

403
K27
990168



Л. А. КАРЯГИНА

МИКРОБИОЛОГИЧЕСКИЕ
ОСНОВЫ
ПОВЫШЕНИЯ
ПЛОДОРОДИЯ
ПОЧВ

Л. А. КАРЯГИНА

**МИКРОБИОЛОГИЧЕСКИЕ
ОСНОВЫ
ПОВЫШЕНИЯ
ПЛОДОРОДИЯ
ПОЧВ**

*Под редакцией
академика АН СССР
Е. Н. МИШУСТИНА*

990168

МИНСК
«НАУКА И ТЕХНИКА»
1983

ВОЛЖСКИЙ КРАЙ
областная библиотека
им. И. В. Бабушкина

Л. А. Карягина. Микробиологические основы повышения плодородия почв.—Мн.: Наука и техника, 1983.—181 с.

В работе изложены результаты многолетних (1966—1980 гг.) исследований по почвенной микробиологии, выполненных автором на базе стационарных исследований. Изучены дерново-подзолистые почвы Минской, Гродненской, Витебской, Гомельской областей, а также торфяно-болотные почвы Минской области. Описаны методы исследования микрофлоры, состояние дерново-подзолистых суглинистых почв при длительном применении удобрений, рассмотрены вопросы влияния влажности почвы, различных сельскохозяйственных культур и обработок на микробиологическую деятельность. Большое внимание в книге уделяется проблеме повышения плодородия почв.

Предназначена для научных работников, агрономов, почвоведов, агрохимиков, преподавателей и студентов сельскохозяйственных вузов.

Табл. 85. Ил. 15. Библиогр.: 375 назв.

Рецензенты:

В. К. Шильникова, д-р биол. наук,
Н. П. Львов, д-р биол. наук,
Т. А. Романова, д-р биол. наук

3802020000—027
К—101—83
М316—83

ПРЕДИСЛОВИЕ

В «Основных направлениях экономического и социального развития СССР на 1981—1985 годы и на период до 1990 года» важная роль в подъеме сельского хозяйства отводится науке.

Важнейшее направление научных исследований — поиски путей повышения плодородия дерново-подзолистых почв, занимающих почти половину территории страны. В БССР основные почвы — дерново-подзолистые. Под пашней их находится около 4 млн. га, что составляет 72,7% всех сельскохозяйственных угодий.

Уже сам по себе факт широкого распространения и сельскохозяйственного использования этих почв в Белоруссии делает задачу их всестороннего изучения в высшей степени актуальной. Обобщение в республике большого количества опытов, проведенное Т. Н. Кулаковской, показало, что за счет почвенного плодородия формируется до 55—60% урожая.

Место микробиологии в общем комплексе почвенных исследований определяется той огромной ролью, которую играют микроорганизмы в формировании почвенного плодородия.

Роль биологического фактора в почвообразовании и регулировании почвенного плодородия была впервые сформулирована выдающимися деятелями русского почвоведения В. В. Докучаевым, П. А. Костычевым и В. Р. Вильямсом.

Дальнейшее развитие теория почвенного плодородия в микробиологическом ее аспекте получила в трудах С. Н. Виноградского, М. М. Кононовой, Е. М. Мишустина и других исследователей. Было показано, что биохимическая деятельность почвенной микрофлоры не

только обеспечивает непрерывный круговорот в природе элементов — органоенов, но и является основой и сущностью почвообразовательных процессов, создающих определенный тип почвы и обуславливающих уровень их плодородия.

Становится все более очевидным, что управление плодородием почв должно строиться на строго научном, направленном регулировании в них биологических процессов.

Важным моментом при изучении биологических особенностей почв является определение ведущих процессов, отражающих состояние почвенного плодородия. Знание таких свойств приблизит нас к пониманию основ регулирования плодородия почв.

Интенсивная химизация сельскохозяйственного производства и поиск путей ускоренного повышения плодородия дерново-подзолистых почв выдвинули проблему оценки действия различных систем удобрений и приемов окультуривания не только на урожай растений, но и на важнейшие почвенные процессы, отражающие состояние почвенного плодородия.

Отсюда вытекает огромная значимость работ, связанных с изучением деятельности почвенного микронаселения. Успехи в области микробиологии и биохимии позволяют уже в настоящее время близко подойти к выяснению этой проблемы.

Выявление всех условий, способствующих повышению почвенного плодородия, и оценка их с позиции почвенного микробиолога дает возможность определить рациональные приемы повышения продуктивности растений при максимальном сохранении и накоплении органического вещества почвы.

В данной работе излагаются результаты многолетних (1966—1980 гг.) исследований микробиологических процессов дерново-подзолистых почв при длительном применении различных систем удобрений и приемов окультуривания. Серьезное внимание уделяется статистической оценке достоверности экспериментальных данных, установлению взаимосвязи почвенных биологических процессов с агрохимическими и физико-химическими показателями плодородия почв, а также между микробиологическими характеристиками почвы и урожаем сельскохозяйственных культур. Рассматривается влияние уровня плодородия почв на несимбиоти-

ческую азотфиксацию, выясняются пути стимуляции этого уникального биологического процесса.

Сокращение темпов минерализации органического вещества торфяно-болотных почв, составляющего основу их потенциального плодородия, как известно, должно строиться на направленном регулировании в них биологических процессов. В книге анализируются агротехнические способы (подбор культур в севообороте, приемы обработки почвы) регулирования биологической деятельности, позволяющие получать более высокие урожаи сельскохозяйственных культур при экономном расходовании почвенного органического вещества.

Выражаем искреннюю благодарность младшим научным сотрудникам Института почвоведения и агрохимии МСХ БССР Л. М. Стефанькиной, Е. Н. Воробьевой, старшему лаборанту З. Н. Тиханович, лаборанту Н. И. Крюк, технику-прибористу П. С. Фирсову, участвовавшим в исследовательской работе.

Глубоко признательны также академику Е. Н. Мишустину и доктору биологических наук профессору Е. З. Теппер за ценные советы и указания при подготовке рукописи к печати.

Глава 1

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ БИОЛОГИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ ПОЧВ

Качественный и количественный анализ микрофлоры проводили по общепринятым в почвенной микробиологии методикам [271].

Для оценки общей численности аммонифицирующих бактерий применяли мясо-пептонный агар (МПА), их споровых форм — мясо-сусловый агар (МСА); бактерий, ассимилирующих минеральный азот, и актиномицетов — крахмально-аммиачный агар (КАА); плесневых грибов — сусло-агар (СА); проактиномицетов — нитритный агар; нитрифицирующих бактерий — голодный агар с двойной аммонийно-магниевой солью фосфорной кислоты; целлюлозоразлагающих микроорганизмов — агаризованную среду Гетчинсона.

Наличие азотобактера в почве выявляли на безазотной среде Федорова по методу С. Н. Виноградского, группу факультативно-симбиотрофных микроорганизмов — по методу Т. А. Калининской [93].

Для количественного подсчета бактерий рода *Clostridium* использовали оптимально-дифференцированные среды [170].

Потенциальную способность почв к анаэробной фиксации азота атмосферы изучали методом жидких культур Пошона. Опыт ставили в колбах Эрленмейера объемом 300 мл. Питательная среда состояла из глюкозы (1 г), CaCO_3 (2 г) и стандартного солевого раствора (1:20). В состав последнего входили K_2HPO_4 (5 г), MgSO_4 (2,5 г), MnSO_4 (0,05 г), FeSO_4 (0,05 г), дистиллированная вода (1000 мл), pH среды — 7,2.

Среду стерилизовали при 0,5 атм в течение 20 мин, инокулировали 1 г почвы и инкубировали в термостате при 28 °C в течение 1 месяца. Повторность опыта трех-

кратная. Контрольные колбы сразу после посева заливали концентрированной серной кислотой. Азот определяли по микрометоду Кьельдаля [5].

Потенциальную азотфиксирующую способность почвы выявляли на газовом хроматографе системы «Хром-4» [280]. Количество образовавшегося этилена учитывали в газовых пробах объемом 0,5 мл с помощью пламенно-ионизационного детектора. Для разделения газов использовали силикагель АСК, помещенный в колонку высотой 300 см и диаметром 3 мм. Температура колонки 70 °С. В качестве газа-носителя использовали азот при постоянном потоке 60—70 мл/мин. Количество образовавшегося этилена рассчитывали по высоте пиков стандартной кривой, полученной для разведений чистого этилена.

Аммонифицирующую и нитрифицирующую способность выявляли по разнице между исходным содержанием аммиачного и нитратного азота и накоплением их за недельный срок компостирования почвы (режим влажности и температуры оптимальный). Денитрифицирующую способность почвы определяли по методу Федорова [271], аммиак и нитраты — колориметрически [5].

Протеолитическую активность устанавливали прямым методом по степени разложения желатина на рентгеновской пленке, помещенной на определенный срок в почву [28].

Накопление свободных аминокислот на льняном полотне учитывали колориметрически по интенсивности окраски, обусловленной их специфической реакцией с нингидрином [172].

Качественную дифференциацию свободных аминокислот проводили методом распределительной нисходящей бумажной хроматографии в смеси бутанол: уксусная кислота: вода в соотношении 4:1:5. Четкое разделение аминокислот достигалось при трехкратном пропускании растворителя.

Продукцию почвой CO_2 определяли газохроматографически на приборе системы «Хром-4» [5]. Техника анализа следующая: в пенициллиновые флаконы помещали 10 г почвы, увлажненной до 60% от полной влагоемкости (ПВ), закрывали их резиновыми пробками, последние закрепляли винтовыми металлическими зажимами. Сосудики выдерживали в термо-

стате при 28 °С. Через каждые 24 ч инкубирования медицинским шприцем брали 1 мл газовой смеси и вводили ее в хроматограф.

Газы идентифицировали на катарометре при следующих параметрах работы хроматографа: длина колонки — 1500 мм, диаметр — 3 мм (в качестве адсорбента использовали «Полисорб-1»), скорость газа-носителя (гелия) — 40 мл/мин, сила тока катарометра — 130 мА, температура — 40 °С, температура термостата — 30 °С. Для калибровки прибора вводили 1 мл чистого CO₂.

Целлюлозоразлагающую способность почвы учитывали по потере массы фильтровальной бумаги, зашитой в мешочки из стеклоткани и помещенной в почву на глубину пахотного слоя. Повторность четырехкратная, экспозиция 1,5 месяца.

Активность ферментов оценивали в воздушно-сухих образцах, просеянных через сито 1 мм с обязательным добавлением толуола (кроме инвертазы) по следующим методикам: в 1967—1968 гг. активность инвертазы определяли весовым методом [301]. В последующие годы перешли на колориметрический метод, в основу которого положена реакция редуцирующих сахаров с 3,5-динитросалициловой кислотой.

Каталазу выявляли газометрически [127], путем измерения объема выделившегося кислорода после добавления к почве перекиси водорода. В связи со способностью соединений железа и марганца, содержащихся в почве, осуществлять небиологическое расщепление перекиси водорода [350] часть почвенного образца прогревали при температуре 150 °С в течение 4 ч (в автоклаве) и лишь затем определяли термостабильную каталитическую активность почвы.

Активность полифенолоксидазы и пероксидазы устанавливали колориметрически в одной вытяжке [75]. Метод основан на измерении активности фермента по скорости образования окраски окисленного пирогаллола. При определении активности инвертазы, полифенолоксидазы и пероксидазы контроль в «убитых» образцах излишен. Прогретые образцы различных типов почв не обладают способностью к аналогичным реакциям и не содержат веществ, близких к продуктам ферментативных реакций, в количествах, учитываемых принятыми методами [351].

Активность дегидрогеназы выявляли колориметрически по количеству формазана. В качестве субстрата дегидрирования использовали глюкозу [128].

Методы определения уреазы и аспарагиназы в почве во многом сходны и основаны на измерении количества аммиака, освобождающегося при гидролизе мочевины или аспарагина. В 1967—1968 гг. использовали методику В. Ф. Купревича [128], а в последующие годы исследования вели по И. Н. Ромейко с соавт. [239].

Дерново-подзолистые почвы по сравнению с другими отличаются сильно выраженной пестротой почвенного плодородия. В связи с этим необходимость математической оценки конечных результатов возрастает.

Особое значение приобретают математические критерии достоверности при оценке данных, полученных в условиях многолетних стационарных полевых опытов.

Имеющиеся микробиологические исследования с применением статистических методов свидетельствуют о сравнительно низкой точности данных учета микрофлоры [40, 83, 228, 295]. Путем тщательного отбора смешанных образцов почвы с опытного участка (из большего числа индивидуальных проб) можно в значительной мере повысить точность результатов анализа вследствие уменьшения ошибки выборки.

Активность ферментов определяется с более высокой точностью (в пределах 1,2—1,6%), поэтому даже сравнительно небольшие различия здесь могут стать математически достоверными.

При оценке результатов микробиологических исследований почвы наиболее пригодны корреляционный и дисперсионный анализы [227].

Начиная с 1967 г. все экспериментальные данные, полученные в условиях многолетних полевых опытов, мы подвергли дисперсионному анализу [63]. Почвенные образцы отбирали отдельно по каждой из двух повторностей опыта. Число индивидуальных проб в смешанном образце доводили до 20—25. Это позволило установить долю варьирования изучаемого признака за счет повторений, т. е. учесть влияние пестроты почвенного плодородия на результативный признак и показать действие изучаемого агротехнического фактора (например, удобрений) на микробиологический показатель, и за счет случайных ошибок, обусловленных неизвестными исследователю факторами.

Были вычислены необходимые статистические показатели: средние квадраты отклонений изучаемого признака для повторений, вариантов, ошибок [98]. По отношению дисперсии вариантов к дисперсии ошибок оценили результаты опыта в целом по критерию Фишера. Если последний оказывался больше табличного значения с принятым уровнем вероятности (в нашем случае 0,95), то результаты опыта в целом считались достоверными.

В дальнейшем задача сводилась к вычислению наименьшей существенной разницы (НСР) для заданного уровня вероятности. Если разница между сравниваемыми вариантами была больше НСР или равна ей, то различия признавались математически доказанными.

Характер зависимостей между изучаемыми величинами определялся по результатам корреляционно-регрессионного анализа.

Как известно, корреляционная связь не отражает точную зависимость одного признака от другого, поэтому она может иметь различную степень, которая измеряется показателями, введенными для установления силы связи между количественными и качественными признаками. Наиболее распространены из них коэффициент корреляции и корреляционное отношение η . Коэффициент корреляции выражает степень и направление только прямолинейных связей, а корреляционное отношение — степень криволинейных и прямолинейных связей. Вследствие того что наши исследования направлены на изучение взаимосвязей между биологическими процессами и различными элементами плодородия почвы, которая является сложной многофакторной системой, где связи между двумя выделенными величинами, как правило, имеют форму кривой, было использовано корреляционное отношение. Величина последнего изменяется от 0 до 1 независимо от единиц, в которых измеряются обе переменные, и дает общее представление о суммарной связи между варьирующими признаками. Вычислительная работа выполнялась на ЭВМ ЕС-1020.

Математическая обработка экспериментального материала позволила более четко выявить существующие закономерности между биологическими, физико-химическими, агрохимическими показателями и урожаем растений.

Глава 2

ОСОБЕННОСТИ МИКРОБИОЛОГИЧЕСКОГО РЕЖИМА ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТЫХ ПОЧВ ПРИ ИХ ОКУЛЬТУРИВАНИИ

Общая характеристика биологического состояния дерново-подзолистых почв

Типичные дерново-подзолистые почвы в их естественном состоянии характеризуются бедностью микрофлоры. Низкую биологическую активность неокультуренных подзолистых почв, слабое развитие процесса нитрификации, отсутствие в них азотобактера отмечают многие авторы [10, 101, 153, 243, 269, 359]. Объясняется это, по мнению ряда исследователей, высокой кислотностью указанных почв, бедностью органическим веществом и азотом, подвижными формами фосфора и калия, слабой насыщенностью основаниями [2, 165, 168, 207].

Относительно хорошо развиваются в дерново-подзолистых почвах плесневые грибы, маслянокислые бактерии, олигонитрофилы, а также аммонифицирующие бактерии [58, 131, 180]. Обогащение азотом осуществляется в результате жизнедеятельности широко представленных в них анаэробных азотфиксаторов рода *Clostridium* и факультативно-симбиотрофных микобактерий [93, 170, 179]. Высокая кислотность дерново-подзолистых почв не препятствует развитию в них анаэробных азотфиксаторов, большая численность последних обнаружена даже в почвах с рН ниже 3,3 [322]. Значительная часть азота, фиксированного несимбиотическими микроорганизмами, включается в состав почвенного гумуса [178]. Отдельные виды олигонитрофилов в определенных условиях могут энергично развиваться в почве и фиксировать атмосферный азот [105].

Выдерживая значительное подкисление почв, плесневые грибы часто являются главными агентами по переработке поступающих в почву корневых, пожнивных

остатков и органических удобрений. Так, разложение клетчатки в слабокультуренных почвах происходит главным образом под влиянием плесневых грибов, а не целлюлозоразрушающих бактерий [165, 168, 175]. Процессы грибного меланиногенеза могут вносить значительный вклад в гумусообразование [78].

Качественный спектр микрофлоры дерново-подзолистых почв включает огромное число видов, но преобладают представители рода *Penicillium*. Последние составляют нередко 85—90% общего количества грибов этих почв [161]. Характерно для подзолистых почв также наличие грибов рода *Mucor* и *Trichoderma*. Многие представители рода *Penicillium* являются условно фитопатогенными видами, проявляя токсичность по отношению к высшим растениям и вызывая корневые гнили [160, 162].

Среди бактерий, населяющих дерново-подзолистые почвы, большой удельный вес занимают неспороносные виды (примерно 80% общего содержания микроорганизмов этой группы). Однако в зависимости от состояния почвы и сезона соотношения между неспороносными и спороносными бактериями в микроценозе могут существенно меняться и в отдельных случаях начинают преобладать бациллярные организмы [220].

Наиболее реактивной частью почвенной микрофлоры следует признать группу бактерий, за счет которых возрастает общая численность микроорганизмов окультуренных дерново-подзолистых почв [165, 166]. При устранении избыточной кислотности почв известкованием, внесении органических и минеральных удобрений увеличивается доля бактерий в составе микрофлоры, снижается численность плесневых грибов, появляется азотобактер, усиливаются биологические процессы по переработке различных органических веществ, накапливается почвенный гумус, что приводит к повышению уровня плодородия [176, 266].

К настоящему времени имеется значительный материал о влиянии степени окультуренности различных почв на протекающие в них биологические процессы. Показано, что окультурирование сопровождается увеличением общей численности микрофлоры, приводит к существенным перегруппировкам в составе микробного населения, а также повышению общего биологического тонуса почв [23, 168, 171]. Делается вывод, что микро-

биологические тесты могут использоваться для определения степени окультуренности почв [306]. Особенно заметно при окультуривании почв возрастает содержание спорообразующих микроорганизмов, причем последние рассматриваются как показатель глубины развития почвообразовательного процесса [164].

Многие исследователи считают, что окультуренность почвы можно оценивать по ферментативным реакциям [224, 237, 238, 248, 277, 338]. Отмечается, что уровень урожая озимой ржи и картофеля на дерново-подзолистой почве в большей степени связан не с агрохимическими показателями, а с интенсивностью биологических процессов, происходящих в почве под растениями [260, 294]. Это наблюдение находится в соответствии с тезисом, сформулированным А. И. Зражевским [87], который утверждает, что величина плодородия почвы зависит не от общего запаса питательных веществ в ней, а от интенсивности их круговорота, где главную роль играет микрофлора и фауна.

В настоящее время общепринятыми средствами изучения микробиологического режима почв остаются методы группового анализа микрофлоры и суммарного биохимического определения биологической активности [168, 311, 337]. В работах указанного направления большое внимание уделяется процессам нитрификации, аммонификации, несимбиотической азотфиксации, продуцированию почвой CO_2 , синтеза свободных аминокислот, целлюлозолитической способности и ферментативной активности [45, 125, 173, 336, 339—342]. Высказывается мнение, что биологическая активность, определяемая по интенсивности разложения клетчатки, наиболее точно отражает комплекс условий, оказывающих влияние на растение, и может служить показателем плодородия почв подзолистого типа [64] и прогнозирования биогенных преобразований [103]. Определение интенсивности выделения CO_2 из почвы на различных почвенных разностях и агрофонах также позволило установить взаимосвязь между дыханием почвы и продуктивностью сельскохозяйственных культур [57, 76, 349].

Среди органических веществ почвы аминокислоты занимают особое место. Количественно уступая только углеводам, они имеют гораздо большее значение, обусловленное их высокой химической активностью и

исключительным физиологическим значением. Аминокислоты являются биологически активными веществами и источниками азотистой пищи для макро- и микрофлоры [225].

По современным представлениям свободные аминокислоты выступают в роли «структурных единиц» гумусовых веществ. Пути включения их в указанные соединения различны: конденсация с ароматическими веществами типа полифенолов, моносахаридами, уротовыми кислотами и др. В почве непрерывно происходят процессы синтеза и распада аминокислот. До 70% аминокислот быстро распадается с образованием CO_2 .

Изучение изменения отдельных показателей биологической активности дерново-подзолистых почв под влиянием длительного применения различных видов органических и минеральных удобрений и известкования представляет большой интерес в связи с возросшими масштабами применения удобрений.

Понимание масштабов и допустимых границ вмешательства человека в сложный биологический мир почвы — залог правильной ее эксплуатации.

Особенности микробиологического режима легких почв при их окультуривании

Легкие почвы широко распространены на территории нашей страны. Только в Нечерноземной зоне они занимают 100 млн. га, из которых 70 млн. га песчаные.

В земельном фонде Белоруссии по учету на 1 января 1975 г. удельный вес легких почв составил 56% пашни, а во многих хозяйствах Полесья почти все пахотные угодья представлены супесчаными и песчаными почвами [143, 262].

Естественное плодородие легких почв низкое, они крайне бедны органическим веществом и элементами минеральной пищи для растений. Слабая обеспеченность таких почв илстыми частицами и органическим веществом определяет неблагоприятные водно-физические свойства их, что является основной причиной неустойчивости урожаев [16, 17, 61, 201]. По статистическим данным учета урожая и качественной оценки земель, средний урожай зерновых на супесчаных низкоплодородных почвах в 1,4 раза, а на песчаных

почти в 2 раза ниже, чем на суглинистых и торфяно-болотных [310].

В настоящее время резервы почв, пригодных для возделывания пшеницы и ячменя, практически исчерпаны. Поэтому дальнейшая интенсификация сельскохозяйственного производства невозможна без разработки и внедрения в практику научно обоснованных приемов повышения плодородия бедных песчаных и супесчаных почв.

В опытах, проводившихся в нашей стране и за рубежом, установлено, что решающая роль в окультуривании почв легкого механического состава принадлежит органическим удобрениям [16, 217, 226, 317]. Обогащение почв органическим веществом способствует созданию оптимального водного режима, улучшает снабжение растений азотом, элементами зольного питания и биологически активными веществами, заметно повышает буферность и емкость поглощения.

Однако своеобразие физического режима песчаных и супесчаных почв создает условия для интенсивной аэробной биологической деятельности, в результате которой вносимые органические удобрения быстро минерализуются, а продукты минерализации выщелачиваются за пределы корнеобитаемого слоя. Так, количество азота, обнаруженное в лизиметрических водах в результате вымывания атмосферными осадками, составило на песчаной почве более 50% количества, внесенного в качестве удобрения [370]. Особенно большие непроизводительные потери азота вносимых удобрений могут происходить в газообразной форме в результате бурного течения процессов аммонификации, нитрификации и денитрификации [152].

Регулирование содержания органического вещества в почве по существу является регулированием уровня почвенного плодородия.

Сочетание органических удобрений с глинованием песчаных и супесчаных почв или внесением ила обеспечивает более продолжительный период их действия [193, 333, 353].

Среди органических удобрений для многих районов Белоруссии особая роль отводится торфу (улучшает водный режим и буферные свойства почвы) [130, 262]. На участках, заправленных торфом, ферментативная активность остается более высокой по сравне-

нию с контролем и через 12—15 лет после его внесения [119].

Изучению микробиологического и биохимического режима песчаных и супесчаных почв как объективных показателей степени их окультуренности посвящен ряд исследований [21, 22, 157, 186, 193, 241, 246]. Отмечено, что по мере увеличения степени окультуренности почвы в ней возрастает темп почти всех биологических процессов [369]. Однако с точки зрения практического земледелия нежелательно как слишком быстрое разложение органических удобрений, так и консервация их на длительный срок [225]. Первое приводит к потерям продуктов минерализации и не дает развиваться процессам гумусонакопления, второе ослабляет использование культурными растениями питательных веществ, содержащихся в нем.

Г. Мюллер [183] считает, что для окультуренных почв естественна высокая биологическая активность, способствующая мобилизации питательных веществ. На мало же окультуренных легких почвах с минимальным содержанием органического вещества слишком бурная минерализация нежелательна.

Д. Г. Звягинцев [82] ставит вопрос о необходимости коренной переоценки сложившихся в почвенной микробиологии представлений о «полезности» и «вредности» интенсификации жизнедеятельности почвенных микроорганизмов и отдельных их групп. Увеличение количества микробов и биологической активности почв не может рассматриваться как однозначно положительный процесс.

