.

86. Шикун Н. К., Назаренко Г. В. Минимальная обработка черноземов и воспроизводство их плодородия. – М. : Агропромиздат, 1990.

87. Шлапунов В. Н. Полевое травосеяние // Сел. хоз-во Белоруссии. – 1978. – № 3.

88. Шофман Л. И. Однолетние кормовые культуры в составе смесей. – Мн., 1997.

89. Ярилов А. А. Что дал науке о почве М. В. Ломоносов. – Учен. зап. МГУ. Юбилейн. сер. – 1940. – Вып. VI.

90. Hubner R., Ruff D., Wagner F., 1976.

91. Macpherson I. The wasted three year Zeu // Big farm management. – 1977. – September.

92. Wallerius I. Agricultural fundament chemica. – Uppsala, 1761.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	3
1. ПРОБЛЕМЫ СОВРЕМЕННОГО СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА	5
2. НАУЧНОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПОВЫШЕНИЯ ПЛОДОРОДИЯ ПОЧВЫ НА БИОГЕОЦЕНОТИЧЕСКИХ ПРИНЦИПАХ.....	15
2.1. Теоретическое обоснование изменения плодородия почвы	16
2.1.1. Роль почвенной биоты в воспроизводстве плодородия почвы	20
2.1.2. Роль новых почвенных биотехнологий в повышении плодородия почвы	28
2.1.3. Микробиологические методы определения потребности почвы в удобрениях.....	33
2.1.4. Определение фитопатогенов в почве	34
2.1.5. Классификация почв с учетом микробного пейзажа.....	35
2.2. Роль системы земледелия в поддержании и воспроизводстве почвенного плодородия	36
2.2.1. Концептуальные основы новой системы земледелия на биогеоценотических принципах	38
2.2.2. Основные черты новой системы земледелия на биогеоценотических принципах	44
3. ОБРАБОТКА ПОЧВЫ В СИСТЕМЕ ЗЕМЛЕДЕЛИЯ.....	47
3.1. Обработка почвы в России и Западной Европе в начале XX века.....	47

3.2. Развитие теоретических основ обработки почвы без оборота пласта (на основе работ российских авторов).....	51
3.3. Обработка почвы в системе земледелия США (1960–1980 гг.).....	56
3.4. Обработка почвы в Беларуси.....	59
4. БИОЛОГИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ ПОЧВЫ КАК ПОКАЗАТЕЛЬ ЭФФЕКТИВНОГО ПЛОДОРОДИЯ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ СПОСОБАХ ОБРАБОТКИ ПОЧВЫ И ВИДАХ УДОБРЕНИЙ.....	70
4.1. Состав, значение и особенности почвенной микрофлоры.....	72
4.2. Влияние способов обработки почвы и внесения удобрений на численность и состав микроорганизмов.....	75
4.3. Влияние способов обработки почвы и внесения удобрений на ферментативную активность почвы.....	90
4.4. Влияние способов обработки почвы и удобрений на содержание свободных аминокислот.....	108
4.5. Нитрификация.....	119
4.6. Целлюлозолитическая активность.....	128
5. ОПТИМИЗАЦИЯ ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА ПОЧВ КАК ГЛАВНОГО ФАКТОРА ПОЧВЕННОГО ПЛОДОРОДИЯ.....	134
5.1. Влияние многоукосных бобово-злаковых смесей с подсевом райграса однолетнего на накопление корневых и пожнивных остатков, содержание в них азота, на структуру почвы.....	136
5.2. Влияние удобрений и видов обработки почвы на накопление корневых и пожнивных остатков.....	142
5.2.1. Накопление корневых и пожнивных остатков под смесью пелюшко-овес + райграс однолетний.....	143
5.2.2. Накопление корневых и пожнивных остатков под картофелем.....	147

5.2.3. Накопление корневых и пожнивных остатков под ячменем с подсевом клевера.....	149
5.2.4. Накопление корневых и пожнивных остатков под клевером первого года пользования.....	152
5.2.5. Накопление корневых и пожнивных остатков под клевером второго года пользования.....	154
5.2.6. Накопление корневых и пожнивных остатков под посевом озимого тритикале.....	158
6. ВЛИЯНИЕ БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫХ ПРЕПАРАТОВ НА ДОСТУПНОСТЬ ЦЕЗИЯ-137 РАСТЕНИЯМ ПРИРОДНЫХ ЭКОСИСТЕМ РАДИОАКТИВНО ЗАГРЯЗНЕННЫХ РАЙОНОВ МОГИЛЕВСКОЙ ОБЛАСТИ.....	162
6.1. Объекты и методы исследований.....	165
6.2. Результаты исследований.....	169
6.2.1. Накопление ¹³⁷ Cs растительностью лесных экосистем Чериковского района Могилевской области при разных уровнях радиоактивного загрязнения почвы.....	169
6.2.2. Видовая специфика накопления ¹³⁷ Cs лесной флорой нижнего яруса.....	173
6.2.3. Определение форм содержания ¹³⁷ Cs в почве.....	174
6.2.4. Изучение содержания ¹³⁷ Cs в сопряженных пробах почвы и растительности при проведении обработки биологически активными препаратами.....	176
6.2.5. Коэффициенты накопления и коэффициенты перехода ¹³⁷ Cs в лесную растительность.....	177
6.2.6. Оценка зависимости между аккумуляцией ¹³⁷ Cs в растительных пробах и его подвижностью в почве, показателей содержания радионуклида в почве и растительных образцах.....	180
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	182
ЛИТЕРАТУРА.....	184

ДЛЯ ЗАМЕТОК

ДЛЯ ЗАМЕТОК

РЕПОЗИТОРИЙ БГАТУ

ДЛЯ ЗАМЕТОК

Научное издание

Валько Виктор Павлович, **Щур** Александр Владимирович

**ОСОБЕННОСТИ
БИОТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО
ЗЕМЛЕДЕЛИЯ**

Ответственный за выпуск *В. П. Валько*

Редактор *Т. В. Каркоцкая*

Компьютерная верстка *А. И. Стебули*

Дизайн и оформление обложки *И. А. Усенко*

Подписано в печать 15.12.2011. Формат 60×84¹/₁₆.

Бумага офсетная. Ризография.

Усл. печ. л. 11,39. Уч.-изд. л. 10,9. Тираж 100 экз. Заказ 792.

Издатель и полиграфическое исполнение:
учреждение образования

«Белорусский государственный аграрный технический университет».

ЛИ № 02330/0552984 от 14.04.2010.

ЛП № 02330/0552743 от 02.02.2010.

Пр-т Независимости, 99-2, 220023, Минск.

РЕПОЗИТОРИЙ БГАТУ