Для снижения темпов биологической минерализации органических удобрений в песчаных и супесчаных почвах предложен метод послойного их внесения [120, 263, 304].

Между глубиной внесения органических удобрений и интенсивностью разложения выявлена довольно четкая обратная зависимость [17, 347]. По мере увеличения глубины заделки органических удобрений снижается напряженность большинства биологических процессов в почве и уменьшается численность микроорганизмов. Замедление темпов разложения с глубиной снижает высвобождение азота из органических удобрений. При этом изменяется степень аэробнозиса, и процесс аммонификации начинает преобладать над

нитрификацией. Более равномерное высвобождение азота из органических удобрений и несколько большее накопление аммиачных форм азота при глубокой за-пашке уменьшают потери последнего от выщелачивания [188]. Глубокое внесение прослоек из органического вещества значительно улучшает водно-физические и биологические свойства песчаных и супесчаных почв всего корнеобитаемого слоя и повышает урожай сельскохозяйственных культур. Такой прием рассматривается как мелиорация длительного действия.

Исследованиями установлено, что послойная мелиорация песчаных почв значительно увеличивает содержание микроорганизмов в подпахотном горизонте почвы [306]. Оно возрастает не только от глубокого внесения органических удобрений, но и вследствие глубокой обработки почвы [183, 193].

Увеличение влагоемкости и водоудерживающей способности почвы в зоне прослоек снижает фильтрацию всего почвенного профиля и усиливает потенциальные возможности почвы в накоплении и удержании капиллярно-подвешенной влаги под действием сорбционных и капиллярных сил, что определяет более продуктивное ее использование растениями [18, 61].

При глубоком двухслойном внесении навоза в супесчаную почву значительно увеличивается содержание гумуса в слое 0—50 см [272]. Этому способствует замедление темпов разложения микроорганизмами вносимых органических удобрений. Исследователи отмечают более длительное последствие органических удобрений при послойном их внесении в почву и повышение коэффициента использования азота на 10—12% [17, 372].

Из сказанного ясно, насколько перспективен прием послойного внесения органических удобрений на легких почвах.

Однако при этом способе внесения удобрений возможно частичное перемещение части подзолистого и иллювиального горизонтов в верхнюю часть пахотного слоя, что может явиться причиной обеднения микроорганизмами верхнего горизонта почвы, ухудшения агрохимических ее свойств, снижения урожаев возделываемых культур [151, 214]. В подобном случае невозможно не считаться с фактом снижения биологической активности [250]. Положение может быть исправ-

лено совместным внесением извести, органических и минеральных удобрений [257].

Таким образом, очевидна важность изучения микробиологических свойств почвы для разработки теоретических основ окультуривания почв легкого механического состава. Управление биологическими процессами в почве возможно только на основе всестороннего знания особенностей течения микробиологических процессов при различных приемах окультуривания. Это обстоятельство побудило нас провести тщательные и многосторонние экспериментальные исследования в условиях многолетних стационарных опытов по окультуриванию легких почв.

Оценка различных приемов окультуривания песчаной почвы по микробиологическим показателям

В условиях стационарного опыта на экспериментальной базе «Подолесье» в 1973—1974 гг. изучали изначальное влияние различных приемов окультуривания песчаной почвы на интенсивность микробиологических процессов.

Почва опытного участка дерново-подзолистая среднеподзоленная песчаная, развивающаяся на связных песках, подстилаемых рыхлыми. Среди почв легкого механического состава названные почвы наименее продуктивны. В составе пашни республики они занимают 13,6%, а во многих районах Гомельской и Брестской областей — свыше 50% [308].

Применяемые в настоящее время системы удобрения и способы обработки песчаных почв, направленные на обогащение только пахотного горизонта питательными веществами и улучшение его физико-химического режима, редко дают длительный и устойчивый эффект. Маломощный пахотный горизонт даже при достаточном удобрении не обеспечивает нормальных условий для развития большинства сельскохозяйственных культур из-за недостатка влаги в корнеобитаемом слое в засушливый период и значительной потери азота и калия — в дождливый. Наиболее эффективны приемы окультуривания песчаных почв, предусматривающие наряду с внесением удобрений повышение мощности пахотного горизонта и улучшение его физико-химиче-

ских свойств. При этом увеличивается общий объем корнеобитаемого слоя, что позволяет растениям полнее использовать запасы пищи и влаги.

В систему приемов окультуривания почв описываемого стационара входит использование сидератов, обогащение органическим веществом за счет торфа, торфо-навозного компоста, известкование и различные способы внесения органических удобрений. Сравнивали варианты с внесением 80 т/га торфа и торфо-навозного компоста обычным способом под вспашку на глубину 0—20 см и три способа заделки 80 т/га торфо-навозного компоста: под вспашку в пахотный горизонт на глубину 0—20 см; под вспашку равномерно на глубину 0—35 см; 20 т/га под вспашку в пахотный горизонт, а 60 т/га слоем на глубину 35 см специальной машиной. Торф и торфо-навозный компост вносили под люпин по фону $P_{60}K_{90}$. Под озимую рожь запахали в 1973 г. 8—10 т/га зеленой массы люпина и внесли $N_{90}P_{80}K_{120}$. Почва была произвесткована из расчета по 1/2 гидролитической кислотности перед закладкой опыта и повторно по полной гидролитической кислотности под картофель.

Чередование культур в севообороте: люпин, озимая рожь + пожнивный люпин, картофель, овес.

Главное внимание было уделено характеристике аммонифицирующей, нитрифицирующей и денитрифицирующей способности почвы. Выявляли также энергию накопления свободных аминокислот, протеолитическую активность, численность бактерий, плесневых грибов, актиномицетов как представителей зимогенной микрофлоры, перерабатывающей свежие органические вещества (корневые и пожнивные остатки и органические удобрения), а также численность проактиномицетов, способных минерализовать гумусовые вещества [270]. Кроме того, определяли содержание в почве нитрифицирующих и денитрифицирующих бактерий, с жизнедеятельностью которых главным образом связаны непроизводительные потери азота.

В течение двух лет наблюдений было проведено девять анализов по всем указанным биологическим показателям.

Кратко характеризуя погодные условия в годы исследований, можно отметить, что 1973 год отличался резкой засушливостью в первую половину вегетацион-

ного периода. В мае осадков выпало на 47, 7 мм, в июне на 41,8 мм меньше среднемноголетней нормы. Влажность почвы в отдельные периоды приближалась к влажности завядания растений.

Выявлена определенная зависимость между влажностью почвы, численностью отдельных групп микроорганизмов и накоплением нитратов. Динамика численности аммонифицирующих и спорообразующих бактерий совпадает с изменением влажности почвы (рис. 1). Плесневым грибам и актиномицетам благоприятствует относительно сухая почва. Они способны развиваться при малых запасах влаги в ней благодаря высокому осмотическому давлению протоплазмы их клеток. В периоды общего спада в развитии бактериального микронаселения в почве обнаруживали высокое содержание нитратов, в значительной мере обусловленное отсутствием их потребления микрофлорой и высшими растениями.

Проведенные исследования показали, что интенсивность процессов разложения органических веществ в песчаной почве определяется также качественным составом органических удобрений и глубиной их заделки. При обычной заашке (на глубину 0—20 см) торфо-навозного компоста и торфа процессы минерализации активнее протекали в почве, заправленной компостом (табл. 1).

Как следует из приводимых данных, в почве, заправленной торфом, энергия аммонификации, нитрификации и денитрификации, с которыми связаны возможные потери азота, в 2—3,5 раза меньше, чем в почве, удобренной торфо-навозным компостом. Меньше в ней протеолитическая активность и накопление свободных аминокислот. Уровень урожая озимой ржи в этих вариантах примерно одинаков. Это указывает на большие возможности использования торфа при окультуривании песчаных почв.

Высокая устойчивость торфа к микробному воздействию связана с большим содержанием в нем лигнизированной клетчатки [133]. Сдерживающее влияние торфа на нитратонакопление отмечал В. П. Ламзин [132].

Изучая биологическую активность почвы при различных способах заашки торфо-навозного компоста, важно было охарактеризовать ее уровень в слое 0—20 см

и на глубине 20—35 см, куда также распределялись удобрения. При обычном внесении компоста под вспашку на 20 см вся масса его попадала в пахотный горизонт, при внесении компоста под вспашку на глубину 35 см в слой почвы 0—20 и 20—35 см попадало примерно одинаковое его количество, а при послойном

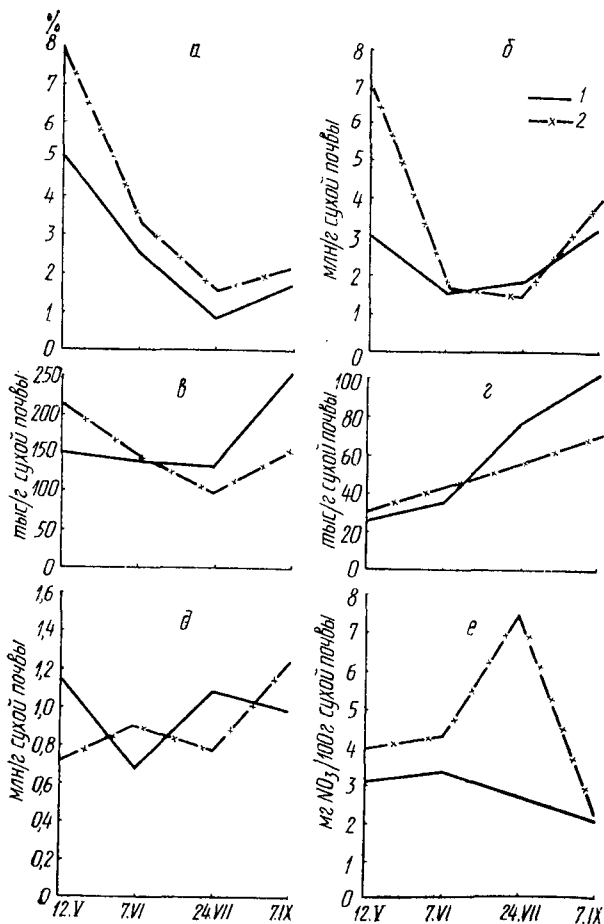


Рис. 1. Влияние влажности (а) на численность микроорганизмов (б — аммонификаторы, в — спорообразующие бактерии, г — плесневые грибы, д — актиномицеты) и нитратонакопление (е) в дерново-подзолистой песчаной почве: 1 — без удобрений, 2 — РК (фон) + 80 т/га торфа (горизонт 0—20 см)

**Изменение микробиологических процессов в почве под
в зависимости от вида используемых органических
(средние данные за вегетационный**

Вариант	N—NH ₄		NO ₃		Денитрифицирующая способность (убыль N—NO ₃ за 14 дней) мг/100 г почвы
	мг/кг сухой почвы				
	до	после	до	после	
	7-дневной инкубации				
Контроль	5,3	2,0	2,5	8,6	10,2
Торф (80 т/га)+ + N ₈₀ P ₈₀ K ₁₂₀	6,8	1,7	14,2	50,3	6,9
ТНК (80 т/га)+ + N ₈₀ P ₈₀ K ₁₂₀	17,5	2,6	47,7	71,0	27,3
НСП ₀₅ †	6,5	2,1	22,9	24,2	13,5

Примечание. ТНК — торфо-навозный компост.

внесении в пахотный горизонт запаховали лишь 20 т/га, а 60 т/га вносили слоем на глубину 35 см.

Особенность в распределении органического удобрения при различных способах его заделки в почву и определила разную численность микроорганизмов в горизонте 0—20 см (рис. 2). При послойном внесении компоста численность актиномицетов, проактиномицетов, нитрификаторов и денитрификаторов снижалась, что свидетельствует об уменьшении процессов разложения свежего органического вещества и почвенного гумуса [270]. Интенсивность накопления свободных аминокислот и потенциальная денитрифицирующая способность в горизонте 0—20 см трех сравниваемых вариантов с торфо-навозным компостом также имеют тенденцию к снижению от варианта обычной заделки к послойному его внесению (табл. 2). Отмеченное снижение микробиологической активности связано с уменьшением дозы вносимого в пахотный горизонт торфо-навозного компоста (ТНК).

Как свидетельствуют полученные данные, самая энергичная денитрифицирующая способность была в почве при заделке всей дозы компоста в пахотный горизонт, однако она может приводить к существенным потерям азота удобрений в виде газообразных соединений.

Таблица 1

озимой рожью
удобрений
период)

Протеолитическая активность, %	Аминокислоты, мгк на 1 г ткани (по лейцину)	Урожай, ц/га
85	29	11,5
89	63	32,4
92	93	34,5
9,2	64,0	2,3

Торфо-навозный компост на глубине 20—35 см замедляет темпы разложения вносимых удобрений прежде всего потому, что в указанном слое почвы плотность микробного населения и интенсивность вызываемых им процессов резко падают по сравнению с пахотным горизонтом.

Численность микроорганизмов и энергия микробиологических процессов в слое 20—35 см снижается в 2 раза и более по сравнению с пахотным горизонтом. Это обстоятельство и определяет более замедленный ха-

рактер разложения удобрений, попадающих при указанных способах внесения в биологически более инертный горизонт.

Если предположить, что потери азота в легких почвах могут происходить за счет бурного течения нитрификации, дающей мобильную (нитратную) форму азота, способную легко выщелачиваться за пределы корнеобитаемого слоя и восстанавливаться денитрифицирующими бактериями в газообразные соединения, то следует признать, что снижение скорости нитрификации обеспечит уменьшение этих потерь.

В описываемом опыте отмечали существенное падение нитрифицирующей способности в слое 20—35 см

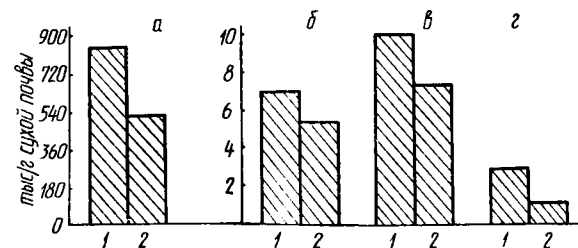


Рис. 2. Влияние способа заделки торфо-навозного компоста (1 — на 20 см, 2 — на 35 см) на микрофлору (а — актиномицеты, б — проактиномицеты, в — денитрификаторы, г — нитрификаторы) дерново-подзолистой песчаной почвы (горизонт 0—20 см)

Энергия накопления свободных аминокислот и потенциальная денитрифицирующая способность в пахотном горизонте дерново-подзолистой песчаной почвы. Горизонт 0—20 см (средние данные за вегетационный период)

Вариант	Аминокислоты мгк/1 г ткани (по лейцину)	Денитрифициру- ющая способность (убыль $N-NO_3$, мг/100 г почвы, за 14 дней)
Контроль	67*	13,5
ТНК (запашка на 20 см)	138	27,3
ТНК (запашка на 35 см)	118	20,4
ТНК (запашка слоем на 35 см)	94	12,5
НСР ₀₅	65	13,5

по сравнению с пахотным горизонтом всех вариантов с торфо-навозным компостом (табл. 3).

Как показывают приведенные данные, в горизонте 0—20 см всех вариантов с компостом продукция нитратов в оптимальных условиях инкубации почвы возрастала с 8,7—18,2 до 28,4—37,7 мг под люпином, с 44,6—48,7 до 57,9—90,6 мг под озимой рожью и с 14,2—15,2 до 39,2—43,9 мг на 1 кг почвы под картофелем. Максимальное содержание нитратов в слое 20—35 см — 5,4 мг/кг почвы. Практически нитрификация затухала в слое 20—35 см даже при глубокой заделке торфо-навозного компоста.

Если содержание аммиачного азота от пахотного к подпахотному горизонту уменьшалось примерно в 1,5—2 раза, то нитратного азота — в десятки раз.

Таким образом, $N-NO_3 : N-NH_4$ изменяется в слое 20—35 см в пользу последнего. Это связано с тем, что образование аммиака, в котором участвуют почти все сапрофитные микроорганизмы, охватывает более широкую экологическую сферу, чем обусловленная немногими видами организмов нитрификация. Известно, что для ассимиляции одного атома углерода нитрификаторы нуждаются в 100 атомах кислорода, тогда как потребность гетеротрофных микроорганизмов в кислороде в 20 раз меньшая. При такой аэрофильности вполне закономер-

но сильное влияние аэрации на процесс нитрификации даже в песчаной почве.

Если выразить в процентах долю аммиачного азота от общей суммы его с нитратным, то в горизонте 0—20 см она составляет 18—21%, а в слое 20—35 см — 60—70%.

Отмеченное замедление процессов минерализации в подпахотном горизонте и выявленное изменение в соотношении аммонификации и нитрификации позволяют утверждать, что при внесении торфо-навозного компоста на 35 см происходит его замедленное разложение с освобождением азота преимущественно в аммиачной форме. Вследствие этого потери азота от выщелачивания и денитрификации будут при данных приемах заделки органики во много раз меньше, чем при внесении ее только в пахотный горизонт. Таким образом, равномерное распределение компоста на глубину 35 см и

Таблица 3

Содержание нитратов в пахотном и подпахотном горизонтах песчаной почвы, NO_3 мг/кг сухой почвы (средние данные за вегетационный период)

Вариант	Люпин		Озимая рожь		Картофель	
	до	после	до	после	до	после
	инкубации		инкубации		инкубации	

Горизонт 0 — 20 см

Контроль	5,0	23,3	2,5	3,6	13,1	35,1
ТНК (запашка на 20 см)	8,7	32,8	47,7	71,0	15,1	43,3
ТНК (запашка на 35 см)	9,9	37,7	48,7	57,9	14,2	39,2
ТНК (слоем на 35 см)	17,2	28,4	44,6	80,6	15,2	43,9

Горизонт 20 — 35 см

Контроль	2,8	4,0	1,7	1,7	2,5	2,8
ТНК (запашка на 20 см)	2,1	3,5	2,2	1,7	2,2	3,0
ТНК (запашка на 35 см)	3,6	4,9	2,2	1,7	2,1	3,1
ТНК (слоем на 35 см)	3,5	5,4	2,3	4,2	1,9	3,6
НСР ₀₅	3,3	12,0	22,9	2,2	2,3	12,8

Влияние приемов окультуривания дерново-подзолистой песчаной почвы на продуктивность севооборота по основной продукции
(И. А. Юшкевич, В. А. Тикавый, 1979)

Вариант опыта	Всего кормовых единиц (к. е.)	В среднем на 1 га к. е.
Контроль	63,1	15,8
80 т/га ТНК под вспашку на 20 см + P ₆₀ K ₉₀	127,7	31,9
То же, под вспашку на 35 см	136,2	34,0
То же, но 2/3 компоста слоем на 35 см	127,7	31,9

послойное его внесение обеспечивают эффективное использование органических удобрений.

Наибольшая продуктивность севооборота получена от внесения компоста под вспашку на 35 см (табл. 4). Положительное влияние углубления пахотного горизонта и послойного внесения удобрений на урожай культур объясняется значительным улучшением водного режима и созданием более благоприятных условий для развития корневых систем растений. Как показали наблюдения В. А. Тикавого за влажностью почвы, при внесении 80 т/га органических удобрений под вспашку на 20 см запасы влаги в почве под озимой рожью увеличиваются на 2,4—26,8% по сравнению с контролем. При внесении такой же дозы компоста послойно содержание влаги увеличивается на 8,2—28,1%.

Микробиологические показатели изменения плодородия дерново-подзолистой почвы при длительном применении возрастающих доз торфа в составе торфо-навозного компоста

Несмотря на широкое применение торфа в сельскохозяйственном производстве, однозначного мнения об его эффективности нет. Существует мнение, что использование торфа на удобрение в чистом виде или в составе торфо-минеральных удобрений с агрономической точки зрения нецелесообразно, а с экономической — нерентабельно [19, 205]. В. В. Пономарева [212] в одной из последних публикаций пишет, что без технологической подготовки торф ассимилируется почвенной массой слабо и, долго оставаясь в неразложенном состоянии, соз-

дает иллюзию повышения содержания гумуса и гуминовых кислот в пахотных почвах.

Наиболее распространенным органическим удобрением в условиях Белоруссии является торфо-навозный компост с различным сочетанием компонентов. Изучение эффективности последнего следует сочетать с оценкой его влияния на биологическое состояние почвы [294].

По литературным данным [268], увеличение доли торфа в органическом удобрении с 30 до 56% приводит к закономерному снижению эффективности данного удобрения. Последнее связывают с тем, что по мере насыщения компоста низинным торфом в органическом удобрении уменьшается содержание фосфора и калия, а также доступного растениям аммиачного азота.

В. К. Михновский с сотр. [163] указывают, что накопление запасов общего углерода и азота в почве от внесения больших доз сильноразложившегося низинного торфа не соответствует ее действительному плодородию.

Микробиологические исследования проводили в Вороновском районе Гродненской области на старейшем в Белоруссии стационарном опыте, заложенном на дерново-подзолистой среднеподзоленной почве, развивающейся на супеси, подстилаемой с глубины 60—80 см моренным суглинком. Изучались варианты, в которых сравнивалось действие на фоне полного минерального удобрения 80 т/га навоза и торфо-навозного компоста. В составе последнего доза торфа последовательно возрастала с 25 до 75%. Органические удобрения вносились под пропашные культуры — сахарную свеклу осенью и кукурузу весной.

На рис. 3 представлены данные А. А. Прошлякова и др. [218] о влиянии возрастающих доз торфа на продуктивность севооборота и накопление общего углерода в почве. Последовательное увеличение доли торфа в составе органического удобрения сопровождалось повышением содержания углерода в почве, однако продуктивность севооборота при этом уменьшалась. Указанная закономерность отмечалась для всех культур севооборота и даже тех, под которые органические удобрения не вносили.

Увеличение содержания углерода под влиянием внесимого торфа не означает существенного роста плодородия почвы. Отношение углерода к азоту под влиянием

больших доз торфа увеличивается [218], что служит косвенным доказательством ухудшения микробиологического режима почв.

С повышением доли торфа в составе органического удобрения микробиологические показатели, отражающие уровень биогенности почвы, уменьшаются (рис. 4). Содержание аммонифицирующих бактерий закономерно снижается от варианта с внесением навоза к варианту,

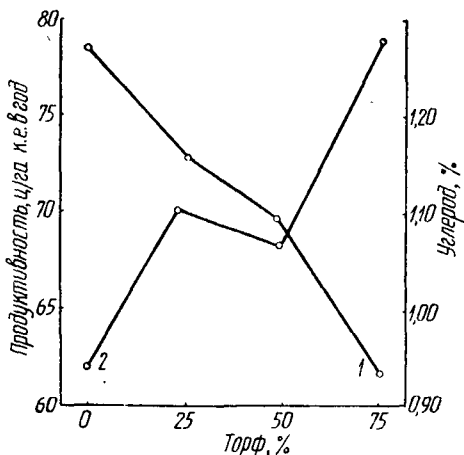


Рис. 3. Изменение продуктивности севооборота и содержание углерода в почвах при замене навоза торфом (1968—1972 гг.): 1 — продуктивность севооборота, 2 — содержание углерода в почвах

в котором доля навоза уменьшается до 25%, а доля торфа соответственно возрастает до 75%. Содержание гумуса растет по мере увеличения доз торфа. Еще более четко выявляется обратная зависимость между содержанием в почве гумуса и численностью актиномицетов. Та же закономерность наблюдается и в отношении содержания плесневых грибов.

Особый интерес, по нашему мнению, представляет выявленная обратная взаимосвязь между содержанием гумуса и условным коэффициентом его накопления, полученным при определении соотношения полифенолоксидазной и пероксидазной активности почвы. Расчет коэффициента накопления гумуса на основе ферментативных реакций почвы предложен А. И. Чундеровой [293]. В описываемом опыте условный коэффициент гумусонакопления, как и продуктивность севооборота,

под влиянием больших доз торфа снижался. Видимо, качество гумуса, образующегося в почве в процессе минерализации навоза и торфа, различно и может быть охарактеризовано с помощью ферментативных тестов.

Таким образом, уменьшение общей продуктивности севооборота под влиянием возрастающих доз торфа происходит на фоне общего ухудшения микробиологических и биохимических свойств почв. Из этого следует, что агрономический прогноз влияния органического удобрения на потенциальное плодородие почвы и урожаи сельскохозяйственных культур должен базироваться и на определении биологических показателей.

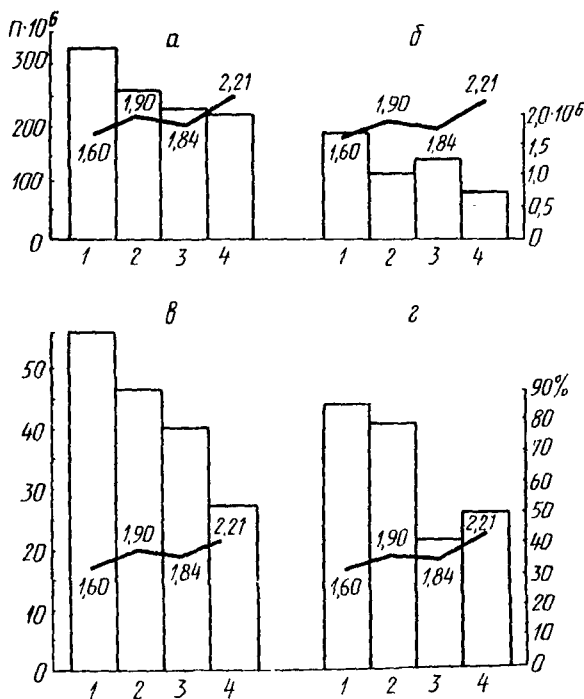


Рис. 4. Зависимость показателей биологической активности от содержания гумуса в почве: а — численность аммонифицирующих бактерий, млн. на 1 г гумуса, б — плесневых грибов, млн. на 1 г гумуса, в — актиномицетов, млн на 1 г гумуса, г — коэффициент накопления гумуса, %; 1 — навоз (80 т/га)+NPK, 2 — навоз (60 т/га)+торф (20 т/га)+NPK, 3 — навоз (40 т/га)+торф (40 т/га)+NPK, 4 — навоз (20 т/га)+торф (60 т/га)+NPK. Жирная линия — содержание гумуса, %

**Влияние возрастающих доз торфа на интенсивность
микробиологических процессов в дерново-подзолистой
почве, 1976 г**

Вариант опыта	Протеолитическая активность, %	Накопление нитратов мг NO ₃ на 100 г сухой почвы	Полифенолоксидазная активность, мг пурпургаллина на 10 г почвы за 2 ч
Контроль	73,2	2,97	0,44
Навоз (80 т/га) + NPK	75,2	6,08	0,50
Навоз (60 т/га) + торф (20 т/га) + NPK	75,7	6,03	0,41
Навоз (40 т/га) + торф (40 т/га) + NPK	71,9	5,07	0,40
Навоз (20 т/га) + торф (60 т/га) + NPK	70,7	4,84	0,36
НСР ₀₅	—	0,88	0,19

Общей закономерности подчиняется и изменение протеолитической, нитрифицирующей и полифенолоксидазной активности почвы по вариантам опыта (табл. 5).

В опыте самый высокий уровень нитрификации и активности полифенолоксидазы отмечен в варианте с навозом. Замена 50—75% навоза торфом привела к существенному уменьшению накопления нитратов и снижению полифенолоксидазной активности.

Выявленная обратная зависимость между численностью микроорганизмов, уровнем биологической активности и содержанием гумуса в почве показывает, что надо осторожно относиться к толкованию абсолютных значений количества гумуса. Содержание гумуса, характеризующее высокий уровень плодородия почвы, имеет прямую связь с биологической активностью почвы.

Микрофлора как показатель эффективности компостов, приготовленных на основе гидролизного лигнина

Для обеспечения потребностей сельскохозяйственного производства в органических удобрениях в Белоруссии ведется поиск новых их источников. Значительный интерес представляет использование отходов гидролизно-дрожжевой промышленности — лигнина. Гидролизный лигнин не имеет широкого применения в народном

хозяйстве, а многотоннажные отвалы его, занимая большие площади земель, являются источником загрязнения окружающей среды. Только на Бобруйском гидролизном заводе его скопилось около 900 тыс. т. Вступивший в строй Речицкий гидролизный завод за смену выбрасывает в отвалы до 400 т лигнина.

Лигнин представляет собой торфообразную массу со специфическим запахом. Около 50% его может быть использовано для питания растений и микроорганизмов: зольные элементы, воднорастворимые лигнокислоты, остаточные углеводы и др. В золе содержится (в %) K_2O —5; P_2O_5 —0,3; CaO —61,2; MgO —1,1; Fe_2O_3 —7,1; SiO_2 —25,3.

Лигнин обладает высокой поглотительной способностью и при внесении его в почву способен удерживать питательные соли, предохраняя их от вымывания атмосферными осадками. Это и определяет целесообразность применения его в качестве удобрения на легких почвах.

Полевые исследования, проведенные в 1971—1972 гг. с чистым лигнином, нейтрализованным доломитовой мукой или аммиачной водой, показали, что прибавка урожая картофеля, под который вносили лигнин, отсутствовала. Не меняло положения и внесение совместно с лигнином минеральных удобрений [309]. Однако качество клубней картофеля не снижалось. Содержание крахмала в клубнях в вариантах с лигнином даже превышало на 0,5—0,7% содержание его в вариантах с внесением торфа. Исследователи отмечают целесообразность использования лигнина для улучшения водно-физических свойств песчаной почвы и устранения загрязнений окружающей территории лигнинными отвалами. На второй и третий год исследований лигнин проявлял положительное последствие на урожай ячменя и овса.

Серия проведенных опытов показала эффективность внесения в песчаную почву различных видов лигнинных компостов, за время созревания которых возможно улучшение их биологического достоинства.

На экспериментальной базе «Подолесье» Речицкого района Гомельской области лабораторией окультуривания легких почв были приготовлены лигнинные компосты. Порция компостов на 1 га включала следующее количество лигнина, компостируемых и нейтрализующих добавок:

Влияние лигнинных компостов на содержание микроорганизмов,

Вариант опыта	Аммонификаторы	Споровые аммонификаторы	Бактерии, ассимилирующие минеральный азот	Актиномицеты	Плесневые грибы
Лигнин + Са	760	228	0	152	0
Лигнин + навоз + Са	16130	4382	2658	2704	1631
Лигнин + почва + Са	13580	163	0	421	136
Лигнин + торф + Са	18980	868	323	1919	7616

- 1) 30 т лигнина + 3,6 т доломитовой муки;
- 2) 30 т лигнина + 30 т почвы + 3,6 т доломитовой муки;
- 3) 15 т лигнина + 15 т навоза + 3,6 т доломитовой муки;
- 4) 15 т лигнина + 15 т торфа + 3,6 т доломитовой муки.

Все эти компоненты тщательно перемешивались и компстировались в течение пяти месяцев.

Эффективность лигнинных компостов испытывалась на дерново-подзолистой песчаной почве, развивающейся на связных песках, подстилаемых рыхлыми. На ячмене и картофеле изучали прямое действие компостов, а на овсе и люпине — последствие. Культуры удобряли минеральными удобрениями: $N_{60}P_{60}K_{90}$ под ячмень и овес, $N_{60}P_{60}K_{90}$ под картофель и $P_{60}K_{90}$ под люпин.

Эффективность компостов по годам исследований (1973—1977 гг.) была различна и в значительной степени зависела от погодных условий и выращиваемых культур.

За 5 лет изучения общая прибавка основной продукции изучаемых культур, выраженная в кормовых единицах, составила по отдельным видам компостов от 3,9 до 16,7 ц/га. Наиболее высокий эффект был получен от компостов, которые готовились на основе лигнина и навоза (1:1), и наименьший — от компоста лигнина с торфом.

Микробиологические анализы компостов, полученных в 1973 г., показали, что условия для жизнедеятельности микроорганизмов в каждом из них были одинаковыми. Наибольшая численность микробов обнаружена в компостах, приготовленных на основе

Таблица 6

тыс./г компоста

Целлюлозоразлагающие микроорганизмы	Денитрификаторы	Нитрификаторы
0	2	0
3822	340	2
122	65	0
3353	50	0

за и торфа (табл. 6). Общее содержание микроорганизмов в них возрастало в 30 раз по сравнению с нейтрализованной доломитовой мукой лигнином. Однако сравнение навозно-лигнинного и торфо-лигнинного компостов по содержанию отдельных групп микроорганизмов выявило преимущества первого из них. Особенно

четкие различия наблюдались в содержании спорообразующих бактерий, плесневых грибов, нитрификаторов и бактерий, потребляющих азот.

В торфо-лигнинном компосте содержание спорообразующих бактерий было в 5 раз, бактерий, потребляющих азот, в 9 раз меньше, чем в навозно-лигнинном компосте, а нитрификаторы в нем вообще не обнаруживались. Эти наблюдения свидетельствуют о менее благоприятном азотном режиме, складывающемся в торфо-лигнинном компосте. В то же время усиленное развитие в последнем плесневых грибов косвенно указывало на более кислую реакцию среды.

Таким образом, более высокая эффективность навозно-лигнинного компоста тесно связана с его биологическим состоянием.

Внесение биологически полноценного компоста в песчаную почву будет способствовать улучшению ее биологического состояния, повышению общего уровня плодородия.

Микробиологическая характеристика сапропелевых удобрений и их эффективность

В Белоруссии имеются огромные залежи сапропелей, которые оцениваются специалистами в 3,7 млрд. м³, что в пересчете на удобрения влажностью 50% составляет около 1 млрд. т [142].

В последние годы начата промышленная добыча сапропелей для нужд сельского хозяйства из озер Вечер Минской и Червоное Гомельской областей. Намечается дальнейшее увеличение производства сапропелевых удобрений.

Сапропель, как и навоз, наряду с органическими содержит почти все необходимые растениям питательные вещества и является комплексным органо-минеральным удобрением.

Опытные данные свидетельствуют о сравнительно высокой эффективности использования сапропелей в качестве удобрения. В Белорусском научно-исследовательском институте земледелия (в 1965—1966 гг.) органические сапропели дали прибавку картофеля на 31—78 ц/га, ячменя на 1,6—7,4 и овса на 2,2—4,1 ц/га [242].

В 1976—1978 гг. сотрудниками БелНИИ почвоведения и агрохимии проведены опыты на дерново-подзолистой среднеподзоленной рыхлосупесчаной почве, развивающейся на флювиогляциальных песках в колхозе «Чырвоная змена» Любанского района Минской области, в которых сравнивалось действие сапропелей озер Червоное и Вечер в севообороте с чередованием культур: картофель, ячмень, озимая рожь [236].

Эффективность сапропелей изучали в сравнении с навозом, минеральными удобрениями и известью. Сапропели вносили в дозах, эквивалентных 40 т навоза по содержанию в нем азота. Оказалось, что сапропель из оз. Червоное по эффективности превосходил таковой из оз. Вечер. Прибавка урожая от 1 т сапропелей составила 71—121 кг, а от 1 т навоза — 165 кг клубней картофеля. Авторы делают вывод о целесообразности использования сапропелей преимущественно на почвах легкого механического состава. Большой удельный вес песчаных и супесчаных почв среди пахотных земель республики позволяет считать проблему повышения плодородия последних важнейшей народнохозяйственной задачей. В этой связи актуальным становится изучение действия сапропелей на биологический режим почвы, отражающий состояние ее плодородия.

Следует отметить, что микрофлора белорусских сапропелей до сих пор изучена слабо [142]. Прежние исследования в основном были связаны с оценкой лечебных свойств сапропелей.

Общее число микроорганизмов в поверхностных слоях озерных отложений выражается сотнями миллионов на 1 г сырого ила, что свидетельствует о большой их роли в минерализации органического вещества [121, 299]. Е. С. Гуринович [56] обнаружила в верхних слоях сапропелевых отложений большое количество актино-

Сравнительная характеристика сапропелей по составу их микрофлоры, тыс/г сухого вещества

Вариант опыта	Аммонификаторы	Спорообразующие бактерии	Актиномицеты	Нитрификаторы
Сапропель оз. Червоное	22228	10746	8358	29
Сапропель оз. Вечер	20739	1797	138	10

мицетов, микроорганизмов, ферментативное оснащение которых позволяет им разрушать стойкие органические соединения. Отмечается разнокачественность состава микрофлоры по вертикальному разрезу отложений сапропелей. У одних интенсивная деятельность совершается на глубину до 6 м, у других она резко затухает в слое 0,4—0,6 м. Имеются сведения о положительном влиянии сапропелей на почвенную микрофлору в целом при использовании их в качестве удобрения [288, 289]. Обращает на себя внимание повышенное содержание в почве азотфиксаторов, полезная деятельность которых определяется способностью обогащать почву азотом за счет атмосферы и фунгистатической активностью.

Отмеченное выше явилось основанием для предпринятых нами исследований.

Микробиологическому анализу подвергали сапропели из озер Червоное и Вечер, а также смешанные образцы почв, отобранные спустя 1,5 месяца после внесения сапропелевых удобрений.

Сапропель оз. Вечер относится к карбонатному (17—28% карбонатов, зольность около 60%), оз. Червоное — к органическому типу.

Исследования позволили установить высокий уровень обсемененности обоих сапропелей микроорганизмами (табл. 7).

Как видим, сапропель из оз. Червоное характеризуется большей численностью спорообразующих бактерий (в 5 раз), актиномицетов (в 60 раз) и нитрификаторов. Этот факт косвенно указывает на более напряженный характер превращения органического азота и на возможность обеспечивать (по состоянию микрофлоры) более благоприятный азотный режим в почве по сравнению с сапропелем из оз. Вечер. Особенно большие различия выявлены в накоплении нитратов (табл. 8).

Уровень пероксидазной и полифенолоксидазной ак-

тивности обоих сапропелей одинаков (табл. 9). Процессы, катализируемые уреазой и аспарагиназой, активнее протекают в сапропеле оз. Червоное, что свидетельствует о более интенсивном режиме превращения азотистых соединений. На основе изучения инвертазной активности установлен факт более энергичного превращения углеродистых соединений в сапропеле оз. Червоное. То же относится и к характеру окислительных процессов, катализируемых дегидрогеназой.

Таблица 8

Накопление нитратов в сапропелях

Вариант опыта	NO ₃ на 100 г сухого сапропеля за недельную инкубацию
Сапропель оз. Червоное	145,44
Сапропель оз. Вечер	9,03
НСР ₀₅	5,17

В соответствии с особенностями микробиологического состояния сапропелей изменяется и биологическая активность почвы под влиянием их внесения (табл. 10, 11).

Как следует из приведенных данных, в почве с сапропелями возрастает содержание аммонифицирующих бактерий, их споровых форм, олигонитрофилов, бактерий, усваивающих минеральные формы азота.

Инвертазная активность почвы по навозу и сапропелю оз. Червоное была значительно выше, чем в контроле и в варианте с сапропелем оз. Вечер. Самая высокая аспарагиназная активность также обнаруживалась в почве, удобряемой сапропелем оз. Червоное.

При внесении сапропеля из оз. Червоное в дозе 58 т/га прибавка клубней картофеля в среднем за 3 года составила 82 ц/га, что равноценно действию N₁₁₂P₉₀K₁₂₀ и близко к эффективности, получаемой от 40 т навоза. Последствие этого сапропеля на урожай ячменя равнозначно последствию навоза и минеральных удобрений, и лишь на третий год несколько им уступает.

Эффективность сапропеля оз. Вечер оказалась несколько ниже таковой оз. Червоное. Прибавка клубней картофеля равна 53 ц/га.

Следовательно, биологически более активный сапро-

Т а б л и ц а 9

Ферментативная активность сапропелей (на 10 г сухого сапропеля)

Вариант опыта	Инвертаза, мг глюкозы за 4 ч	Уреаза	Аспарагиназа	Полифено- локсидаза	Пероксидаза	Дегидрогеназа, мг ТФФ за 24 ч
		мг азота за 4 ч		мг пурпургаллина за 2 ч		
Сапропель оз. Червоное	0,62	7,70	1,79	0,28	0,21	1,32
Сапропель оз. Вечер	0,45	4,60	0,45	0,29	0,17	0,95
НСР ₀₅	0,20	0,60	0,37	—	—	0,18

Т а б л и ц а 10

Влияние сапропелей на микрофлору почвы, тыс./г

Вариант опыта	Аммонифи- каторы	Споровые бактерии	Олигогни- трофилы	Бактерии, асси- милирующие мн- еральный азот
Контроль	55442	1218	40764	26132
Сапропель оз. Червоное	88706	2818	89778	57648
Сапропель оз. Вечер	70835	3704	93319	31790

**Влияние сапропелей на биохимические процессы в почве
(на 10 г почвы)**

Вариант опыта	Инвертаза, мг глюкозы за 4 ч	Уреаза	Аспара- гиназа	Полифено- оксидаза	Перокси- даза
		мг азота за 4 ч		мг пурпургаллина за 2 ч	
Контроль	0,76	3,45	0,20	0,27	0,19
Навоз (40 т/га)	0,93	3,43	0,30	0,29	0,20
Сапропель оз. Черво- ное	0,90	3,59	0,70	0,28	0,20
Сапропель оз. Вечер	0,74	3,48	0,27	0,28	0,20
НСР ₀₅	0,20	0,60	0,37	—	—

пель оказался лучшим по степени влияния на урожайность сельскохозяйственных культур и на повышение почвенного плодородия, определяемого по микробиологическим показателям. Нам представляется перспективным прогнозирование эффективности сапропелей на основе биологических тестов.

**Последствие приемов окультуривания
дерново-подзолистой супесчаной почвы
на микробиологические процессы**

Исследования проводили в лаборатории окультуривания легких почв на Полесской сельскохозяйственной опытной станции Калининского района (экспериментальная база «Липово») в 1971—1972 гг.

Опыт заложен в 1957 г., почва опытного участка — дерново-подзолистая, развивающаяся на связном песке, подстилаемом рыхлым, а с глубины 120—150 см — моренным суглинком.

До закладки опыта рН 4,3—4,6; Н_г — 2,92—2,96 м-экв, S — 0,76—1,0 м-экв на 100 г почвы; степень насыщенности почвы основаниями — 20,65—25,50%, содержание подвижного алюминия — 1,15—1,85 мг/100 г почвы, гумуса — 1,24—1,68%, общего азота — 0,055—0,084% [202]. Следовательно, почва опытного участка кислая и бедна питательными веществами.

Чередование культур в севообороте: люпин на зеленое удобрение и корм, озимая рожь + пожнивной люпин,

картофель, гречиха, люпин на зерно, кукуруза, озимая рожь + подсевная сераделла, овес.

Торф (100 т/га) вносили под люпин при закладке опыта, навоз (120 т/га) — под кукурузу и картофель, а минеральные удобрения $N_{105}P_{225}K_{320}$ распределяли по культурам в соответствии с их биологическими потребностями. Схема опыта включала следующие варианты: контроль (почва без удобрений с 1957 г.); зеленая масса люпина + навоз (120 т/га) + торфокрошка (100 т/га) + $N_{105}P_{225}K_{320}$; те же удобрения, но торф вносился на глубину 40 см; зеленая масса люпина + $N_{107}P_{225}K_{320}$.

В 1965—1967 гг. закончилась первая ротация севооборота. Экспериментальные данные показали, что наиболее эффективна система окультуривания с обычным внесением на глубину 0—20 см торфа, навоза, сидератов и минеральных удобрений в сочетании с известкованием, обеспечивающая самый высокий сбор зерна и более высокий урожай всех культур севооборота, а также улучшение комплекса физико-химических свойств почвы [201, 202, 203, 274, 307].

Система удобрения, построенная на использовании зеленой массы люпина в пару под рожь с последующим поддержанием плодородия почвы за счет минеральных удобрений, значительно повысила урожай всех культур, но была менее эффективной, чем система совокупного применения навоза, торфа и минеральных удобрений. Послойное внесение тех же удобрений (торф в дозе 100 т/га вносили под люпин слоем на глубину 40 см при вспашке болотным плугом, а торфяной навоз в таких же дозах под культуру слоем на глубину 25 см специальным агрегатом без оборота пласта) при выворачивании подпахотного слоя почвы на поверхность снизило продуктивность севооборота по сравнению с обычным внесением. В опытах В. Нарциссова, Н. Рыбаковой, Ю. Шапошниковой и др. [186] также не выявлено преимуществ глубокого внесения торфа.

Начиная с 1966 г. изучали последствие систем удобрения (на общем более высоком фоне) на урожай культур и свойства почв во второй ротации севооборота. В 1970 г. почва была известкована из расчета 1/2 гидролитической кислотности. В годы проведения микробиологических исследований (1971—1972 гг.) каждая делянка на участке под кукурузу была разделена пополам, на одну половину вносили только минеральные

удобрения — $N_{90}P_{60}K_{90}$, а на вторую — навоз (60 т/га) + $N_{45}P_{60}K_{90}$. Навоз запахивали на глубину 20 см.

Внесение навоза под кукурузу во второй ротации повысило продуктивность севооборота на 20—25 ц/га кормовых единиц [307]. Положительное последствие отмечено на протяжении довольно длительного времени. При этом самая низкая себестоимость продукции и наиболее высокий доход были получены от применения комплекса органических удобрений. В сумме за две ротации севооборота доход в варианте совокупного действия торфа, навоза, НРК был на 738 р. выше, чем в варианте с люпином и минеральными туками.

Повышенные дозы органических удобрений способствовали увеличению влажности почвы пахотного горизонта на протяжении всего вегетационного периода. Улучшение водно-физических свойств почв под влиянием окультуривания наблюдалось до конца второй ротации севооборота. Это говорит о длительном мелиорирующем действии торфа и навоза на торфяной подстилке на связнопесчаных почвах. Оценивая влияние систем удобрения на агрохимические свойства почвы, исследователи отмечают значительное увеличение суммы поглощенных оснований и степени насыщенности почв основаниями. В почве контроля (без удобрений) за это же время значительно снизилось содержание гумуса, общего азота, подвижных форм фосфора и калия. В варианте с использованием зеленых удобрений в сочетании с минеральными туками показатели агрохимических свойств почвы оставались близкими к исходным. Применение высоких доз торфа и навоза значительно увеличило содержание в почве гумуса, общего азота, подвижного фосфора.

Микробиологические исследования, включающие определение численности основных систематических групп микроорганизмов и суммарной их деятельности по аммонифицирующей, нитрифицирующей способности, накоплению свободных аминокислот, продуцированию почвой CO_2 и ферментативной активности (каталаза, инвертаза), проводили на участке с кукурузой по фону навоза и НРК. В течение вегетационного периода 1971 г. проведено четыре определения по всем перечисленным биологическим показателям, а в 1972 г. — три.

Следует отметить, что органические удобрения (торф и навоз), внесенные в первой ротации обычным спосо-

**Влияние приемов окультуривания дерново-подзолистой
песчаной почвы на урожай кукурузы, ц/га
(данные И. П. Острового)**

Вариант опыта	Вторая ротация		
	1971 г.	1972 г.	среднее за 1971—1973 гг.
Контроль	173	185	200
Люпин- -NPK	<u>451</u> 349	<u>289</u> 211	<u>388</u> 305
Люпин- -торф- -навоз- -NPK	<u>485</u> 406	<u>266</u> 209	<u>424</u> 356
То же, но торф внесен слоем на 40 см	<u>394</u> 271	<u>261</u> 197	<u>374</u> 288
НСР ₀₅	<u>67</u> 59	<u>57</u> 51	24,9

Примечание. В числителе — по навозному фону, в знаменателе — по безнавозному.

бом, проявили значительное последствие на урожай зеленой массы кукурузы во второй ротации (табл. 12). Так, в сравнении с вариантом, где в первой ротации торф и навоз не применяли, последствие их дало прибавку зеленой массы кукурузы 51 ц/га. Послойное внесение торфа и навоза положительного последствия не оказало.

Существенное снижение зеленой массы кукурузы в варианте с послойным внесением органических удобрений по сравнению с обычной их заправкой было получено в 1971 г. и по средним данным в 1971—1973 гг. В 1972 г. в силу особенностей погодных условий (за июль и август выпало осадков на 139 мм меньше среднемноголетней нормы, а температура воздуха в июле—августе была на 2,9—3,1° выше нормы) различия в урожае оказались недостоверны.

Способы внесения торфа и навоза по-разному влияли на агрохимические показатели пахотного и подпахотного горизонтов [264, 265]. В пахотном горизонте основные агрохимические показатели были лучше при обычном внесении удобрений.

Учет численности микроорганизмов позволил выявить, что и здесь проявилось положительное последствие торфа и навоза, внесенных в первой ротации (табл. 13).

Установлено, что во всех вариантах окультуривания по сравнению с контролем накапливалось больше нитратов, свободных аминокислот, усиливалась инвертазная активность (табл. 14). Самые высокие показатели накопления свободных аминокислот установлены в вариантах с внесением комплекса органических удобрений на фоне навоза. Совместное внесение люпина, торфа и навоза в последствии (на фоне NPK) сопровождалось увеличением инвертазной активности, послойное же — существенным снижением ее. В последнем случае наметилась также тенденция к снижению уровня каталазной активности. Отрицательное влияние подпахотного горизонта, примешивающегося при послойном внесении к пахотному, проявилось в качественном составе отдельных аминокислот (табл. 15).

Таблица 13

Влияние приемов окультуривания дерново-подзолистой песчаной почвы на микрофлору, тыс/г (средние данные за вегетационный период)

Вариант опыта	Аммонифика- торы		Микроорганизмы на КАА		Плес- невые грибы
	всего	бацил- лы	бактерии	активно- мицеты	
Контроль	3440	489	3322	1173	64
<i>По фону навоз+NPK</i>					
Люпин+NPK	5382	495	3242	1339	74
Люпин+навоз+торф (задел- ка на 20 см)+NPK	7566	513	5353	1764	70
То же, но при послойном внесении торфа и навоза	8715	472	7156	1536	76
<i>По фону NPK</i>					
Люпин+NPK	3255	458	4045	916	70
Люпин+навоз+торф (задел- ка на 20 см)+NPK	4782	591	3524	1559	73
То же, но при послойном внесении торфа и навоза	4011	373	3054	1412	70
НСР ₀₅	2622	202	2429	537	13

**Влияние окультуривания дерново-подзолистой песчаной
почвы на биологическую активность (средние данные)**

Вариант опыта	Содержание NO ₃ , мг/100 г сухой почвы		Накопление амино- кислот, мкг/1 г ткани (по лейцину)	Выделение CO ₂ , мг/м ² /ч	Активность	
					ката- лазы	инвер- тазы
	до	после			мл O ₂ на 1 г сухой почвы за 2 мин	мг глюкозы на 1 г почвы за 4 ч
Контроль	2,90	5,48	125	562,1	1,05	1,57
<i>По фону навоз+NPK</i>						
Люпин+NPK	8,59	11,03	195	842,2	1,06	2,37
Люпин+навоз+торф+NPK (обычное внесение)	8,03	10,56	223	848,6	1,12	2,16
То же, торф и навоз вне- сены послойно	8,30	11,01	264	712,7	0,93	1,66
<i>По фону NPK</i>						
Люпин+NPK	12,14	13,79	194	—	0,90	1,60
Люпин+навоз+торф+NPK (обычное внесение)	5,30	7,71	162	541,4	0,88	2,09
То же, но торф и навоз внесены послойно	4,39	6,25	165	539,4	0,58	1,61
HCP _{0,5}	3,2	3,5	94	121,4	0,45	0,32

При послойном внесении органических удобрений содержание отдельных аминокислот в почве уменьшается по сравнению с обычным внесением этих удобрений (лейцина в 2—3 раза, а метионина в 1,5—5 раз). Суммарное накопление свободных аминокислот коррелирует с количеством гумуса (рис. 5).

Как видим, при использовании люпина с NPK доля аминокислот и гумуса сохраняется на уровне контроля. Самому высокому содержанию гумуса в варианте обычного внесения комплекса органических удобрений (1,92%) соответствует и большее накопление в почве свободных аминокислот (310 мкг/100 г почвы). Послойное внесение органических удобрений вызывает снижение в почве гумуса и уменьшение продукции свободных аминокислот.

Навоз резко стимулирует микробиологическую деятельность (см. табл. 13, 14) (различия сравниваемых вариантов по ряду биологических показателей менее ощутимы). Так, по доле аммонификаторов, актиномицетов, бактерий, потребляющих подвижный азот, содержанию нитратного азота, каталазной активности оба варианта не различались. Различия сохранялись по «дыханию» почвы и активности инвертазы. Приведенные данные указывают на возможность устранения неблагоприятного последствия перемешивания генетических горизонтов путем внесения свежего органического вещества. Таким образом, по микробиологическим данным и на 14-й год отмечается положительное последствие люпина, навоза и торфа, внесенных в пахотный горизонт. В варианте с глубокой заделкой торфа и навоза обеспечивается восстановление уровня содержания микрофлоры до оптимального.

Изложенный материал свидетельствует о наличии определенной корреляции между урожаем и биологическими показателями. Рассмотренные приемы окультуривания в разной степени повышали урожай кукурузы и одновременно усиливали микробиологический тонус почвы. При внесении навоза как урожай кукурузы, так и энергия биологических процессов были выше по сравнению с NPK. Урожай кукурузы и отдельные показатели

Таблица 15

Содержание свободных аминокислот в дерново-подзолистой песчаной почве, мкг/100 г. сухой почвы. Май 1972 г.

Вариант опыта	Лей-цин	Метионин	Треонин	Глютамин-овая кислота	Серин
<i>По фону навоза+NPK</i>					
Люпин+NPK	15	Следы	18	20	10
Люпин+навоз+торф+NPK	107	49	48	77	29
То же, но торф и навоз внесены послыжно	50	29	39	61	24
<i>По фону NPK</i>					
Люпин+навоз+торф+NPK	28	21	28	42	Следы
То же, но торф и навоз внесены послыжно	8	4	9	24	Следы

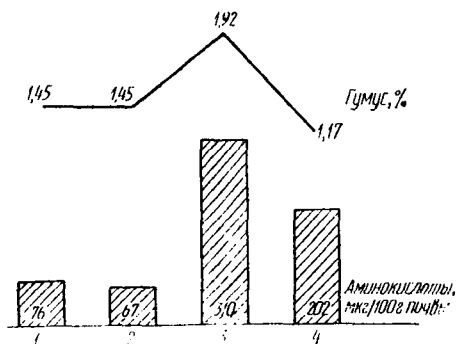


Рис. 5. Связь между содержанием гумуса и накоплением аминокислот в дерново-подзолистой песчаной почве при окультуривании: 1 — без удобрений, 2 — зеленые удобрения+NPK, 3 — зеленые удобрения+навоз+торф+NPK, 4 — зеленые удобрения+навоз+торф на 40 см+NPK

микробиологической активности оказались более высокими в варианте последействия совокупного внесения органических удобрений на глубину 0—20 см.

Оценка степени окультуренности дерново-подзолистых почв по биологическим показателям

Исследования по выявлению биологических свойств дерново-подзолистых почв разной степени окультуренности проводили в 1976—1977 гг. в условиях вегетационно-полевого опыта, производственных посевов ячменя на рендомизированных выборках (метровках) и длительного стационарного опыта.

Вегетационно-полевой опыт закладывали в сосудах без дна, вмещающих 32—34 кг почвы. Были подобраны почвы одного генезиса, но различающиеся степенью окультуренности (табл. 16).

Как видим из данных таблицы, почвы характеризовались низким, средним и высоким уровнями плодородия.

Определение численности ряда физиологических групп микроорганизмов показало, что наиболее четкие изменения выявлены по группе спорообразующих бактерий (табл. 17). Содержание последних с окультуриванием почвы возрастало в 2—4 раза. Аналогичные данные были получены и для супесчаной почвы.

Комплексный метод оценки биологической активности почвы в относительных величинах по методу Ацци [14] четко отражает уровень плодородия, характеризующий интегральным показателем — величиной урожая (табл. 18).

Суть метода заключается в том, что по каждому биологическому показателю дается относительная оценка его изменения по уровням плодородия. При этом за 100 принимается наибольший показатель. Относительные величины всего комплекса биологических характеристик суммировали по каждому уровню отдельно и выводили окончательную оценку на основе полученных величин. Результаты свидетельствуют о снижении урожая ячменя от высокого к низкому уровню плодородия (в 2 раза) и параллельному уменьшению суммарной биологической активности почвы. Нитрифицирующая способность уменьшалась при этом в 2,0—2,5, целлюлолитическая активность — в 3,0—3,5 раза.

Т а б л и ц а 16

Агрохимическая характеристика дерново-подзолистой почвы разного уровня плодородия (вегетационно-полевой опыт). 1976 г. (данные М. И. Ярошевича)

Уровень плодородия	Гумус, %	pH _{KCl}	P ₂ O ₅	K ₂ O
			мг/100 г почвы	
Супеси				
Высокий	3,25	5,36	50,0	32,0
Средний	2,18	5,03	12,5	23,1
Низкий	1,68	4,64	4,2	8,8
Суглинки				
Высокий	3,81	6,50	63,5	46,0
Средний	2,10	5,90	30,0	21,7
Низкий	1,90	5,05	13,6	13,7

Т а б л и ц а 17

Влияние уровня плодородия дерново-подзолистой суглинистой почвы на состав микрофлоры, тыс/г. Май 1976 г.

Уровень плодородия почвы	Аммонификаторы	Споровые бактерии	Бактерии на КАА	Актинomicеты	Плесневые грибы	Олигонитрофилы
Высокий	1978	891	1424	274	25	2857
Средний	1872	475	2345	1294	26	5602
Низкий	1096	221	824	708	39	3169
НСР ₀₅	972	234	915	866	2	6604

Характер изменения ферментативной активности почвы по уровням плодородия подтверждает общую закономерность: самый высокий уровень полифенолоксидазы и инвертазы наблюдали на почвах высокого уровня плодородия. Снижение уровня плодородия влечет за собой падение ферментативного «пула» или запаса ферментов в почве, отражающего общий уровень биологической активности.

В почве дегидрогеназы не накапливаются, а определяется дегидрогеназная активность популяции микроорганизмов, отражающая метаболизм почвы в цикле углерода [208, 365]. Экспериментальные данные по дегидрогеназной активности подтверждают общую закономерность изменения ферментативной активности по вариантам.

Потенциальная азотфиксирующая способность почвы может быть с успехом применена для характеристики уровня плодородия почв. Литературные данные также говорят о возможности оценки общего биологического состояния почвы на основе потенциальной азотфиксирующей способности [81].

Необходимым требованием при подборе опытных участков в производственных условиях явилось сохранение однородности исследуемых выборок (объектов) по почвенным и агротехническим условиям выращивания растений (предшественник, удобрения, обработка почвы, сроки сева, уход), что позволило свести до минимума влияние отмеченных факторов на результативность.

Данные определения биологических характеристик в почвах рендомизированных выборок (метровках) на производственных посевах ячменя были сгруппированы по урожаю (табл. 19). Для каждой группы вычислены средние значения содержания гумуса и биологических показателей. Содержание подвижных форм фосфора в суглинистой почве изменялось по группам от 25,4 до 49,8 мг, калия — от 12,3 до 29,0 мг на 100 г почвы, рН 5,5—6,3. Содержание подвижных форм фосфора в супесчаных почвах выборки варьировало от 16,1 до 28,5 и калия — от 7,4 до 12,9 мг на 100 г почвы, кислотность находилась в пределах рН 5,3—5,9.

Из приводимых данных следует, что рост урожайности ячменя тесно связан со степенью гумусированности почвы и общим биологическим тонусом. Следовательно, о состоянии плодородия почв подзолистого типа доста-

Относительная оценка уровня плодородия дерново-подзолистой почвы по биологическим показателям (вегетационно-полевой)

Уровень плодородия	Урожай ячменя	Дегидрогеназа	Полифенолоксидаза	Инвертаза	Способность почвы		
					нитрификационная	целлюлозолитическая	потенциальная азотфиксирующая

Супеси

Высокий	100	100	100	100	100	100	100
Средний	73	36	84	63	63	54	55
Низкий	50	22	67	33	43	32	20

Суглинки

Высокий	100	100	100	100	100	100	100
Средний	75	73	52	93	52	83	41
Низкий	73	79	44	85	46	66	34

точно полно можно судить на основании активности инвертазы, полифенолоксидазы, дегидрогеназы, способности почвы к несимбиотической азотфиксации, распаду клетчатки, выделения CO_2 и содержания спорообразующих бактерий.

Анализ видового состава спорообразующих бактерий дерново-подзолистой почвы разной степени окультуренности выполнен по итогам многолетнего стационарного опыта отдела динамики почвенных процессов в 1966—1967 гг. Почва стационара — дерново-палево-подзолистая среднеподзоленная, развивающаяся на легком лесовидном суглинке, подстилаемом моренным суглинком. Опыт на среднеокультуренной почве ставился в экспериментальном хозяйстве института, на слабоокультуренной — на территории лежащего рядом колхозного поля.

Исходные почвенно-грунтовые условия обоих стационаров одинаковые [230]. Было заложено по два севооборота по единой схеме (сидеральный и паропропашной), в которых выращивали важнейшие сельскохозяйственные и бессменные культуры. Обработку и удобрение полей проводили в соответствии с требованиями агротехники.

Главными свойствами описываемых почв, определяющими степень их окультуренности и урожайность сельскохозяйственных культур, являются мощность па-

Таблица 18
супесчаной и суглинистой опыт). 1976 г.

Сумма показателей	Оценка показателей биологической активности, %
-------------------	--

Супеси

700	100
428	61
267	39

Суглинки

700	100
469	67
427	61

хотного горизонта, кислотность, содержание подвижного алюминия, сумма поглощенных оснований, степень насыщенности основаниями и качественный состав гумусовых веществ [232]. В среднеокультуренной почве мощность пахотного горизонта составляла около 30 см, подзолистый горизонт был распахан, за пахотным горизонтом следовал переходный — A_2B_1 . В слабоокультуренной почве мощность пахотного горизонта не превышала 22 см, сохранен горизонт A_2 .

Данные агрохимических свойств почв показали, что значение pH (в KCl) в средне- и слабоокультуренных почвах варьировало от 4,9 до 5,2. Слабоокультуренные почвы осенью 1961 г. известковали в дозе по 1/2 гидролитической кислотности, среднеокультуренные не известковали. Гидролитическая кислотность в среднеокультуренных почвах колебалась в пределах 3,00—3,62, в слабоокультуренных — 3,27—4,32 м-экв на 100 г почвы; сумма поглощенных оснований соответственно 8,0—8,8 и 4,1—5,9 мг-экв на 100 г почвы, степень насыщенности основаниями — 70,1—75,7 и 48,7—59,1%. Содержание подвижного фосфора (по Кирсанову) в среднеокультуренной почве равнялось 25,5—31,2 мг, в слабоокультуренной — 20,1—23,4 мг на 100 г почвы; обменного калия (по Масловой) в почвах обоих стационаров было 10,0—11,0 мг на 100 г почвы, что связано с однородностью их по минералогическому составу; подвижного алюминия в первых почвах находилось в пределах 0,14—0,34, во вторых — 0,63—2,88 мг на 100 г почвы.

В зависимости от степени окультуренности почв наблюдались различия в содержании гумуса и его качественном составе. Так, в удобренных вариантах среднеокультуренной почвы гумуса содержалось 1,88—2,16%, на неудобренных — 1,81—1,90%, в слабоокультуренной почве соответственно 1,61—1,90 и 1,43—1,86%. В гумусе среднеокультуренных почв содержание гуминовых кислот 22—25%, в слабоокультуренных 18,62—19,29%.

Изменение урожая ячменя в зависимости от содержания гумуса и биологических свойств дерново-подзолистой почвы. 1977 г.

Группа по урожаю, ц/га	Количество деленок в группе	Гумус, %	Среднее по группам (относительная оценка)				
			поли-фенол-окси-даза	инвер-таза	накопление нитратов	азот-фикса-ция	выделение CO ₂

Суглинки

35,1—40,0	8	2,15	100	100	100	100	100
25,1—30,0	11	2,00	95	76	96	95	76
20,1—25,0	16	1,80	66	62	91	84	68
15,1—20,0	8	1,60	62	51	80	79	58

Супеси

35,1—40,0	7	2,53	100	100	100	100	100
30,1—35,0	12	2,41	93	86	82	91	81
25,1—30,0	12	2,32	86	81	65	87	70
20,1—25,0	12	2,22	80	73	56	64	63

На деланках бессменного пара, как на удобренных, так и неудобренных, содержание гумуса и азота было меньше, чем на деланках севооборота [275]. Соотношение C:N в пахотном горизонте среднекультуренной почвы находилось между 8—9, в слабокультуренной почве оно возросло до 9—11.

Принято считать, что важным показателем повышения плодородия почв является увеличение отношения $C_r : C_f$, которое в среднекультуренных почвах варьирует от 0,697 до 1,10, в слабокультуренных — от 0,416 до 0,892 [232].

На удобренных почвах одновременно с увеличением содержания гумуса отмечено повышение содержания гуминовых кислот, повышение отношения C_r / C_f и уменьшение содержания наиболее подвижной и агрессивной фракции фульвокислот — Ia, играющей большую роль в процессах подзолообразования. Среднекультуренной почве соответствовал более высокий уровень биологической активности, определяемой на основании анализа ее микронаселения [233, 234]. С повышением степени окультуренности почв существенно возрастали также урожай озимой ржи и картофеля. Самыми многочисленными группами среди почвенного микронаселения были бактерии, ассимилирующие минеральные формы азота,

в том числе актиномицеты, олигонитрофилы и аммонифицирующие бактерии.

Среди целлюлозоразлагающих микроорганизмов на среднеокультуренной почве преобладали физиологически активные бактериальные виды, тогда как в слабоокультуренной большее распространение получили слабые разрушители клетчатки — актиномицеты и грибы.

Придавая важное значение микроорганизмам как тонким индикаторам изменения почвенной среды, особое внимание уделялось анализу бациллярного микронаселения. Е. Н. Мишустин [164] показал, что в хорошо окультуренных дерново-подзолистых почвах качествен-

Т а б л и ц а 20

Содержание 5 наиболее распространенных видов спорообразующих бактерий в дерново-палево-подзолистой почве (средние данные из 5 определений за 1966 г.)

Вариант опыта	МПА		МСА	Вегетативные клетки бацилл	
	тыс./г абсолютно сухой почвы	% от всех бактерий	тыс./г абсолютно сухой почвы	тыс./г абсолютно сухой почвы	% от всех бацилл на МПА
Пар бессменный удобренный	564	22,0	217	377	61,5
	234	13,8	89	148	62,0
Озимая рожь бессменная с удобрениями	601	32,8	152	449	74,7
	470	35,7	58	412	87,6
Озимая рожь в пропашном севообороте	621	34,3	146	479	76,5
	476	27,3	76	277	84,0
Озимая рожь в сидеральном севообороте	1074	44,2	251	822	76,6
	494	42,6	68	426	86,2
Картофель бессменный удобренный	684	17,6	199	484	70,9
	719	36,4	87	632	87,9
Картофель в паропропашном севообороте	766	31,8	168	597	77,9
	431	26,2	85	328	76,1
Картофель в сидеральном севообороте	688	21,8	231	457	66,4
	423	27,8	107	318	75,2

Примечание. Числитель — данные, касающиеся среднеокультуренной почвы, знаменатель — слабоокультуренной.

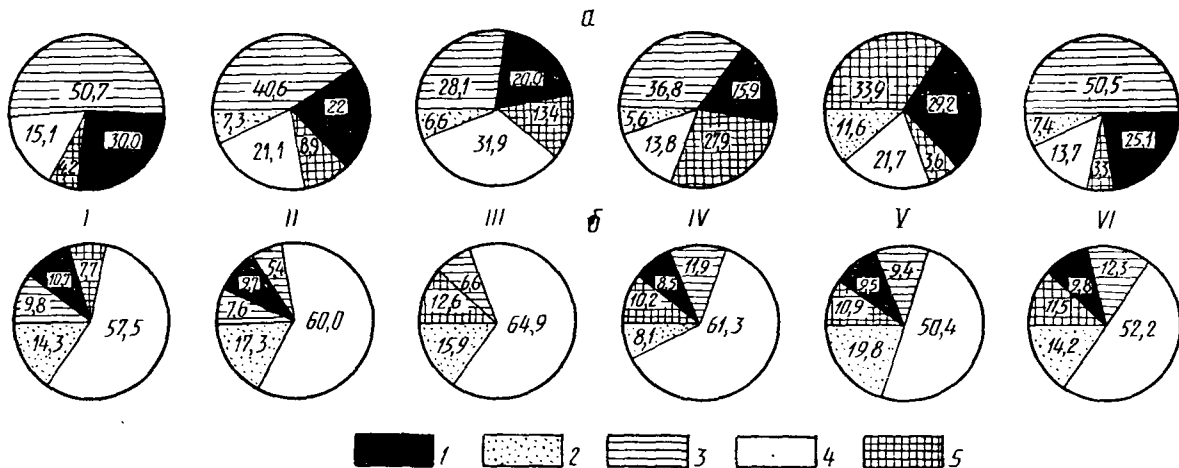


Рис. 6. Влияние степени окультуренности дерново-подзолистой (палевой) почвы (а — слабоокультуренной, б — среднеокультуренной) на видовой состав бацилл: I — залежь, II — пар бессменный, удобренный, III — озимая рожь бессменная, удобренная, IV — озимая рожь в паропропашном севообороте, V — картофель бессменный, удобренный, VI — картофель в паропропашном севообороте; 1 — *Bac. typhimuricus*, 2 — *Bac. idosus*, 3 — *Bac. cereus*, 4 — *Bac. megatherium*, 5 — *Bac. mesentericus*

ный состав спороносной микрофлоры сходен с составом бацилл в почвах более южного типа.

Нашими исследованиями установлено, что с повышением степени окультуренности почв общая численность спорообразующих бактерий возрастала в 1,5—2 раза (табл. 20).

Наиболее широко представлены в дерново-подзолистых почвах 5 видов бацилл — *Bac. cereus*, *Bac. mycoides*, *Bac. idosus*, *Bac. megatherium*, *Bac. mesentericus*, хорошо распознаваемых по сумме морфологических и культурных свойств [116]. Названные виды бацилл характерны для различных типов почв Белоруссии [31, 85].

Из всех аммонифицирующих бактерий споровые формы 5 видов бацилл составили 13,8—44,2%. Это говорит о большом удельном весе спорообразующих бактерий среди почвенного микронаселения, поскольку группа аммонифицирующих бактерий является одной из самых многочисленных в дерново-подзолистой почве. Значительная часть бацилл находилась в вегетативной форме, следовательно, в деятельном состоянии.

Отчетливо вырисовывается характер влияния степени окультуренности почвы на видовой состав бацилл (рис. 6). В более окультуренной почве преобладали *Bac. megatherium*. Они составляли 50,4—64,9% суммарного содержания споровых бактерий в этой почве. На их долю в слабоокультуренной почве приходится только 13,7—31,9%.

Второй по величине группой споровых микроорганизмов в более окультуренной почве были *Bac. idosus*. Содержание *Bac. cereus*, *Bac. mycoides* с окультуриванием почв резко уменьшилось. Если в слабоокультуренной почве на первом месте по содержанию среди бацилл стоит *Bac. cereus* (28,1—50,7), затем *Bac. mycoides* (15,9—30,0), то в среднеокультуренной почве их соответственно 6,6—12,3 и 0—10,7%.

Приведенные результаты показывают, что для целей биодиагностики степени окультуренности дерново-подзолистых почв можно использовать анализ видового состава споровых микроорганизмов. В среднеокультуренной почве содержание *Bac. megatherium* находится в пределах 45—66%, *Bac. cereus* — 5,1—13,0%, в слабоокультуренной соответственно 13,7—31,9 и 28,1—50,7%.

Глава 3

ИЗМЕНЕНИЕ БИОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТЫХ ПОЧВ ПРИ ДЛИТЕЛЬНОМ ПРИМЕНЕНИИ УДОБРЕНИЙ

Влияние различных систем удобрений на биологическую активность почвы

Решающую роль в повышении урожайности сельскохозяйственных культур на дерново-подзолистых почвах играет рациональное применение органических и минеральных удобрений.

Многочисленными стационарными опытами с удобрениями, проведенными в различных почвенно-климатических условиях, установлена равноценность внесения навоза и минеральных удобрений на урожай культур [123]. Однако данные химического изучения почвы и растений показали, что под влиянием длительного использования почвы в севообороте при различных системах ее удобрения формируется неодинаковое плодородие.

При систематическом применении смешанной системы удобрений в большей мере, чем при других условиях, улучшается плодородие почвы по всем показателям [24, 146].

В период интенсификации сельского хозяйства научно обоснованная оценка длительного применения удобрений с целью повышения плодородия почвы и урожая приобретает исключительный теоретический и практический интерес. Решение этой проблемы возможно лишь с проведением многолетних стационарных опытов [70, 71, 110, 148].

Одним из важнейших почвенных режимов, влияющих на эффективность минеральных удобрений, является микробиологический режим. С повышением биологической активности почв значительно возрастают абсолютные прибавки урожаев при внесении одних и тех же удобрений [25].

Влияние различных систем удобрений на биологическое состояние дерново-подзолистых почв изучали на

основании многолетних опытов Института картофелеводства и плодовоовощеводства (экспериментальная база «Лошица-1») и на Витебской опытной сельскохозяйственной станции (экспериментальная база «Тулово»). В первом случае опыты проводились с овощными культурами с 1948 г. Чередование культур в севообороте следующее: ранний картофель, капуста, томаты, огурцы, морковь. Известкование почвы проводили при закладке опыта и повторно — в 1956 г. Из минеральных удобрений использовали аммиачную селитру (34% N), порошковый суперфосфат (18—20% P_2O_5), калийную соль (41% K_2O).

Почва опытного участка — дерново-подзолистая, среднеподзоленная, среднеокультуренная, развивающаяся на мощном лессовидном суглинке, подстилаемом с глубины 2 м моренным суглинком. Указанные почвы занимают на территории Белоруссии 21,6% всей площади [231]. Используются преимущественно под пашней (85%) и имеют самое высокое естественное плодородие среди подзолистых почв Белоруссии [256].

Под влиянием рациональной системы агротехнических воздействий дерново-подзолистые почвы постепенно переходят в категорию окультуренных, обладающих новыми биохимическими, химическими и физическими свойствами. При окультуривании почв постепенно затухает, а затем и совсем прекращается подзолообразовательный процесс, существенно изменяется дерновый, свойственный целинным почвам. Дальнейшая эволюция почв определяется главным образом агротехническими приемами [47].

По степени окультуренности дерново-подзолистые почвы делят на три категории: культурные, среднеокультуренные и слабоокультуренные. Критериями для разделения служат важнейшие, относительно устойчивые свойства: мощность пахотного горизонта и его структурность; наличие или отсутствие в профиле почвы подзолистого горизонта; содержание перегноя в пахотном слое; насыщенность почвы основаниями; величина pH в KCl ; степень обеспеченности подвижными формами фосфора и калия; наличие или отсутствие на поле следов эрозионных процессов.

Степень окультуренности почвы находится в тесной связи с ее плодородием [53]. Окультуренность почв, т. е. изменение процессов и свойств, вызванное приемами

агротехники и мелиорации, определяется свойствами почв и контролируется плодородием (урожаем и другими путями).

Длительное и систематическое применение органических удобрений отдельно и в сочетании с минеральными в описываемом опыте оказало непосредственное влияние на изменение морфологического строения почвенного профиля [141]. Окраска верхних горизонтов варьировала от светло-серой до темно-серой, структура — от пылевато до комковато-зернистой; увеличилась мощность перегнойного горизонта на 3 см в вариантах с органическими и на 11—15 см в вариантах совместного применения органических и минеральных удобрений; почти исчез подзолистый горизонт A_2 .

Внесение полного минерального удобрения стабилизировало содержание гумуса на одном и том же уровне (табл. 21). С точки зрения обеспечения расширенного воспроизводства плодородия почв такое положение нельзя признать перспективным [24]. Внесение органических удобрений, особенно в сочетании с минеральными, способствует накоплению в почве гумуса и улучшению его качественного состава. Отмеченная закономерность подтверждается и другими исследователями [55].

В вариантах с навозом, торфо-навозным компостом, а также при совместном внесении последних с минеральными удобрениями группа гумусовых кислот, особенно фракции, связанной с кальцием, значительно увеличивается, а «агрессивной» фракции фульвокислот снижается.

В результате многолетнего применения удобрений происходит существенное изменение состояния кислотности почвы. Она уменьшается в вариантах с применением органических удобрений или при сочетании их с минеральными. В этих вариантах отмечена и наибольшая степень насыщенности почв основаниями (81,8—92,5%).

Особенностью почвы данного стационара является высокая обеспеченность подвижными формами фосфора (29,3 мг/100 г почвы в контроле) и низкая — подвижным калием (5,0 мг/100 г почвы).

Самый высокий средний урожай овощных культур за третью ротацию севооборота (1966—1970 гг.) получен при использовании смешанных систем удобрений (табл. 22). Полное минеральное удобрение обеспечило

Влияние различных удобрений на состав гумуса (А. П. Лозийчук, 1971 г.)

Вариант опыта	Общий С, %	Гумус, %	Общий N, %	C : N	Углерод отдельных фракций. % от общего С почвы			Гуми- новые кисло- ты, %	Фуль- вокис- лоты, %	C _Г /C _Ф	Негидра- лизуемый остаток, %
					ГК, выделя- емые 0, 1л NaOH из не- декальциниро- ванной почвы	ГК, связанные с кальцием	фульвокис- лоты 1а фракций				
Контроль	0,80	1,38	0,127	6,3	3,8	12,5	5,0	16,3	38,7	0,43	45,0
N ₉₀ P ₉₀	1,26	2,17	0,150	8,4	4,8	23,0	4,0	27,8	23,0	1,21	49,2
N ₉₀ K ₁₂₀	0,96	1,66	0,138	7,0	5,2	9,4	5,2	14,6	45,8	0,33	39,6
P ₉₀ K ₁₂₀	0,88	1,51	0,131	6,7	4,5	11,4	4,2	15,9	47,7	0,34	36,4
N ₉₀ P ₉₀ K ₁₂₀	1,14	1,97	0,151	7,5	5,3	18,4	4,5	23,7	27,2	0,87	49,1
Навоз (20 т/га)	1,32	2,28	0,152	8,7	3,8	22,7	3,8	26,5	26,5	1,0	47,0
ТНК (20 т/га), 2 : 1	1,32	2,28	0,153	8,6	3,8	25,7	3,8	29,5	23,5	1,26	47,0
Навоз + N ₅₀ P ₅₀ K ₁₂₀	1,57	2,71	0,156	10,1	3,8	21,0	4,5	24,8	23,6	1,05	51,6
ТНК + N ₅₀ P ₅₀ K ₁₂₀	1,70	2,93	0,159	10,7	3,5	20,6	4,1	24,1	18,8	1,28	57,1

**Урожай овощей и раннего картофеля за ротацию севооборота,
ц/га. 1966 — 1970 гг.**

Вариант опыта	Картофель, 1966 г.	Капуста, 1967 г.	Огурцы, 1968 г.	Томаты, 1969 г.	Морковь, 1970 г.	Средний урожай овощей
Контроль	78	532	63	203	329	241
NP	100	675	70	251	346	288
NK	131	810	115	403	434	379
PK	129	682	194	430	458	379
NPK	145	861	202	453	566	445
Навоз	153	781	175	401	500	402
ТНК	143	718	134	302	473	354
Навоз+NPK	165	911	266	439	536	463
ТНК+NPK	163	910	224	476	504	455
m, %	1,8	1,9	—	4,3	2,5	—
НСР _{0,5}	7	38	—	45	37	—

более высокий урожай овощей, чем навоз или торфо-навозный компост. Различия в урожае при минеральной и смешанной системах удобрений по ряду культур не существенны.

При использовании азотно-фосфорной комбинации удобрений средний урожай овощей незначительно отличался от неудобренного контроля. При отсутствии азотных удобрений (вариант РК) урожай овощей был намного выше. В этом случае активная минерализующая деятельность микрофлоры обеспечивала растения азотом за счет внутренних ресурсов самой почвы. Содержание гумуса при этом уменьшилось с 2,09 до 1,51%.

Изучение биологического режима почвы при различном применении удобрений проводили с использованием многих методов, позволивших оценить изменения в составе микрофлоры, в важнейших микробиологических и биохимических процессах при длительном (20 лет) ежегодном воздействии удобрений на почву.

Микрофлора почвы. Плодородие почвы неразрывно связано с жизнедеятельностью почвенных микроорганизмов, и все агрономические мероприятия оказывают су-

ственное влияние на ее микрофлору [10, 168, 181]. Жизнедеятельность микроорганизмов, как известно, обусловлена физико-химическими свойствами почвенной среды. Большинство биологических реакций определяется в ней глинистыми и гумусными коллоидами, а также глинисто-гумусовыми комплексами. В конечном итоге почва представляет собой своеобразную биологическую лабораторию, в которой живут, непрерывно рождаются и умирают бесчисленные популяции организмов, определяющие как возникновение, так и развитие самой почвы [216].

Микробные метаболиты тесно взаимодействуют с почвой, придают ей определенные свойства [117]. Следовательно, чтобы познать сущность плодородия почв или установить закономерности их формирования и генезиса, следует глубже изучить процессы, происходящие в почве.

Работами Н. А. Красильникова [117], Т. Г. Мирчинк, И. В. Асеевой [162], Л. Н. Степановой [259] показано, что слабоокультуренные дерново-подзолистые почвы в ряде случаев мало плодородны не только из-за недостатка питательных веществ, кислой реакции среды, но и из-за токсичности по отношению к растениям, вызванной биологическими факторами микробного происхождения, так называемыми микробами-ингибиторами. Окультуривание почв влечет за собой снижение фитотоксического потенциала. В процессе окультуривания почв подзолистого типа в значительной степени утрачиваются специфические черты их биологии, что связано с кардинальным изменением условий существования микроорганизмов.

Работы по влиянию длительного применения удобрений в севообороте на микрофлору почвы немногочисленны [21, 22, 97, 177]. К этому следует также добавить, что данные о микробиологии почв, как правило, мало увязаны с физико-химическими свойствами почв, а в ряде случаев сведения о свойствах почвы вообще не приводятся. Известно, что органические удобрения повышают уровень ее биогенности [48, 80, 88, 174]. Благоприятные изменения в составе микрофлоры почвы отмечаются при совместном внесении органических и минеральных удобрений [91, 115, 138, 156].

Влияние минеральных удобрений на почвенную микрофлору более сложное и зависит от продолжительности

их действия, видов удобрений, доз, соотношений, агрохимических свойств почвы, ее влажности, возделываемых культур, буферности почвы [46, 158, 362].

Ряд авторов указывают на стимулирующее действие минеральных удобрений на микрофлору [43, 49, 258]. Е. Н. Мишустин [165] отмечает благотворное влияние небольших и угнетающее действие больших количеств минеральных удобрений на численность микрофлоры.

Минеральные удобрения, внесенные в кислую почву, уменьшают содержание микроорганизмов в ней [156]. Установлено, что отрицательное влияние минеральных удобрений на биогенность проявляется на фоне общего ухудшения агрохимических свойств почвы [136, 174, 216]. Ежегодное внесение в почву минеральных удобрений, сопровождающееся снижением рН, может приводить к увеличению в почве содержания подвижного алюминия, ядовитого для большинства микроорганизмов [3, 4, 54].

Депрессивное действие больших доз удобрений ($N_{180}P_{180}K_{180}$) через 1,5—2 месяца после внесения снижалось [245]. Последнее обстоятельство связывается с уменьшением концентрации внесенных солей по мере потребления их растениями.

Азотные удобрения в ряде случаев приводят к дополнительной мобилизации почвенного азота. При этом важно знать все биологические факторы, определяющие образование «экстра-азота» [251].

Основными факторами, характеризующими динамику микроорганизмов в почве, считают условия питания и состояние влажности [216]. Порядок значимости факторов, обуславливающих деятельность почвенной микрофлоры, образует следующий ряд: степень влажности > сезон > t > почвы > содержание перегноя > дозы удобрений > рН [361]. Влажность — более важный фактор, чем наличие органического вещества [77].

Полученные нами данные свидетельствуют о том, что влияние минеральных удобрений на почвенную микрофлору зависит от погодных условий вегетационного периода: 1967 год был более благоприятным по влажности, и это влияние оказалось гораздо существенным, чем в относительно сухом 1968 году (рис. 7). Лучшие условия для микроорганизмов создаются при 60—80%-ной влажности от полной влагоемкости [334].

В известкованной почве парные комбинации удобрений — NP, NK, PK, а также полное минеральное удоб-

рение значительно увеличили количество аммонифицирующих бактерий (табл. 23). По остальным группам почвенных микроорганизмов можно говорить лишь о наметившейся тенденции к их повышению.

Органические удобрения в большей степени, чем минеральные, влияли на почвенную микрофлору. В большинстве случаев отмечалось достоверное увеличение численности микроорганизмов. Наибольшее количество аммонифицирующих и нитрифицирующих бактерий находили в варианте совместного внесения торфо-навозного компоста и NPK.

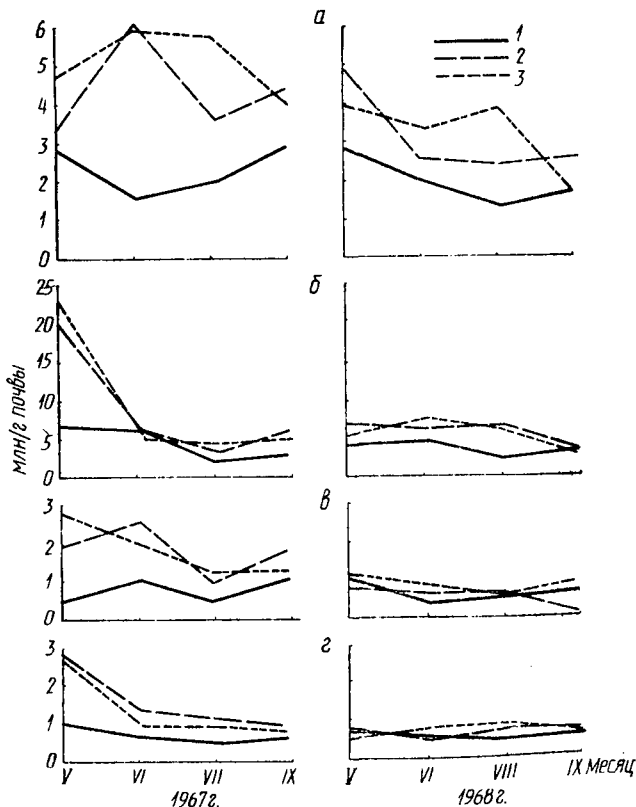


Рис. 7. Изменение численности микроорганизмов в дерново-подзолистой почве под влиянием удобрений: а — аммонификаторы, б — бактерии, усваивающие подвижный азот, в — споровые формы аммонификаторов, г — актиномицеты; 1 — без удобрений, 2 — ТК, 3 — ТК+NPK

**Сравнительное влияние органических и минеральных удобрений
на микрофлору дерново-подзолистой почвы (средние данные за
вегетационный период), тыс/г**

Вариант опыта	Аммо- нифи- каторы	Споро- вые бакте- рии	Бакте- рии, ассими- лиру- ющие под- вижный азот	Акти- номи- цеты	Плес- невые грибы	Целлю- лозо- разла- гающие микро- орга- низмы	Нитри- фика- торы
Контроль	2272	720	3821	684	17	2	7
NP	3667	1048	6369	834	15	2	25
NK	3074	996	4299	1016	24	2	21
PK	3143	1061	5232	1053	15	3	14
NPК	3612	1178	3656	764	20	3	27
Навоз	3335	1986	6751	1162	17	3	17
ТНК	4359	1757	8010	1756	18	3	20
Навоз + NPK	4395	2029	10446	1799	17	3	24
ТНК + NPK	5051	1808	8464	1324	18	2	57
НСП ₀₅	390	740	2650	530	—	—	23

По результатам исследований 1968 г. можно наблюдать достоверное увеличение аммонификаторов в варианте с органическими, смешанными, а также азотно-фосфорными удобрениями (табл. 24).

Внесение РК удобрений также стимулирует развитие аммонифицирующей микрофлоры. В результате такой стимуляции почвы обогащаются подвижным азотом. Однако содержание гумуса в названном варианте уменьшилось по сравнению с первоначальным уровнем более чем на 0,5%. Если принять во внимание, что урожаи овощей при этом были намного выше, чем в контроле, где также произошло заметное уменьшение гумуса (с 2,09 до 1,38%), то станет понятной защитная роль микроорганизмов в сохранении органического вещества почвы при внесении в нее фосфорно-калийных удобрений. Вероятно, это проявляется в обогащении почвы гумусом вследствие минерализации корневых остатков растений, которых при возросших урожаях попадало в почву больше, в биологическом пополнении запасов азота почвы за счет атмосферы. Торфо-навозный компост и соче-

тание его с минеральными туками достоверно увеличили количество в почве аммонификаторов, целлюлозоразрушающих и нитрифицирующих микроорганизмов. При смешанной системе удобрений отмечено существенное увеличение содержания актиномицетов.

Роль актиномицетов в поддержании круговорота азота в почве имеет очень важное значение для ее плодородия. Помимо разложения различных органических веществ в почве, они способны воздействовать на гумус, освобождая при этом азот [216], а меланиновые пигменты актиномицетов рассматриваются как прогумусовые вещества [84].

Таким образом, длительное внесение минеральных удобрений (300 кг действующих веществ на 1 га ежегодно) на фоне извести не снижало общую биогенность почвы, а в благоприятные по погодным условиям периоды существенно увеличивало бактериальную, в частности аммонифицирующую флору. Последняя как наиболее многочисленная часть почвенного микронаселения является одним из показателей биологической активности почвы [109].

Однако общая количественная характеристика микрофлоры является консервативным показателем биоло-

Таблица 24

Сравнительное влияние органических и минеральных удобрений на микрофлору дерново-подзолистой почвы (средние данные за вегетационный период), тыс/г

Вариант опыта	Аммонификаторы	Споровые бактерии	Бактерии, ассимилирующие подвижный азот	Актиномицеты	Плесневые грибы	Целлюлозоразлагающие микроорганизмы	Нитрификаторы
Контроль	1940	584	2677	517	28	2	2
NP	2822	585	4792	596	23	1	8
NK	2409	686	4259	560	38	2	4
PK	2327	797	3291	489	27	2	4
NPK	2106	756	3708	548	27	2	7
THK	3052	758	4536	650	35	4	6
THK + NPK	2943	871	4222	728	31	4	9
HCP ₀₅	800	270	1700	170	—	1	4

гической активности [11]. С. П. Костычев [113], стремившийся привнести в почвенную микробиологию биохимические методы исследований, считал, что прогресс может быть достигнут на основе изучения поведения отдельных видов микроорганизмов, индикаторных для плодородия. Действительно, лишь изучая видовой состав микрофлоры, можно с достаточной степенью точности определять тип почвы и ее состояние [167].

Наши исследования показали, что различные виды удобрений по-разному влияют на видовой состав целлюлозоразлагающих микроорганизмов и плесневых грибов. Так, если в контроле среди целлюлозоразлагающих микроорганизмов встречались актиномицеты и грибы рода *Dematium* с относительно невысокой целлюлозолитической способностью, то в варианте с минеральными удобрениями появились бактериальные виды, требовательные к условиям минерального питания и интенсифицирующие разложение клетчатки. На почве, удобренной органическими и смешанными удобрениями, постоянно наблюдались *Cytophaga*, *Cellvibrio* и другие целлюлозоразлагающие микроорганизмы. Положительная деятельность *Cytophaga* заключается в образовании ими полиуроновых кислот, улучшающих структуру почвы и повышающих водопрочность агрегатов [360].

Под влиянием удобрений произошло существенное изменение видового спектра плесневых грибов. В контроле выявлялись грибы рода *Dematium*, *Trichoderma* и *Penicillium*. Минеральные удобрения приводили к преимущественному развитию пенициллов, среди которых встречались формы с высокой фитотоксической активностью.

При систематическом внесении в почву органических удобрений среди грибов доминирующее положение занимает род *Trichoderma*. Увеличение удельной массы последних при окультуривании почвы отмечают и другие авторы [291]. Грибы рода *Trichoderma*, в частности *Trichoderma lignorum*, оказывают положительное действие на растение [96].

О наиболее благоприятном биологическом режиме почвы, создаваемом под влиянием органических и смешанных удобрений, свидетельствуют наблюдения об азотобактере. В свое время Е. Е. Успенский [285] предлагал использовать азотобактер в качестве индикатора высокого уровня плодородия почв из-за особой требова-

тельности его к условиям почвенной среды. Азотобактер может размножаться в почвах, реакция которых близка к нейтральной и достаточно богата доступными соединениями фосфора. Одним из основных факторов, влияющих на развитие азотобактера, является запас подвижного органического вещества [179]. Высокие дозы калийных солей подавляют азотобактер. Степень их токсичности определяется анионной частью солей. Фосфорные минеральные удобрения стимулируют размножение азотобактера, а азотные нередко подавляют его рост.

Отличительная особенность азотобактера, как и других азотфиксаторов, заключается в высокой требовательности к наличию в среде микроэлементов. Особенно необходим молибден. Стимулируют размножение азотобактера и процесс фиксации азота соединения бора. Токсичным является ион алюминия. Азотобактер весьма влаголюбив и быстро вымирает при просушивании почвы.

В описываемом опыте в контроле азотобактер не выявлялся. В вариантах с минеральными удобрениями мы иногда наблюдали единичное обрастание комочков почвы азотобактером, но он никогда не образовывал типичного коричневого пигмента. В вариантах с органическими удобрениями постоянно фиксировали стопроцентное обрастание комочков почвы азотобактером с хорошо выраженной пигментацией. С. Н. Виноградский [39] писал: «Нужно помнить, что плотность микробов пропорциональна активности». Следовательно, насыщенность почвы азотобактером в случае применения органических удобрений создает предпосылки для обогащения последней биологическим азотом вследствие азотфиксации. В большей степени, по последним данным, азотобактеру отводится роль почвенного «санитара», оздоравливающего среду за счет подавления продуктами метаболизма фитопатогенных грибов типа *Alternaria* [169]. Азотобактер выделяет фунгистатическое вещество с широким спектром действия. Таким образом, наиболее благоприятные изменения в содержании микрофлоры и ее видовом составе отмечены при внесении в почву органических удобрений и при сочетании последних с минеральными.

Нитрификация

Нитрификация — важнейший микробиологический процесс, завершающий трансформацию различных азотсодержащих органических соединений в почве. Исследованиями установлено, что в естественных условиях в нормально аэрируемых почвах основным источником азотного питания растений являются нитраты. От интенсивности процесса нитрификации зависит степень обеспеченности растений азотом [305]. Некоторые исследователи рекомендуют на основе нитрификационной способности устанавливать потребность сельскохозяйственных культур в азотных удобрениях [8]. Использование азота культурами, по отдельным наблюдениям, происходило в размерах, близких к количеству нитратного азота, накопленного после двух недель компостирования почвы [292]. Кроме того, благодаря высокой требовательности нитрификаторов к физико-химическим условиям среды многие считают нитрификацию объективным показателем плодородия почвы, отмечая связь ее с урожаем сельскохозяйственных культур [118, 182, 195, 216, 291, 318].

Однако взаимосвязь между нитрификацией и уровнем урожая отмечается не всегда [114]. На торфяно-болотной почве, обладающей высокой нитрифицирующей способностью, эта связь отрицательная [30]. Следует отметить, что в ряде работ строго не придерживаются понятия нитрифицирующая способность. Иногда за такую способность принимают исходное содержание нитратов в почве или нитратонакопление за период компостирования последней. Нитрифицирующую же способность почвы принято выражать как разность между накоплением азота нитратов во время компостирования почвы в оптимальных условиях и количеством его в почве до инкубации.

Нитраты, накопленные за период инкубации, образуются за счет внутренних азотных ресурсов почвы. Их количество остается постоянным в течение вегетационного периода и существенно не меняется на следующий год, что позволяет достоверно судить о потенциальной возможности почвы обеспечивать растения усвояемым азотом [200].

Исходное содержание нитратов в почве свидетельствует об энергии нитрификации в естественных усло-

виях, однако из-за потребления нитратов растущими растениями этот показатель имеет меньшее значение для суждения об обеспеченности почвы минеральным азотом.

Нитрифицирующая способность как арифметическая величина не постоянна и зависит от многих факторов: подсушивания почвы до воздушно-сухого состояния, срока отбора проб, внесения в почву азотных удобрений. Изменение нитрифицирующей способности при этом связано с составом фракции легкогидролизуемого азота [273]. Суммарная фракция легкогидролизуемого азота в почве относительно устойчива и мало изменяется в течение вегетационного периода, но в зависимости от метеорологических условий и окислительно-восстановительного потенциала в ней преобладают то легкогидролизуемые органические азотные соединения, то минеральный азот [298]. При внесении аммиачной селитры, уменьшающей долю органического азота в составе легкогидролизуемого азота почвы, происходит снижение нитрифицирующей способности [273]. Это обстоятельство затушевывает истинную картину обеспеченности почвы азотом и уменьшает ценность нитрификационного теста в оценке обеспеченности почвы минеральным азотом.

П. С. Бугаков и Я. И. Лубите [26] в своих исследованиях отмечают высокую корреляционную зависимость между содержанием нитратов перед посевом и величиной урожая. Нитрифицирующая способность слабо коррелировала с урожаем, а суммарная величина нитратонакопления обнаруживала линейную зависимость с величиной урожая.

Д. М. Андреева с соавт. [8] считает, что накопление нитратов в количестве 9,6—12,3 мг/кг почвы позволило получить урожай ячменя 11,5—12,2 ц/га, а в количестве 20,4—24,4 мг/кг без внесения удобрений — 22,7—26,1 ц/га. Урожай ячменя, прогнозируемые по нитратонакоплению, оказались близкими к фактически полученным урожаям. Коэффициент аппроксимации между фактическими и прогнозируемыми урожаями зерна по наличию нитратного азота в период до посева составил 7,9%, что свидетельствует о высокой достоверности прогноза. Прогнозируемые авторами урожай ячменя и овса в вариантах с внесением азотных удобрений также оказались близки к фактически полученным. Исключение составил вариант с высокой дозой азота (N_{135}). Избыточное азот-

ное питание, по мнению упомянутых выше исследователей, нарушает физиологические процессы формирования урожая зерна.

О влиянии многолетнего систематического применения минеральных и органических удобрений на процесс нитрификации данные немногочисленны. Имеются указания о подавлении его в почве в результате внесения хлорсодержащих калийных удобрений. Интенсивность нитрификации возрастает под влиянием азотных и азотно-фосфорных удобрений [284]. Наибольшая ее величина присуща почвам, более богатым органическим веществом и азотом [6, 279, 320, 325].

Интенсивность нитрификации в условиях почвы в большой степени зависит от ее влажности и температуры [316, 321, 328, 367]. Оптимум влажности для нитрифицирующих микроорганизмов находится в пределах полевой влагоемкости. Увеличение влажности с 30 до 60% от полной влагоемкости повышало нитратонакопление в 2 раза [182]. Снижение рН снижало скорость нитрификации [375]. Полная нитрификация аммонийного азота происходила при 27 °С [324]. При 16 и 5 °С нитрификация составляла 58 и 29% от полной. Абсолютные границы возможной нитрификации — 4 и 40 °С.

Высокую чувствительность проявляют нитрификаторы к условиям аэрации. Оптимальная концентрация кислорода достигается при содержании его в атмосфере 40—50% [216]. Более того, нитрификаторы как автотрофы используют лишь минеральный углерод и поэтому требуют больших количеств CO_2 . Если содержание CO_2 и O_2 в атмосфере воздуха составляет соответственно 0,03 и 20%, то в воздухе, находящемся в почве, оно колеблется от 0,2 до 2% и от 13 до 12% соответственно. Следовательно, лимитирующим фактором нитрификации в почве является относительно низкое содержание кислорода.

Одно из основных условий для активации процесса аммонификации и нитрификации — насыщенность почв основаниями [260].

В нашем опыте содержание нитратов в почве в вариантах с минеральными, органическими и смешанными удобрениями находилось на одном и том же уровне (табл. 25). Интенсивность проявления нитрификации весной лимитировала, по-видимому, пониженная температура. Влажность почвы была близка к оптимальной. При выдерживании образцов майского срока в опти-

Влияние удобрений на содержание нитратов в дерново-подзолистой почве (NO_3 , мг/100 г сухой почвы). 1967 г.

Вариант опыта	5 мая		21 июня		19 июля		8 сентября		Среднее	
	до	после	до	после	до	после	до	после	до	после
	инкубации									
Контроль	3,7	7,7	9,5	14,5	9,0	12,2	1,6	6,3	6,0	10,2
NP	3,1	12,1	17,7	29,3	18,0	29,9	4,6	12,1	10,9	20,9
NK	3,7	11,5	19,3	28,6	22,9	33,2	1,6	6,3	11,9	19,9
PK	3,4	11,5	8,3	5,3	6,9	13,0	0,6	6,0	4,8	9,0
NPK	3,1	11,6	12,1	24,1	16,1	24,9	1,0	7,8	8,1	17,1
Навоз	4,0	13,7	6,9	19,3	10,7	23,4	0,6	5,2	5,6	15,4
ТНК	4,8	13,4	7,6	17,4	12,8	25,0	0,6	6,5	6,5	17,2
Навоз + NPK	3,4	16,7	13,7	24,0	20,0	26,2	0,5	5,7	9,4	18,2
ТНК + NPK	3,9	14,6	17,4	23,6	13,8	25,2	0,7	7,9	9,0	17,9
НСП ₀₅	2,2	3,8	4,4	6,4	6,6	7,6	1,7	7,9	2,7	4,6

мальных температурных условиях продуктивность нитрификации возрастала в 2,5—4 раза.

В июне после внесения удобрений в почву выявились существенные различия в содержании нитратов по вариантам опыта. При внесении аммиачной селитры в парных комбинациях (NP, NK) и при сочетании ее с фосфором и калием (NPK) в июне—июле в почве постоянно находили высокое содержание нитратов. При отсутствии азотного удобрения (PK-вариант) исходное содержание нитратов в почве было на уровне контроля. По средним данным, увеличение содержания нитратов отмечено в вариантах с NP, NK и при сочетании навоза и торфо-навозного компоста с минеральными туками. В варианте с полным минеральным удобрением оно было довольно высокое.

Еще более четкие различия по вариантам опыта выявлены в нитратонакоплении. Так, при внесении фосфорно-калийных удобрений в почву (PK-вариант) прибавки в накоплении нитратов по сравнению с контролем не найдено. Самое значительное нитратонакопление обнаружено в варианте с азотно-фосфорными удобрениями. Отсутствие калия в удобрении, как свидетельствуют

экспериментальные данные, не оказывало влияние на развитие нитрифицирующих бактерий и интенсивность возбуждаемого ими процесса. Столь бурная нитрификация в условиях калийного дефицита (почва опытного участка, как отмечалось ранее, слабо обеспечена подвижными формами калия), когда растения слабо усваивают минеральный азот, может способствовать его большим непронизводительным потерям. Видимо, нитрификаторы и денитрификаторы в подобных условиях выполняют функцию регуляторов почвенного гомеостаза [197], активно удаляя излишки азота из почвы. Из этого следует практический вывод о том, что для рационального использования азота удобрений и предотвращения их потерь необходимо учитывать уровень обеспеченности почвы фосфором и калием.

В условиях слабой обеспеченности почвы калием азотные удобрения должны обязательно сочетаться с фосфорными и калийными.

При внесении навоза, торфо-навозного компоста процесс нитратонакопления идет почти так же энергично, как и при полном минеральном удобрении. В первый период после поступления в почву удобрений интенсивность накопления нитратов по навозу и торфо-навозному компосту слабее, чем по NPK-удобрениям. Известно, что при внесении органических удобрений нитрификация начинается после латентной фазы, которой не наблюдается в случае внесения аммиачной селитры. Эта фаза соответствует времени, необходимому для того, чтобы аммонифицирующая микрофлора вызвала минерализацию перфузируемого органического вещества, в процессе которой образуется аммиак. После латентной фазы нитрификация протекает очень интенсивно [216]. В последующем различий в интенсивности нитрификации по вариантам с органическим, полным минеральным и при сочетании тех и других удобрений не наблюдается.

Нитрифицирующая способность как разница между суммарной величиной накопления нитратов за период компостирования и исходным их содержанием в почве в меньшей степени, чем нитратонакопление, характеризует состояние действительной обеспеченности почвы подвижным азотом (табл. 26), Нитрификационный тест в варианте с минеральными удобрениями в отдельные сроки наблюдений не отражает достоверно это состояние. Особенно наглядно сформулированный тезис иллюстри-

**Нитрифицирующая способность дерново-подзолистой
почвы при длительном удобрении. 1967 г.**

Вариант опыта	Содержание NO ₃ , мг/100 г сухой почвы				
	5 мая	21 июня	19 июля	8 сентября	среднее
Контроль	4,0	5,0	3,2	4,7	4,2
NP	9,0	11,6	11,9	7,5	10,0
NK	8,1	9,3	10,3	4,7	8,1
PK	8,1	2,1	6,1	5,4	5,4
NPK	7,2	9,2	7,2	3,8	6,7
Навоз	9,7	12,4	12,5	4,6	9,8
ТНК	8,6	9,8	12,2	5,9	9,1
Навоз + NPK	13,3	10,3	6,2	5,2	8,7
ТНК + NPK	10,3	6,2	11,4	7,2	8,8
HCP ₀₅	4,0	3,8	6,2	2,3	2,5

руется данными второго года наблюдений (табл. 27, 28). Исходное содержание нитратов в вариантах с минеральными и органическими удобрениями свидетельствует о **высокой** обеспеченности почвы подвижным азотом (табл. 27).

В варианте с фосфорно-калийными удобрениями, как и в предыдущий год, содержание нитратов было невысоким и соответствовало их уровню в контроле. Больше всего обнаруживали нитратов в варианте без калия (азотно-фосфорный вариант). К осени содержание нитратов в вариантах с торфо-навозным компостом и с полным минеральным удобрением выровнилось. Полученные данные дают основание утверждать о возможности оценки обеспеченности почвы подвижным азотом по исходному содержанию нитратов.

Идентичная картина наблюдается и с показателем суммарного нитратонакопления. Внесение минеральных азотных удобрений в парных комбинациях и тройном сочетании, а также применение компоста и сочетание последнего с минеральными туками интенсифицируют процесс нитратонакопления. Указанный тест может служить надежным критерием обеспеченности почвы под-

вижным азотом и нуждаемости растений в азотных удобрениях. Этого нельзя сказать о нитрифицирующей способности (табл. 28). Последняя была одинаковой во всех вариантах опыта.

Сравнивая величину нитратонакопления и уровень

Таблица 27

Сравнительное действие минеральных и органических удобрений на содержание нитратов в дерново-подзолистой почве (NO_3 , мг/100 г сухой почвы). 1968 г.

Вариант опыта	29 мая		26 июня		30 августа		25 сентября		Среднее	
	до	после	до	после	до	после	до	после	до	посл
	инкубации									
Контроль	9,5	16,7	5,4	9,5	3,5	6,7	9,6	14,5	7,0	11,8
NP	22,7	32,8	28,0	31,9	31,2	32,3	32,0	34,5	28,4	32,6
NK	8,9	16,9	16,0	22,8	27,0	28,4	26,9	30,4	20,6	24,6
PK	5,8	13,5	9,0	14,1	5,1	8,9	13,2	15,6	8,3	13,0
NPK	16,5	26,6	25,6	29,2	23,8	28,0	22,5	25,3	22,1	27,3
THK	7,6	18,9	13,5	19,9	15,2	22,7	21,0	23,3	14,3	21,2
THK+NPK	19,7	30,6	33,2	28,2	24,8	29,1	21,6	28,0	24,8	29,0
HCP ₀₅	11,4	13,5	13,8	12,4	12,8	16,5	14,5	10,4	6,9	6,5

Таблица 28

Изменение нитрифицирующей способности дерново-подзолистой почвы под влиянием удобрений. 1968 г.

Вариант опыта	Содержание NO_3 , мг/100 г сухой почвы				
	29 мая	26 июня	30 августа	25 сентября	среднее
Контроль	7,2	4,2	3,1	4,9	4,8
NP	9,1	3,9	2,4	2,3	4,2
NK	8,1	6,2	1,3	0,8	4,0
PK	7,7	5,1	3,8	2,4	4,7
NPK	10,1	3,6	4,2	2,8	5,2
THK	10,3	6,4	7,5	2,4	6,9
THK+NPK	10,9	1,2	4,3	6,7	4,2
HCP ₀₅	—	3,8	2,8	7,9	2,8

Взаимосвязь между урожаем овощных культур и нитратонакоплением в дерново-подзолистой почве

Вариант опыта	Средний урожай овощей за ротацию, ц/га	1967 г.	1968 г.
		накопление NO_3 , мг/100 г сухой почвы	
Контроль	241	10,2	11,8
NP	288	20,9	32,6
NK	379	19,9	24,6
PK	445	17,1	27,3
ТНК	354	17,2	21,2
ТНК + NPK	455	17,9	23,0

урожаев овощей за ротацию севооборота, можно отметить общую закономерность (табл. 29): увеличение нитратонакопления сопровождалось ростом урожая овощей. Исключение составляет азотно-фосфорный вариант, в котором, несмотря на максимальную продукцию нитратов, урожай овощей оставался на уровне контроля. Как только калий поступал в почву с удобрением (азотно-калийный вариант), так в соответствии с увеличением нитратонакопления в почве повышался урожай. Следовательно, нитратонакопление может быть критерисм плодородия почвы только на фоне хорошей обеспеченности последней подвижными формами калия и фосфора.

Накопление свободных аминокислот

Метод определения уровня биологической активности почвы на основе суммарной продукции свободных аминокислот способствовал накоплению интересных экспериментальных данных, полученных в различных почвенных условиях [173]. Было отмечено, что содержание свободных аминокислот в черноземной почве сопряжено с разложением в ней клетчатки, и в свою очередь указанные процессы определялись наличием подвижных форм азота, особенно нитратной его формы.

Активность микрофлоры, в результате деятельности которой появляются аминокислоты, зависит от гидро-термического режима почв [323].

Способность бактерий синтезировать и накапливать свободные аминокислоты положительно сказывается на прорастании семян и развитии проростков кукурузы, пшеницы, гороха [209]. Однако в почве аминокислоты независимо от их происхождения довольно быстро разрушаются [336, 366]. При низких уровнях влажности, когда микроорганизмы развиваются в тонких пленках и капиллярах, скорость использования аминокислот резко замедляется.

Показано, что аминокислоты составляют существенную часть гумусового комплекса [332, 335]. Отмечено, что меченый углерод метильной группы глицина в процессе превращения включается в гумусовые кислоты и фульвокислоты [150]. Наиболее разнообразным набором аминокислот характеризуются почвы с высоким содержанием органических веществ [356].

Имеются данные, указывающие на связь между количеством свободных аминокислот в почве и активностью ферментов, регулирующих превращение азотистых соединений [89], и уровнем микробиологической активности [9].

В почвах окультуренных, отличающихся более активными биологическими процессами, находили больше аминокислот, чем в почве слабоокультуренной. Накопление свободных аминокислот зависит также от возделываемой сельскохозяйственной культуры и применяемых удобрений [29].

Наблюдается прямая зависимость в содержании свободных аминокислот, уровня биогенности почвы и степени ее гумусированности [154, 281]. По мнению некоторых авторов, аминокислотный состав почв может быть использован для целей биодиагностики [282].

Проведенные исследования позволили получить обширную информацию о влиянии многолетнего применения различных систем удобрений на синтез аминокислот и сопоставить во времени накопление последних с нитрификацией. Связь между аминокислотами и содержанием нитратного азота выражена очень отчетливо (рис. 8). Усиление нитрификационного процесса под влиянием внесения минеральных азотных удобрений и торфо-навозного компоста, выразившееся в большем накоплении нитратного азота в почве соответствующих вариантов, коррелировало с большим содержанием в них свободных аминокислот.

Изучена динамика накопления свободных аминокислот по вариантам опыта (рис. 9). Самое низкое их содержание характерно для неудобренной почвы. Применение полного минерального удобрения, а также торфо-навозного компоста отдельно и совместно с NPK увеличивало синтез аминокислот в 3—5 раз.

Исключение азота из состава удобрений снижало в 1,5 раза продукцию свободных аминокислот (табл. 30). Однако по сравнению с контролем в варианте с фосфорно-калийными удобрениями аминокислот обнаруживали

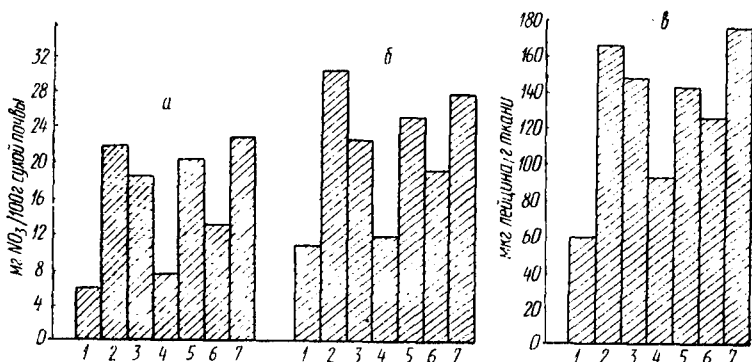


Рис. 8. Связь между нитрификацией и накоплением свободных аминокислот в дерново-подзолистой почве: 1 — контроль, 2 — NР, 3 — NК, 4 — РК, 5 — NРК, 6 — торфо-навозный компост, 7 — торфо-навозный компост + NРК

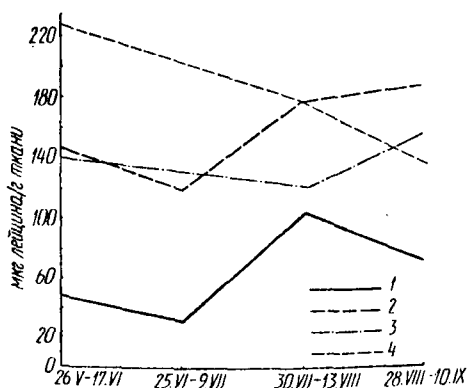


Рис. 9. Накопление аминокислот в дерново-подзолистой почве под влиянием удобрений (1968 г.): 1 — контроль, 2 — NРК, 3 — ТНК, 4 — ТНК + NРК

**Накопление свободных аминокислот в дерново-подзолистой почве
в зависимости от удобрений (средние данные)**

Вариант опыта	Содержание аминокислот, мкг на 1 г ткани (по лейцину)	Вариант опыта	Содержание аминокислот, мкг на 1 г ткани (по лейцину)
Контроль	62	NPK	158
NP	183	ТНК	135
NK	160	ТНК+NPK	186
PK	102	HCP ₀₅	38

больше. Это указывает на то, что под влиянием вносимых удобрений усиливается мобилизация органического азота почвы, что находит свое отражение в некотором повышении содержания аминокислот. Изложенное позволяет сделать вывод о том, что содержание свободных аминокислот в почве может служить критерием обеспеченности ее подвижным азотом.

Целлюлозолитическая способность почвы

Важным этапом в разложении органических веществ, попадающих в почву с растительными и животными остатками, а также органическими удобрениями, является распад клетчатки. Именно клетчатка служит основным источником энергии для всей жизни почвы вообще [39]. Этот процесс в почве хорошо обеспечен исходным материалом и протекает непрерывно. В пахотном слое почвы клетчатки содержится около 5%, что является большим резервом плодородия почвы [79].

Установлена связь процесса распада клетчатки с интегральным показателем плодородия дерново-подзолистой почвы, урожаем сельскохозяйственных культур [64, 187]. По-видимому, комплекс условий, определяющих хорошую жизнедеятельность целлюлозоразрушающих микроорганизмов, близок к оптимальным условиям произрастания сельскохозяйственных культур.

Тесно связан и процесс разложения клетчатки с интенсивностью выделения почвой CO₂, содержанием общего и усвояемого азота, с общей биологической активностью и накоплением свободных аминокислот [184, 206, 354, 363].

В нашем опыте внесение минеральных и органических удобрений, а также сочетание последних с минеральными туками в 1,5—2 раза интенсифицировало названный процесс в почве (табл. 31). Существенной разницы в действии полного минерального удобрения, навоза и торфо-навозного компоста и сочетания их с NPK не выявлено. Следовательно, длительное внесение в почву минеральных и органических удобрений приводит в равной степени к существенному увеличению целлюлозолитической активности, являющейся главным звеном микробиологической деятельности.

Как уже отмечалось, влияние полного минерального удобрения, навоза, торфо-навозного компоста на урожай овощных культур было практически одинаково. Действие азотно-калийных удобрений на интенсивность целлюлозоразрушения идентично действию полного минерального удобрения. Отсутствие в этой комбинации фосфорных удобрений не оказывало на нее отрицательного влияния, поскольку почва опытного участка хорошо обеспечена подвижными фосфатами.

Иное влияние на целлюлозолитическую активность почвы проявлялось в варианте с азотно-фосфорными удобрениями. Наблюдения не выявили существенной раз-

Таблица 31

Сравнительное действие
минеральных и органических удобрений
на целлюлозолитическую способность
дерново-подзолистой почвы
(% к исходной массе), 1967 г.

Вариант опыта	17 июня— 25 августа	25 августа— 5 октября	Среднее
Контроль	51	24	37
NP	53	34	43
NK	76	53	65
PK	69	43	56
NPK	87	66	76
Навоз	81	62	71
ТНК	82	63	72
Навоз+NPK	89	52	71
ТНК+NPK	82	54	68
HCP ₀₅	19	16	18

ницы в интенсивности данного процесса в варианте без калия и в контроле. Из этого следует, что процесс распада клетчатки в почве определяется не только наличием подвижных форм фосфора и азота [64], но и калия.

Потребность целлюлозоразлагающих микроорганизмов в калии обуславливается сравнительно высоким содержанием его (37%) в золе названных микроорганизмов [216]. Мы уже отмечали, что урожаи овощей в варианте без калия почти не отличались от контроля.

В варианте без азота (РК-вариант) процесс распада клетчатки протекал довольно быстро и в отдельные сроки наблюдений приближался к уровню, отмеченному в варианте с полным минеральным удобрением. Ранее было показано, что внесение фосфорно-калийных удобрений стимулировало деятельность аммонифицирующей микрофлоры, накопление свободных аминокислот, в результате чего оживлялся азотный режим почвы за счет минерализации органических веществ растительных остатков и собственно почвенного органического вещества. Это обстоятельство объясняет причину усиления процесса целлюлозоразрушения.

Рассмотренные данные свидетельствуют о том, что по интенсивности распада клетчатки с большой достоверностью можно судить об уровне эффективного плодородия почвы, поскольку факторы, определяющие величину урожая сельскохозяйственных культур, в равной мере регулируют и деятельность целлюлозоразрушающих микроорганизмов.

Ферментативная активность почвы

Формирование почвенного плодородия взаимосвязано с ферментативными процессами. С помощью ферментов осуществляется разложение и синтез органических соединений почвы, что является сущностью почвообразовательного процесса. Ферменты продуцируются всей совокупностью живых обитателей почвы [108, 126, 128]. Основными факторами, лимитирующими энзиматическую «емкость» почвы, являются, по-видимому, количество глинистых минералов и содержание органического вещества [45, 364]. Дерново-подзолистые почвы характеризуются сравнительно высокой активностью гидролитических (инвертаза, уреазы, аспарагиназы) и низкой активностью окислительно-восстановительных ферментов

(дегидрогеназа, полифенолоксидаза). Эти особенности создают неблагоприятное соотношение между интенсивностью процессов минерализации органических веществ и их гумификацией, что приводит к обеднению дерново-подзолистых почв органическим веществом вообще и гумусом в частности [294].

С ростом окультуренности дерново-подзолистых почв активность полифенолоксидазы и дегидрогеназы повышается, а пероксидазы снижается. Известкование увеличивает активность большинства ферментов (кроме пероксидазы).

Урожай озимой ржи и картофеля в исследованиях А. И. Чундеровой [294] в большей степени связан не с агрохимическими показателями, а с интенсивностью биохимических процессов, происходящих в почве под растениями. Наибольшее значение, в частности, имеет активность ферментов, обуславливающих минерализацию органических соединений азота. Можно сделать вывод о том, что для глубокого познания особенностей культурного почвообразовательного процесса необходимо изучать активность возможно более широкого набора ферментов, позволяющих охарактеризовать интенсивность превращения в почве основных элементов — органогенов, а также окислительно-восстановительных процессов.

На основании исследования ферментативных реакций оценивают общий уровень биологической активности почвы [357].

Вопросам влияния удобрений, обработки почвы, мелиорации, севооборотов на интенсивность ферментативных процессов посвящена многочисленная литература [27, 34, 41, 42, 45, 65, 139, 140, 158, 239, 312, 313, 315, 343, 344].

Установлена связь инвертазы с дыханием почвы, содержанием гумуса [128, 190, 345] и урожаем сельскохозяйственных культур [45, 68]. Высокая чувствительность активности инвертазы к изменению плодородия почвы позволила А. Ш. Галстяну [45] предложить использование названного показателя для «биохимической» съемки плодородия и выравниваемости полей. Активность инвертазы характеризует темпы превращения в почве веществ углеводной природы.

Фермент уреазы широко используется для характеристики азотного режима почвы. Она катализирует расщепление в почве мочевины, аспарагиназа — аспарагина.

Продуцируется этот фермент микроорганизмами и высшими растениями, особенно бобовыми культурами [247].

Органические удобрения повышают активность уреазы в почве [128, 326, 327]. Ряд авторов считают, что активность уреазы и инвертазы является наиболее достоверным показателем биологической активности [33, 45, 67, 229]. Имеются и противоположные суждения [74].

Из окислительно-восстановительных ферментов наибольшее число работ посвящено изучению каталазы. Некоторые исследователи рекомендуют использовать каталазу для предварительной оценки биологической активности почвы и уровня ее плодородия [135, 191, 192]. Относительно влияния удобрений на каталазу данные довольно противоречивы [45, 134, 196].

Активность пероксидазы и полифенолоксидазы [51, 293] в дерново-подзолистой почве изучена слабо. Обнаружена прямая связь содержания полифенолоксидазы с содержанием гумуса, а для пероксидазы — обратная. Активность указанных ферментов может служить индикатором направленности и соотношения процессов превращения в почве гумуса. Многолетнее применение физиологически кислых минеральных удобрений способствует повышению активности пероксидазы и снижению активности полифенолоксидазы, созданию условий для минерализации гумуса [249].

Влиянию минеральных удобрений на процессы разложения гумуса посвящен ряд работ [140, 145, 283]. Неоднозначность выводов побуждает исследователей искать иные подходы к решению этой важной и сложной проблемы, подвергать анализу новые экспериментальные материалы.

Систематическое внесение минеральных удобрений на фоне извести мало изменяло ферментативную активность дерново-подзолистой почвы. Существенно увеличилась только инвертазная активность в вариантах с фосфорно-калийными и полным минеральным удобрением (табл. 32). В отношении каталазной, уреазной и аспарагиназной активности прослежена тенденция к усилению ферментативной активности в варианте с полным минеральным удобрением.

Навоз, торфо-навозный компост и сочетание их с минеральными туками по сравнению с минеральными удобрениями существенно повышали активность каталазы, инвертазы, уреазы и аспарагиназы. Более высокий уро-

**Ферментативная активность дерново-подзолистой почвы
в зависимости от удобрений, на 1 г сухой почвы
(средние данные за 1967 г.)**

Вариант опыта	Каталаза, мл О ₂ за 2 мин	Инвертаза, мг глюкозы за 4 ч	Уреаза	Аспарагиназа
			мг азота за 48 ч	
Контроль	1,19	11,16	0,58	0,09
NP	1,15	16,13	0,64	0,21
NK	1,13	11,68	0,70	0,10
PK	1,24	19,16	0,66	0,21
NPК	1,30	19,25	0,71	0,22
Навоз	1,62	25,14	1,56	0,33
Навоз+NPК	1,60	24,30	1,79	0,55
ТНК	1,70	19,96	1,32	0,40
ТНК+NPК	1,75	20,96	1,44	0,43
НСП ₀₅	0,30	5,78	0,80	0,21

вень ферментативных реакций в вариантах с органическими удобрениями отчетливо прослеживается в течение всего вегетационного периода (рис. 10). Этот вывод подтверждают и литературные данные [195]. Интересные сведения получены о пероксидазе и полифенолоксидазе (табл. 33).

Как следует из приводимых данных, полифенолоксидазная активность увеличивалась по мере снижения кислотности почвы и достигала наибольшей величины в варианте при совместном внесении навоза и NPK, где кислотность соответствовала рН 6,0. Пероксидазная активность возрастала в 3—3,5 раза при рН 4,8—5,1 в варианте с минеральной системой удобрений и в контроле. Обратный характер зависимости между названными ферментами отмечен и в литературе [51]. Полученные сведения и анализ литературы дают основание предположить, что пероксидаза катализирует процессы разложения гумусовых веществ и их компонентов, а полифенолоксидаза — реакции их синтеза.

Поскольку оба процесса — синтез и разложение гумуса — происходят в почве одновременно, то количество гумуса в почве определяется соотношением этих двух противоположно направленных процессов [293]. Высокое корреляционное отношение ($\eta=0,84$), характеризующее

связь условного коэффициента гумусонакопления с количеством гумуса в дерново-подзолистых почвах, подтверждает возможность использования такого подхода к характеристике темпов накопления гумуса в почвах.

В практике земледелия необходимо научиться управлять минерализацией и синтезом органических веществ в почве. Только таким путем может быть решена проблема плодородия почв [92].

Условный коэффициент гумусонакопления, по нашим данным, при смешанных системах удобрений по сравне-

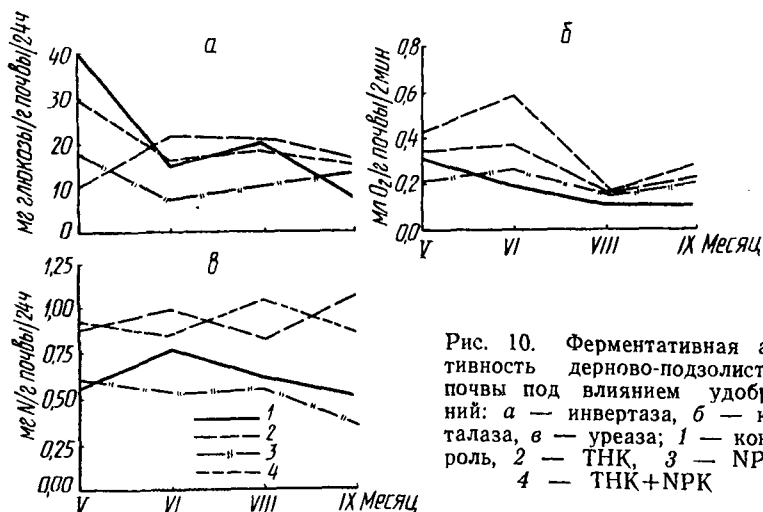


Рис. 10. Ферментативная активность дерново-подзолистой почвы под влиянием удобрений: а — инвертаза, б — каталаза, в — уреазы; 1 — контроль, 2 — TNK, 3 — NPK, 4 — TNK+NPK

нию с минеральной возрастает в 5,5—6,5 раза, что указывает на создание благоприятных условий для гумусонакопления в почве, поскольку интенсивность проявления полифенолоксидазы определяет биохимические основы процесса гумусообразования [111].

Увеличение полифенолоксидазной активности и коэффициента гумусонакопления по вариантам коррелирует с содержанием в почве гумуса и кислотностью почвы. В лабораторном опыте нами установлено, что под влиянием повышенных доз минеральных удобрений активность полифенолоксидазы на суглинках низкого уровня плодородия снижалась, а на более гумусированных почвах высокого уровня плодородия этого не наблюдалось (табл. 34).

Таблица 33

Влияние минеральной и смешанной системы удобрений
на активность полифенолоксидазы и пероксидазы. Май 1974 г.

Вариант опыта	рН KCl	Гумус, %	Перокси- даза	Полифено- локсидаза	Условный коэффициент накопления гумуса, %
			мг пурпургаллина на 10 г почвы за 2 ч		
Контроль	4,8	1,38	0,60	0,30	50
NPK	5,1	1,97	0,80	0,26	33
ТНК+NPK	5,6	2,93	0,22	0,41	187
Навоз+NPK	6,0	2,71	0,23	0,50	213

Таблица 34

Влияние минеральных удобрений
на активность полифенолоксидазы и пероксидазы
в зависимости от степени гумусированности почв (средние данные)

Вариант опыта	Суглинки		
	содержание гумуса, %		
	1,90	2,10	3,81

Полифенолоксидаза

Контроль	0,25	0,33	1,10
N ₉₀ P ₇₅ K ₁₂₀	0,27	0,33	1,09
N ₁₅₀ P ₁₂₅ K ₂₀₀	0,19	0,32	1,08

Пероксидаза

Контроль	0,10	0,20	0,34
N ₉₀ P ₇₅ K ₁₂₀	0,28	0,19	0,36
N ₁₅₀ P ₁₂₅ K ₂₀₀	0,33	0,31	0,42

Активность пероксидазы от внесения минеральных удобрений в противоположность полифенолоксидазе на почвах низкого уровня плодородия повышалась и оставалась почти без изменения на более гумусированных почвах.

Принимая во внимание участие полифенолоксидазы и пероксидазы в процессах синтеза и минерализации гумуса, отмеченные изменения направленности ферментатив-

ных процессов проливают свет на роль почвы и удобрений в этих процессах. По-видимому, с окультуриванием почвы отрицательное влияние повышенных доз минеральных удобрений на процесс разложения гумуса уменьшается.

Известкование почвы и деятельность микрофлоры

Реакция почвенной среды и состояние поглощающего комплекса дерново-подзолистых почв по силе своего воздействия на рост и развитие растений, на их конечную продуктивность зачастую выступают на первое место. Этим определяется важность проблемы регулирования почвенной кислотности.

Исследованиями доказано, что отрицательное влияние кислотности почв проявляется на всех этапах, связанных с питанием растений и свойствами почв: на изменении коэффициента использования питательных веществ из почвы и удобрений; превращении и подвижности макро- и микроэлементов, как содержащихся в почве, так и вносимых с удобрениями; накоплении и превращении органических соединений; изменении состояния почвенного поглощающего комплекса [124]. Обобщение результатов специальных полевых опытов показывает, что средний недобор растениеводческой продукции из-за неблагоприятной реакции может быть оценен в размере 4—5 ц/га кормовых единиц ежегодно.

Средневзвешенный показатель кислотности пахотных почв республики, по данным третьего тура агрохимических исследований, составил в 1975 г. 5,2 [215]. К 1980 г., по результатам четвертого тура, удельный вес почв, остро нуждающихся в известковании, был равен 52,7%. Средневзвешенный показатель кислотности возрос до 5,4. Почв, кислотность которых ниже 4,5, насчитывалось 9,3%, с рН 4,6—5,0—21,4, рН 5,1—5,5—25,0, рН 5,6—6,0—21,1 и с рН выше 6,0—23,2%.

Известкование сильно изменяет микрофлору почвы. В работе Е. Н. Мишустина и В. Н. Прокошева [174] отмечается увеличение общей численности микрофлоры, нитрифицирующих и целлюлозоразлагающих микроорганизмов в известкованных почвах Соликамской опытной станции. Общая численность микроорганизмов возрастала в 2 раза, а нитрификаторов — в 10 раз. Особенно

эффективным оказалось влияние извести на фоне навоза. При изменении реакции почвы в кислую сторону происходит значительное изменение и в развитии доминантных форм целлюлозоразлагающих бактерий. В кислых почвах преимущественное развитие получает флора целлюлозоразлагающих грибов родов *Dematium*, *Chaetomium* и др., а в почвах, имеющих реакцию, близкую к нейтральной, лучше развиваются целлюлозоразрушающие миксобактерии из групп *Mycococcus* и *Cytophaga* [286].

Имеются данные о положительном действии известкования на биологические процессы спустя 14 лет после его проведения [300]. Однако недостаток элементов питания без применения удобрений не обеспечивает высокого уровня микробиологических процессов в почве [21]. Известкование приводит к оздоровлению почвенной среды [15]. При высоких дозах извести выпадают факультативные паразиты родов *Fusarium*, *Alternaria*, *Cladosporium*. При pH 6,2 и выше наряду с ухудшением развития фитопатогенных грибов лучше развиваются их антагонисты — полезные целлюлозоразрушающие грибы, в частности *Trichoderma lignorum*.

Все эти данные указывают на то, что химическая мелиорация кислых почв способствует увеличению почвенного микронаселения и активизации в них различных микробиологических процессов, приводящих к повышению содержания в почвенном растворе питательных веществ и синтезу физиологически активных соединений микробного происхождения.

Длительное применение минеральных удобрений на кислых почвах, особенно аммиачных форм азотных удобрений отдельно и совместно с хлоридами калия, со временем ухудшает ее агрохимические и биологические свойства и ведет к снижению урожаев [2, 3, 99]. При этом увеличиваются все формы кислотности, уменьшается сумма поглощенных оснований, повышается содержание подвижных форм алюминия и марганца, большие концентрации которых обладают значительной токсичностью для растений. Среди микроорганизмов возрастает удельный вес плесневых грибов, спороносных бактерий, сокращается доля бактерий и актиномицетов [160, 259, 319]. На произвесткованном фоне снижается отрицательное действие больших доз NPK на почвенную микрофлору [156].

Менее изучены вопросы, связанные с оценкой интенсивности и соотношения процессов минерализации и гумификации органических соединений в почве. Успехи в области ферментологии позволяют в настоящее время дать такую оценку на основании определения ферментативных реакций, в частности активности полифенолоксидазы и пероксидазы.

Действие органических и минеральных удобрений на фоне извести и без нее на биологическую активность почвы и урожай сельскохозяйственных культур изучали на трех объектах. В опыте по окультуриванию, заложенном в 1966 г., на слабоокультуренной дерново-палево-подзолистой почве, развивающейся на мощном лессовидном суглинке, сравнивали влияние извести, внесенной по фону навоза и минеральных удобрений.

Культуры в севообороте чередовались: люпин на зеленый корм, озимая рожь, картофель, ячмень. Схема опыта: контроль (без удобрений), навоз, навоз + известь, NPK, NPK + известь.

Дозы минеральных удобрений рассчитывали по эквивалентному содержанию питательных веществ в навозе. Из удобрений использовали аммиачную селитру, простой суперфосфат и 40%-ную калийную соль. Известь вносили в 1966 г. по 3/4, в 1973 г. — по полной гидролитической кислотности.

Была принята следующая система удобрений: под люпин — $P_{60}K_{60}$; озимую рожь — навоз, 40 т/га (на соломённой подстилке), $N_{60}P_{60}K_{90}$; картофель — навоз, 40 т/га, $N_{80}P_{60}K_{120}$; ячмень — $N_{60}P_{60}K_{90}$. За ротацию 4-польного звена севооборота было внесено навоза 80 т/га, $N_{200}P_{240}K_{360}$.

Исследования, проведенные в 1970 г., показали, что под влиянием различных удобрений агрохимические и микробиологические свойства почвы, а также содержание и состав гумуса в ней изменились [112, 275, 276].

Навоз несколько снизил гидролитическую кислотность почвы и содержание подвижного алюминия, способствовал повышению суммы поглощенных оснований и степени насыщенности почв основаниями (по данным Н. И. Туренкова, Н. Н. Коршун). Минеральные удобрения значительно увеличили кислотность почвенной среды.

Навоз и минеральные удобрения в сочетании с известкованием способствовали более заметному уменьшению кислотности, подвижного алюминия и увеличению сум-

мы поглощенных оснований и степени насыщенности почв основаниями.

Как в известкованных, так и в неизвесткованных вариантах с внесением навоза отмечено накопление гумуса (табл. 35). Более высокое и стабильное содержание его оказалось в варианте, где вносились навоз и известь, при этом содержание гумуса повысилось на 0,23% по сравнению с первоначальным. В варианте без извести количество гумуса увеличилось всего лишь на 0,11%.

При внесении минеральных удобрений как на фоне извести, так и без нее выявлено незначительное увеличение гумуса в почве (0,08—0,10%) по сравнению с исходным количеством. В варианте с минеральными удобрениями на фоне извести в содержании гумуса по годам отмечена некоторая его динамичность. В первые годы после внесения извести обнаружено уменьшение содержания гумуса и только на 5-й год наблюдалось небольшое его увеличение (0,08%).

Известь как в сочетании с навозом, так и с минеральными удобрениями способствовала увеличению численности аммонифицирующих бактерий, актиномицетов и олигонитрофилов (табл. 36).

Под влиянием известкования почвы в ней существенно возрастают протеазная активность (распад желатина), интенсивность разложения клетчатки, синтез свободных аминокислот, в меньшей степени изменяется нитратонакопление (табл. 37).

Навоз с известью благоприятно влиял и на синтез перегнойных веществ, имеющих коррелятивную связь с почвенными аминокислотами. Минеральные удобрения на фоне извести создают в почве условия для накопления гумуса. Этому способствует дополнительный резерв свободных аминокислот.

Применение извести, навоза и минеральных удобрений несколько изменяет состав гумуса. Навоз и минеральные удобрения на фоне извести повышают содержание гуминовых кислот, связанных с кальцием, и углерода нерастворимого остатка, количество фульвокислот уменьшается по сравнению с вариантами без извести. При этом отмечается более высокая подвижность гумусовых веществ, выражающаяся в увеличении 1-й фракции гуминовых кислот, нерастворимого остатка, количества фульвокислот [112].

В 1974 г., завершающем исследования на данном

Таблица 35

Содержание гумуса и азота в пахотном слое почвы, % к массе почвы (Н. Н. Коршун, Л. А. Карягина, 1974 г.)

Вариант опыта	1966 г.		1967 г.		1968 г.		1969 г.		1970 г.	
	люпин на зеленый корм		озимая рожь		картофель		ячмень		люпин на зеленый корм	
	гумус	азот	гумус	азот	гумус	азот	гумус	азот	гумус	азот
Навоз	1,85	0,107	1,74	0,102	1,99	0,106	1,81	0,095	1,96	0,106
Навоз+известь	1,80	0,117	1,81	0,110	2,04	0,120	2,05	0,117	2,03	0,112
НРК	1,95	0,121	2,13	0,109	1,98	0,108	2,01	0,116	2,05	0,109
НРК+известь	1,92	0,105	1,80	0,090	1,79	0,103	1,69	0,092	1,89	0,103

Таблица 36

Влияние удобрений и известкования на микрофлору дерново-палево-подзолистой почвы, тыс/г (средние данные)

Вариант опыта	Аммонифика- торы	Актиномицеты	Олигонитрофилы	Вариант опыта	Аммонифика- торы	Актиномицеты	Олигони- трофилы
Контроль	680	360	780	НРК	560	400	1264
Навоз	1120	560	1430	НРК+известь	1300	880	2182
Навоз+известь	1566	660	1893	НРК ₀₅	380	300	480

Влияние окультуривания дерново-подзолистой почвы
на биологическую активность (средние данные)

Вариант опыта	Содержание NO ₃ мг/100 г почвы		Накопление свободных аминокислот, мкг/1 г ткани (по лейцину)	Разложе- ние клет- чатки, %	Разложение желатина, г
	до	после			
	инкубации				
Контроль	3,05	6,10	133	20	0,7278
Навоз	3,86	6,72	153	16	0,7606
Навоз+известь	4,38	7,11	186	54	0,8206
НРК	4,55	7,26	111	23	0,7353
НРК+известь	4,65	7,90	170	53	0,8074
НСР ₀₅	2,1	1,23	21	30	0,0160

стационаре, была проведена дополнительная серия опытов, включающая определение биологической активности почвы на основе нитрифицирующей способности и активности пероксидазы и полифенолоксидазы.

Особенно интенсивное нитратонакопление наблюдалось при унавоживании почвы как на фоне извести, так и без нее, а также при внесении минеральных туков на фоне извести (табл. 38). Максимальное содержание нитратов обнаружено в варианте навоз+известь.

Кислотность почвы — один из важнейших факторов, определяющих активность ферментов [240, 294]. Концентрация водородных ионов влияет на ионное состояние ферментов, непосредственно воздействует на их активные группы, а также на физико-химическое состояние комплексов фермент — субстрат и фермент — продукт и на скорость этих реакций. Отклонение pH среды от оптимального значения приводит к снижению активности фермента.

Оптимум действия пероксидазы находится при pH 4,2. Самая низкая активность зафиксирована при pH 6,2. При этом анионы ингибируют фермент, связывая атом железа его активного центра.

Пероксидаза катализирует окисление фенолов, а также ароматических аминов за счет перекиси водорода. Исследования последних лет показали, что наряду с окислением фенолов типичной для этого фермента реак-

цией является расщепление ароматического кольца по месту двойной связи [222]. Эти реакции играют важную роль при распаде циклических аминокислот.

Полифенолоксидаза катализирует окисление полифенолов в хиноны. Оптимум фермента лежит в области рН 6,0—7,0. По мере уменьшения рН до 5,0 начинается отщепление иона меди и падение активности фермента

Таблица 38

**Влияние известкования
дерново-подзолистой почвы
на нитратный режим
(средние данные за вегетационный период)**

Вариант опыта	Содержание NO ₃ , мг/100 г сухой почвы	
	до инкубации	после инкубации
Кантроль	1,45	4,25
Навоз	2,85	7,35
Навоз+известь	3,65	8,22
НРК	2,68	5,70
НРК+известь	3,13	7,11
НСР ₀₅	0,70	0,68

[290]. При более низких значениях почвенной кислотности образуется ряд неспецифических продуктов окисления фенолов, что может быть причиной изменения качественного состава гумуса в кислых почвах [247].

Самый высокий уровень активности пероксидазы выявлен при минеральной системе удобрений и в контроле, где кислотность почвы была наибольшей (табл. 39).

Дальнейшее уменьшение почвенной кислотности по вариантам влечет за собой снижение пероксидазной активности. На фоне извести как при минеральной, так и при органической системах удобрения наблюдалась минимальная активность фермента.

Полифенолоксидазная активность закономерно возрастала от контроля к известкованным вариантам, достигая самого большого значения при унавоживании известкованной почвы.

**Изменение ферментативной активности и кислотности
дерново-подзолистой почвы под влиянием удобрений. Май 1974 г.**

Вариант опыта	рН _{KCl}	Пероксидаза	Полифенол- оксидаза	Условный коэффициент гумусонакопле- ния, %
		мг пурпургаллина на 10 г почвы за 2 ч		
Контроль	4,3	0,73	0,25	35
Навоз	4,6	0,59	0,27	46
Навоз+известь	5,7	0,27	0,41	151
НРК	4,1	0,68	0,25	33
НРК+известь	5,2	0,24	0,35	145
НСР ₀₅	—	0,162	0,115	—

Если по условному коэффициенту накопления гумуса судить об интенсивности гумусонакопления и степени окультуренности почвы, то в нашем опыте варианты окультурирования располагаются по убывающей степени следующим образом: навоз+известь > НРК+известь > > навоз > НРК ≥ контроль.

Варианты с известкованием почвы при минеральной и органической системах удобрения обеспечивали самое высокое окультуривающее действие на почву. По данным А. И. Чундеровой [293], в окультуренной почве коэффициент гумусонакопления превышает 70%. В нашем случае в известкованных вариантах коэффициент составил 145—151%. Из этого следует, что известкование кислых дерново-подзолистых почв, резко стимулируя деятельность всей микрофлоры, благоприятствует накоплению ферментов, регулирующих процессы гумусонакопления. При этом возрастает потенциальная способность почвы к гумусонакоплению. При внесении в почву органического субстрата, как это имеет место при заделке в почву навоза, достигается более высокий уровень накопления гумуса.

В варианте с минеральными удобрениями и известкованием, несмотря на большой запас фермента полифенолоксидазы, содержание гумуса меньше, чем в варианте с навозом, потому что суммарный размер поступления в почву органических веществ здесь меньший. Он создается

лишь за счет корневых и пожнивных остатков. Роль удобрений и извести в изменении эффективного плодородия почвы более рельефно отражает урожай сельскохозяйственных культур (табл. 40).

Применение органических и минеральных удобрений, а также извести способствовало увеличению выхода зерновых единиц с гектара. Общая продуктивность севооборота в варианте с навозом была выше на 152,0 ц/га по сравнению с контро-

Таблица 40

Влияние удобрений и извести на общую продуктивность севооборота (по данным Н. И. Туренкова)

Вариант опыта	Общая продуктивность севооборота за 12 лет, ц/га зерновых единиц
Контроль	235,2
Навоз	387,2
Навоз+известь	392,7
НРК	355,0
НРК+известь	411,7

лем, в варианте с навозом на фоне извести — на 158,5 ц/га, но уступала соответственно на 24,5—18,0 ц/га зерновых единиц в варианте с внесением эквивалентного количества минеральных удобрений на фоне извести. Самая низкая продуктивность севооборота наблюдалась, когда вносились только минеральные удобрения.

Последствие известкования на биологические процессы изучалось в длительном стационарном опыте лаборатории агрохимии Белорусского научно-исследовательского института картофелеводства и плодоовощеводства на экспериментальной базе «Лошица-1» Минского района. Почва опытного участка описана ранее. Был выделен один вариант без внесения извести (по фону $N_{90}P_{90}K_{120}$). Предстояло выявить эффективность действия извести в течение нескольких ротаций овощного севооборота.

Положительное действие извести отмечено для всех овощных культур. Прибавка от ее внесения составила 17—18%. В вариантах с внесением удобрений на фоне извести урожай повысился в среднем на 83% [252].

Микробиологический анализ проводили по окончании третьей ротации севооборота, спустя двенадцать лет после повторного известкования почвы. По данным М. П. Сапуна [252], известь оказала существенное влияние на изменение агрохимических показателей почвы. Под влиянием извести снизилась кислотность почвы и повысилась степень насыщенности ее основаниями.

Количество гумуса на известкованной делянке было близким к исходным данным в начале опыта. При внесении одних минеральных удобрений без извести в конце второй ротации наблюдалось заметное снижение содержания гумуса в почве.

Проведенные исследования показали, что под влиянием известкования существенно увеличилась численность нитрифицирующих бактерий (табл. 41). Близкие к достоверным различия отмечались в содержании аммонификаторов, их споровых форм, бактерий, потребляющих подвижные соединения азота и актиномицетов.

Содержание нитратов как в исходных образцах, так и после их компостирования в оптимальных условиях влажности и температуры с мая по сентябрь включительно значительно увеличилось в варианте с известкованием (табл. 42). Из этого следует, что последствие извести на процесс нитрификации проявляется и на двенадцатый год после ее применения. Последовательное увеличение содержания нитратов в почве при изменении pH от 4,1 до 7,8—8,0 отмечено и в литературе [348].

В варианте с полным минеральным удобрением без известкования содержание нитратов в мае, июне и сентябре находилось на уровне такового в неудобренной почве. В августе, хотя и обнаружены различия, они оказались недостоверны. Причина отрицательного действия NPK при длительном их применении на процесс нитрификации заключалась в ухудшении агрохимических свойств почвы [137].

Длительность действия извести на распад клетчатки показана в табл. 43.

Если судить о степени разложения клетчатки по средним данным, то внесение удобрений на фоне извести стимулирует этот процесс. В почве с внесением минеральных удобрений без извести клетчатка разлагалась медленнее, разница с контролем находилась в пределах ошибки опыта. Увеличение целлюлозолитической способности почвы во второй срок анализа отмечено как для известкованной, так и неизвесткованной почвы, удобренной NPK. По-видимому, в это время создались благоприятные условия для жизнедеятельности целлюлозных бактерий благодаря хорошей их обеспеченности азотом, фосфором и калием и др. В дальнейшем, по мере взаимодействия удобрений с почвой в кислой среде, доступность питательных веществ для целлюлозных бак-

Таблица 41

Влияние известкования на численность микрофлоры в дерново-подзолистой почве,
тыс/г (средние данные за вегетационный период)

Вариант опыта	Аммонификаторы	Спорообразующие бактерии	Бактерии, использующие минеральный азот		Плесневые грибы	Микроорганизмы	
			всего	в том числе актиномицеты		целлюлозо-разлагающие	нитрифицирующие
Почва без удобрений+известь	1940	584	2677	517	28	2	2
НРК+известь	2106	756	3708	548	27	2	7
НРК без извести	1360	520	2347	372	31	2	2
НСР ₀₅	800	270	1700	170	—	1	4

Таблица 42

Влияние известкования на нитратный режим дерново-подзолистой почвы, мг NO₃ на 100 г почвы

Вариант опыта	Содержание нитратов до компостирования					Содержание нитратов после компостирования				
	29.V	26.VI	30.VIII	25.IX	среднее	29.V	26.VI	30.VIII	25.IX	среднее
Почва без удобрений+известь	9,5	5,4	3,5	9,6	7,0	16,7	9,5	6,7	14,5	11,8
НРК+известь	16,5	25,6	23,8	22,8	22,5	22,1	26,6	29,2	28,0	27,3
НРК без извести	4,9	6,9	9,7	8,3	7,5	12,1	11,2	12,6	13,1	12,2
НСР ₀₅	11,4	13,5	12,8	14,5	6,9	13,5	12,4	16,5	10,4	6,5

Таблица 43

Влияние известкования на интенсивность разложения клетчатки
в дерново-подзолистой почве, %

Вариант опыта	Сроки анализа			Среднее
	28. V—12. VI	12. VII—26. VIII	26. VIII—10. IX	
Почва без удобрений+известь	50	50	13	38
НРК+известь	87	82	49	72
НРК без извести	59	74	37	56
НСР ₀₅	24	20	36	28

Таблица 44

Влияние известкования на синтез свободных аминокислот
в дерново-подзолистой почве

Вариант опыта	Мкг на 1 г ткани (по лейцину)				Среднее
	28 мая— 17 июня	25 июня— 9 июля	30 июля— 13 августа	28 августа—10 сен- тября	
Почва без удобрений+известь	49	30	102	70	62
НРК+известь	168	118	179	188	158
НРК без извести	57	45	52	83	59
НСР ₀₅	35	45	62	86	38

терий, очевидно, снизилась и интенсивность целлюлозо-разрушения упала.

Новые данные получены о влиянии известкования на энергию накопления свободных аминокислот (табл. 44).

Во все сроки наблюдений, охватывающих основные фазы развития сельскохозяйственных культур, наибольшее количество свободных аминокислот обнаруживалось в варианте НРК+известь. Несмотря на высокие дозы азотных, фосфорных и калийных удобрений, вносимых в кислую почву без известкования, заметного накопления аминокислот в ней по сравнению с неудобренной почвой не происходит.

Анализ качественного состава аминокислот провели с полотен майского, июльского и сентябрьского сроков анализа (табл. 45). Относительное количество аминокислот определяли по 4-балльной системе визуально по интенсивности окраски пятен нингидрином. В весенний срок

Таблица 45

Влияние известкования на качественный состав аминокислот в дерново-подзолистой почве

Аминокислота	Контроль	НРК+ известь	НРК без извести	Контроль	НРК+ известь	НРК без извести	Контроль	НРК+ известь	НРК без извести
	май			июль			сентябрь		
Цистеин	+	++	0	+	++	+	+	+	+
Лизин+гистидин	++	++	+	++	++	+	+	+	0
Аспарагин+глутамин	++	++	0	++	++	0	+++	+++	+++
Аспарагиновая	++	+++	+	++	++++	++	+	+++	+++
Серин	+++	+	+	+	+++	++	++	+++	++++
Треонин	++++	++++	+	+++	++++	++	+++	+++	++
Глутаминовая	+++	+++	+	+++	+++	++	+++	++++	0
Аланин	++	++	0	+	++	0	0	++++	+
Тирозин	++	++	0	+	++	+	0	+	++
Валин	++	+	0	+	++	+	++	+	+
Лейцин	+	++	0	+	+	+	+	+	+

Примечание. 0—отсутствие аминокислот; +—визуальная оценка количества аминокислот по четырехбалльной системе.

анализа в почве без извести из 11 аминокислот, выявляемых в контроле и варианте НРК+известь, отсутствовало 6. Интенсивность накопления остальных аминокислот также была значительно меньшей.

После внесения удобрений в отмеченном варианте отсутствовало только 2 аминокислоты из всего спектра, характерного для известкованных вариантов. Дополнительно появились цистеин, тирозин, валин и лейцин.

Интенсивность накопления аспарагиновой кислоты, серина и глутаминовой кислоты увеличилась. Осенью в варианте без извести снова из спектра выпали лизин+гистидин, глутаминовая кислота.

Полученные данные свидетельствуют о существенном влиянии известкования на количественный и качественный состав свободных аминокислот в дерново-подзолистой почве. Различия в составе аминокислот исследователи связывают с различием их органического вещества [368].

Более глубокие исследования влияния различных режимов кислотности почв, созданных известкованием, на биологические процессы провели на экспериментальной базе «Курасовщина». Почва опытного поля — дерново-палево-подзолистая сильнооподзоленная суглинистая, развивающаяся на мощном лессовидном суглинке. По своим свойствам близка ранее описанным. Опыт включал четыре поля, различающихся по кислотности: 1) рН 4,2—4,3 (не известковано); 2) рН 5,0—5,1 (известковано в 1966 г. по полной гидролитической кислотности); 3) рН 5,5—5,6 (известковано в 1976 г. по 3/4 гидролитической кислотности); 4) рН 6,0—6,2 (известковано по полной гидролитической кислотности в 1967 и 1976 гг.).

Для известкования использовали меловую муку. Каждое поле имело варианты с тремя уровнями обеспеченности калием (низким, средним и высоким). Различия создавались внесением калийных удобрений от 240 до 480 кг/га действующего вещества в начале первой ротации севооборота. В конце первой и второй ротации севооборота (1971 и 1976 гг.) средний и высокий уровни обеспеченности калием восстанавливались по соответствующим вариантам опыта с учетом содержания обменного калия в почве.

Опытная культура — картофель (сорт Огонек) возделывалась в 1977 г. на почве с различной кислотностью (рН 4,3; 5,0; 5,5; 6,0) и на трех уровнях обеспеченности

Содержание нитратов в дерново-подзолистой почве в зависимости от режима кислотности, $\text{мгNO}_3/100 \text{ г почвы}$. Май 1977 г.

Обеспеченность почвы калием	рН 4,3		рН 5,0		рН 5,5		рН 6,0	
	до	после	до	после	до	после	до	после
	инкубации							
Низкая	1,57	3,20	1,54	3,41	2,85	5,65	2,66	5,36
Средняя	1,90	4,81	1,76	3,93	3,81	5,21	3,55	5,44
Высокая	1,69	5,08	2,26	5,67	3,10	5,01	4,18	4,50

$\text{HCP}_{05} \quad 2,02$

Таблица 47

Интенсивность разложения клетчатки в дерново-подзолистой почве в зависимости от кислотности, %.
15 мая—1 июля 1977 г.

Обеспеченность почвы калием	рН 4,3	рН 5,0	рН 5,5	рН 6,0
Низкая	21	38	36	55
Средняя	25	46	44	63
Высокая	28	44	39	58

$\text{HCP}_{05} \quad 11,9$

обменным калием: низким (контроль) — 6—8 $\text{мг K}_2\text{O}$, среднем — 15—17 мг и высоком — 24—27 $\text{мг K}_2\text{O}$ на 100 г почвы при внесении 60 т/га навоза по фону $\text{N}_{60}\text{P}_{60}$.

Процесс нитрификации, как свидетельствуют полученные данные, усиливался при достижении уровня рН 5,5 (табл. 46). В интервале кислотности от рН 4,3 до 5,0 интенсивность процесса нитрификации была одного порядка.

В границах кислотности от рН 5,5 до 6,0 интенсивность нитратонакопления была одинаковой, однако по сравнению с первым уровнем (рН 4,3—5,0) она почти удваивалась. В кислой почве при рН 4,3 интенсивность разложения клетчатки сравнительно мала (табл. 47). За 1,5 месяца она составляла 21—28%. Этот процесс зависит от влажности почвы, температуры, обеспеченности ее азотом, главным образом в нитратной форме, и подвижными формами фосфора и калия.

Смещение кислотности до рН 5,0—6,0 существенно повышало энергию целлюлозоразрушения. Самый высокий уровень разложения клетчатки при прочих равных условиях отмечен в почве, обладающей реакцией, равной рН 6,0. Интенсивность распада клетчатки при этом удвоилась по сравнению с вариантом, где рН 4,3.

Улучшение свойств почвы при известковании приводит к резкому усилению синтеза в ней свободных аминокислот (табл. 48). В почве с рН 5,5 интенсивность их накопления возрастала в 2—3,5 раза.

Особенно большую ценность для характеристики уровня почвенного плодородия представляют биохимические реакции, связанные с превращением органического вещества. Используя предложенное А. И. Чундеровой [293] отношение полифенолоксидазы к пероксидазе для оценки интенсивности гумусонакопления в почве, мы получили ряд интересных данных. В нашем опыте активность полифенолоксидазы закономерно возрастала при изменении рН почвы от 4,3 до 6,0, достигая при этом максимальной величины 1,017 мг пурпургаллина на 1 г почвы за 2 ч (табл. 49).

Активность фермента при изменении рН от 4,3 до 6,0 возрастала в 3—5 раз. Обратная зависимость выявлена в поведении пероксидазы: под влиянием известкования ее активность понизилась в 3—3,5 раза. Отмечена тенденция усиления активности рассматриваемых ферментов на почвах с высоким уровнем обеспеченности калием (рН 6,0).

Анализируя изменение коэффициента гумусонакопления, можно заключить, что различные по кислотности режимы почв характеризовались неодинаковой потенци-

Таблица 48

Влияние кислотности дерново-подзолистой почвы на накопление свободных аминокислот, мкг/1 г ткани (по лейцину). 15—25 мая 1977 г.

Обеспеченность почвы калием	рН 4,3	рН 5,0	рН 5,5	рН 6,0
Низкая	287	270	1078	357
Средняя	395	250	882	385
Высокая	265	432	908	407

НСР₀₅ 433

альной способностью к гумусонакоплению (рис. 11). При кислотности почвенной среды, равной рН 5,5 и более, коэффициент гумусонакопления возрастал в 5—10 раз.

Из приведенных данных следует, что известкование почвы благоприятствует созданию в ней высокого запаса ферментов, способных обеспечивать интенсивную гуми-

Таблица 49

Активность ферментов в зависимости от уровня кислотности дерново-подзолистой почвы, мг пурпургаллина на 10 г почвы за 2 ч. Май 1977 г.

Обеспеченность почвы	Полифенолоксидаза			
	рН 4,3	рН 5,0	рН 5,5	рН 6,0
Низкая	0,18	0,22	0,37	0,56
Средняя	0,19	0,23	0,48	0,94
Высокая	0,22	0,25	0,41	1,01

Обеспеченность почвы	Пероксидаза			
	рН 4,3	рН 5,0	рН 5,5	рН 6,0
Низкая	0,93	1,09	0,54	0,27
Средняя	1,06	1,09	0,25	0,40
Высокая	1,03	1,01	0,44	0,42

НСР₀₅ 0,14

фикацию, и является важнейшим мероприятием из всех средств повышения плодородия почв подзолистого типа. Однако определение фактического содержания гумуса в почвах опытных делянок показало незначительные различия по уровням кислотности. Так, при рН 4,3 содержание

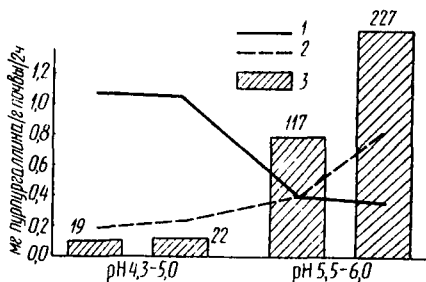


Рис. 11. Влияние кислотности почвы на интенсивность гумусонакопления: 1 — пероксидаза, 2 — полифенолоксидаза, 3 — коэффициент гумусонакопления, %

гумуса в почве соответствовало 1,92%, а при pH 6,0—1,97%, хотя в последнем случае биохимические механизмы способны обеспечить более интенсивное восполнение запасов гумуса при внесении в почву органических удобрений.

Оценка плодородия почвы по биологическим показателям

Для оценки биологической активности почвы, понимаемой как суммарный результат сопряженно протекаю-

Таблица 50

Относительная оценка влияния различных систем удобрений на плодородие дерново-подзолистой почвы по биологическим показателям. 1967 г.

Вариант опыта	Аммонификаторы	Спорообразующие бактерии	Бактерии, потребляющие подвижный азот	Актиномицеты	Нитрификаторы
Контроль	45	35	36	38	13
N ₉₀ P ₉₀ K ₁₂₀	64	64	41	42	49
Навоз (20 т/га)	66	98	65	92	31
Навоз (20 т/га)+N ₅₀ P ₅₀ K ₁₂₀	87	100	100	100	60
ТНК (20 т/га), 2 : 1	86	86	77	88	35
ТНК (20 т/га)+N ₅₀ P ₅₀ K ₁₂₀	100	89	81	74	100

Вариант опыта	Разрушение клетчатки	Свободные аминокислоты	Нитратонакопление	Сумма показателей	Оценка показателей биологической активности, %
Контроль	49	57	56	329	100
N ₉₀ P ₉₀ K ₁₂₀	100	69	94	523	158
Навоз (20 т/га)	93	93	84	622	189
Навоз (20 т/га)+N ₅₀ P ₅₀ K ₁₂₀	93	100	100	740	225
ТНК (20 т/га), 2 : 1	95	77	86	630	191
ТНК (20 т/га)+N ₅₀ P ₅₀ K ₁₂₀	89	90	98	721	219

Т а б л и ц а 5.
Относительная оценка влияния различных систем удобрений на плодородие почвы по ферментативной активности. 1967 г.

Вариант опыта	Ката-лаза	Уреаза	Аспараги-лаза	Инвертаза	Сумма показателей	Оценка показате-лей биологической активности, %
Контроль	73	32	16	44	165	100
N ₉₀ P ₉₀ K ₁₂₀	80	40	40	77	237	143
Навоз (20 т/га)	100	87	60	100	347	210
Навоз (20 т/га) + -1-N ₉₀ P ₉₀ K ₁₂₀	99	100	100	97	396	238

Т а б л и ц а 52

Относительная оценка биологической активности дерново-подзолистой почвы при различных системах удобрений. 1968 г.

Вариант опыта	Аммонификаторы	Спорообразующие бактерии	Бактерии, потребляющие подвижный азот	Актиномицеты	Нитрификаторы	Целлюлозоразрушающие микроорганизмы	Инвертаза
Контроль	64	67	59	71	25	43	62
N ₉₀ P ₉₀ K ₁₂₀ без извести	44	60	49	51	24	34	65
N ₉₀ P ₉₀ K ₁₂₀ + извести	69	87	82	75	75	54	58
ТНК (20 т/га), 2 : 1	100	87	100	89	60	93	86
ТНК (20 т/га) + N ₉₀ P ₉₀ K ₁₂₀	96	100	93	100	100	100	100

Вариант опыта	Уреаза	Каталаза	Целлюлозолитическая способность	Свободные аминокислоты	Нитратонакопление	Сумма показателей	Оценка показателей биологической активности, %
Контроль	67	50	52	34	41	635	100
N ₉₀ P ₉₀ K ₁₂₀ без извести	73	45	78	32	37	597	94
N ₉₀ P ₉₀ K ₁₂₀ + извести	54	55	100	88	94	891	140
ТНК (20 т/га), 2 : 1	100	92	96	81	73	1063	167
ТНК (20 т/га) + N ₉₀ P ₉₀ K ₁₂₀	96	100	92	100	100	1177	185

ших биохимических процессов, был использован метод относительных величин [14]. Суть метода заключается в том, что по каждому определяемому биологическому показателю дается относительная оценка его изменения по вариантам опыта. При этом за 100 принимается наибольший показатель. Относительные величины всего комплекса биологических характеристик суммировались по каждому варианту отдельно и на основе полученных величин выводилась окончательная относительная оценка вариантов.

Как следует из полученных данных, наивысшая суммарная биологическая активность почвы наблюдается при смешанной системе удобрений (табл. 50). Действие навоза и компоста оценивалось одинаково. Минеральная система удобрений, хотя и оценена выше контроля, но по суммарному баллу оказалась ниже органической и тем более смешанной системы удобрений.

Поскольку ферментативные процессы в первый год исследований определяли не по всем вариантам, оценка на их основе биологического состояния почвы была проведена отдельно (табл. 51).

Аналогичная картина отмечена и в 1968 г., хотя биологические показатели здесь были неодинаковы (табл. 52). Относительная оценка изменения биологических свойств почвы показала, что наиболее напряженные биологические процессы в почве наблюдаются при смешанной системе удобрений. По силе влияния на биологическое состояние почвы системы удобрений составили следующий ряд: навоз + NPK \geq THK + NPK \geq навоз \geq \geq THK > NPK > контроль.

В случае применения смешанных удобрений достигается высокий урожай овощных культур с лучшими его качественными показателями при одновременном улучшении всего комплекса физико-химических и биологических свойств. Полученный результат подтверждается наблюдениями ряда исследователей [67, 95, 374].

Глава 4

ВЗАИМОСВЯЗЬ МИКРОБИОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ И ОСНОВНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПЛОДОРОДИЯ ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТЫХ ПОЧВ

Огромная роль микроорганизмов в почвообразовании впервые отмечена в трудах выдающихся русских ученых В. В. Докучаева [59, 60], П. А. Костычева [113] и В. Р. Вильямса [38].

В настоящее время исследователи считают возможным диагностировать уровень плодородия почв на основе отдельных биологических процессов [302, 306]. Дальнейшее развитие исследований в области биодиагностики плодородия почв позволит прогнозировать характер изменения этого состояния под влиянием антропогенных факторов.

Вместе с тем связь, существующая между микрофлорой, биологическими свойствами и плодородием почвы, необычайно сложна [216]. Прежде всего невозможно определить «абсолютное» плодородие почвы. Можно лишь сделать общий вывод о том, что существует параллелизм между активностью многочисленных групп микробов и плодородием почв, как окультуренных, так и неоккультуренных.

Различные исследователи по-разному трактуют понятие «плодородие» почвы [37, 122, 159, 211, 223, 235, 244]. Наиболее подробно оно рассмотрено В. Р. Вильямсом [38]. Он писал: «Плодородие почвы не определяется одним каким-либо фактором, а есть функция одновременного и совместного отношения почвы ко всем без исключения факторам жизни растений».

Ряд исследователей выделяют и факторы жизни, являющиеся внешними по отношению к почве: климатические, связанные с биологическими особенностями растений, хозяйственной деятельностью человека, временем [2, 35, 90, 106, 185].

Однако плодородие почвы — еще и социально экономическая категория, характеризующая почву как основное средство производства в сельском хозяйстве. Большое внимание этой особенности почвы уделял К. Маркс [1]. Разрабатывая учение о дифференциальной ренте, он ввел понятие о нескольких видах плодородия.

Если естественное плодородие земель количественно определяется валовым химическим составом питательных веществ, то действительное или эффективное плодородие, определяемое количеством доступных питательных веществ, в большей степени зависит от уровня развития производительных сил общества, его агрономической науки. Таким образом, К. Маркс естественное и эффективное плодородие количественно определяет величиной содержания питательных веществ в почве, а не урожайностью, которая принимается за абсолютный критерий использования плодородия. Рассмотренные понятия о плодородии, разработанные К. Марксом, не утратили своего значения и поныне.

Все чаще за абсолютный критерий для всех категорий плодородия принимается урожай растений. Однако возведение урожайности в мерило уровня плодородия ограничивает поиск других методов его оценки [194]. Между тем из признания урожайности за критерий плодородия вовсе не вытекает, что сущность его заключается именно в ней. Урожай — следствие плодородия всей природной среды.

По современным представлениям, плодородие почвы есть совокупность почвенных процессов и свойств, определяющих рост и развитие культурных растений, а не только способность к обеспечению последних водой и пищей [69, 100, 204]. Уровень плодородия почв в значительной степени обуславливается взаимодействием климатических, физических, химических и биологических факторов [183, 278, 297, 329].

Признавая важную роль почвенного микронаселения в почвообразовательном процессе, синтезе и минерализации органического вещества, понятны попытки ряда исследователей охарактеризовать уровень плодородия почв на основе микробиологических и биохимических показателей [45, 52, 107, 294, 297, 346]. Д. Н. Прянишников [219] в свое время указывал, что показателем культурного состояния почвы может служить энергия нитрификационного процесса. Дальнейшие исследования позволили

выявить условия, в которых указанный биологический тест сохраняет свое значение как показатель плодородия [8, 32].

Сведения о связи между микрофлорой и плодородием почвы практически отсутствуют, если не считать самых общих положений [52, 216]. Удачные же попытки некоторых авторов установить корреляционную связь между биологическими, физико-химическими, агрохимическими показателями почвы, а также урожайностью возделываемых сельскохозяйственных культур представляются перспективными в том отношении, что при достаточно большом количестве материала дают возможность получить более полное представление об эволюции и генезисе почв и производственных ее достоинствах.

Намечается перспектива использования ферментативных реакций, совершающихся в почве, для биодиагностики состояния плодородия почв. Результаты изучения дерново-подзолистых почв свидетельствуют о наличии зависимости урожаев сельскохозяйственных культур от активности протеазы, уреазы, дегидрогеназы и полифенолоксидазы [294]. Большое значение приобретает выбор обоснованных показателей плодородия, их универсальность и возможность практического использования [147].

Нами сделана попытка охарактеризовать взаимосвязь определяемых биологических процессов с отдельными элементами плодородия дерново-подзолистых почв на основе данных, полученных в многолетнем опыте с удобрениями на экспериментальной базе «Лошица-1». Исследования в этом плане пока малочисленны.

Содержание гумуса и его состав

Для дерново-подзолистых почв одним из важнейших факторов почвенного плодородия является содержание гумуса. Связь биологических и биохимических показателей с содержанием гумуса отмечают многие исследователи [66, 290, 314]. В периоды, когда в почвах повышается доля сорбированных ферментов, увеличивается и количество новообразованных гумусовых веществ [289].

Исследователи приводят высокий коэффициент корреляции для инвертазы и гумуса почв разных типов [269]. В. О. Виземюллер [36], проанализировавший связь активности инвертазы с качеством гумуса, выявил прямую зависимость с количеством гиматомелановых кислот и

обратную с количеством фульвокислот. Имеются данные о связи ферментов азотного режима почвы — протеазы, аспарагиназы, уреазы с гумусом [128, 269].

А. И. Чундерова [294] считает, что инвертаза, полифенолоксидаза и пероксидаза непосредственно участвуют в процессах превращения углерода и гумусовых веществ в почве. Для остальных ферментов указанная связь с гумусом косвенная. Она характеризует увеличение ферментативной активности вследствие повышения общего уровня биологических процессов в более гумусированных почвах.

Более надежно о зависимости биологических характеристик почвы от содержания гумуса можно судить на основании математического анализа экспериментальных данных, полученных в условиях многолетних опытов, где различные системы удобрений (при прочих равных условиях) резко изменяют состояние почвенного плодородия.

В нашем опыте степень гумусированности изменялась с 1,31 до 2,97%, содержание общего углерода — с 0,16 до 1,32%, общего азота — с 0,104 до 0,152%. Все изученные биологические показатели, кроме группировки плесневых грибов, связаны с гумусом (табл. 53). Наиболее высокая степень этой связи установлена для аммонифицирующих бактерий, бацилл, актиномицетов и нитрификаторов.

Выявлена также взаимосвязь гумуса и процессов накопления нитратов, свободных аминокислот, целлюлозоразложения, каталазной, инвертазной, уреазной и аспарагиназной активности.

Обнаружена связь и между содержанием общего углерода и азота и названными выше биологическими характеристиками. Исключение составила лишь группа плесневых грибов, для которых эта зависимость не существенна.

Из микроорганизмов с группой гуминовых кислот связаны аммонифицирующие бактерии, актиномицеты и нитрификаторы. Установлена связь между содержанием гумуса и нитратонакоплением, синтезом свободных аминокислот и целлюлозолитической активностью. Ферментативные процессы тесно взаимосвязаны с процессами превращения гуминовых кислот и фульвокислот (прямая связь с гуминовыми и обратная с фульвокислотами).

Обратный характер связи наблюдается между содержанием в почве аммонификаторов, спорообразующих

Сравнительная степень связи биологических показателей
с органическим веществом дерново-подзолистой почвы.
Лощина. 1967 г.

Биологический показатель	Гумус	Общий углерод	Общий азот	Гуминовые кислоты	Фульво- кислоты
	корреляционное отношение				
<i>Микрофлора</i>					
Аммонификаторы	0,89*	0,86*	0,85*	0,66*	0,86*
Спорообразующие бактерии	0,73*	0,86*	0,78*	0,40	0,87*
Бактерии, усваива- ющие минераль- ный азот	0,55*	0,74*	0,86*	0,55*	0,36
Актиномицеты	0,64*	0,88*	0,79*	0,77*	0,82*
Плесневые грибы	0,40	0,41	0,50	0,63*	0,41
Нитрификаторы	0,72*	0,70*	0,68*	0,69*	0,72*
<i>Биологические процессы</i>					
Нитратонакопление	0,55*	0,55*	0,76*	0,70*	0,63*
Синтез свободных аминокислот	0,60*	0,72*	0,69*	0,79*	0,76*
Распад клетчатки	0,75*	0,70*	0,82*	0,73*	0,59*
<i>Ферментативная активность</i>					
Каталаза	0,61*	0,88*	0,71*	0,40	0,74*
Инвертаза	0,73*	0,73*	0,67*	0,21	0,79*
Уреаза	0,70*	0,93*	0,84*	0,40	0,80*
Аспарагиназа	0,81*	0,96*	0,92*	0,46	0,81*

* В табл. 53—56, 58 достоверность связи приведена при уровне значимости 0,05.

бактерий, актиномицетов, нитрификаторов и активностью целлюлозоразрушения и нитратонакопления, синтезом свободных аминокислот и фракцией фульвокислот. Однако группировка плесневых грибов имеет прямую связь с содержанием фульвокислот в почве.

На основании выявленных зависимостей можно сделать вывод о том, что накопление органического вещества и азота и соответственно повышение численности микрофлоры и биологической активности почвы представляют собой единый процесс. В кислых почвах, в которых

среди почвенного микронаселения преобладают плесневые грибы, среди перегнойных соединений накапливаются фульвокислоты.

Показатели, характеризующие кислотность и состояние почвенного поглощающего комплекса

Состояние кислотности имеет большое значение для большинства биологических процессов. Уровень pH — один из важнейших факторов проявления активности ферментов и их способности к ферментативной реакции, так как он определяет физико-химическое состояние молекулы фермента и его активного центра [240].

В исследуемой почве величина pH (в KCl) изменялась от 4,2 до 6,2; H^+ — от 3,7 до 1,6; S — от 4,4 до 14,9 м-экв/100 г почвы; обменный Al — от 0,22 до 6,21 мг/100 г почвы и V — от 54,3 до 90,3%.

Из результатов корреляционного анализа видно, что между уровнем pH и большинством биологических показателей существует прямая связь, обратная связь установлена лишь для плесневых грибов. Наиболее тесная связь с кислотностью почвы характерна для аммонификаторов, спорообразующих бактерий, актиномицетов, накопления аминокислот и ферментов — каталазы, инвертазы, уреазы, аспарагиназы (табл. 54). Некоторые авторы достоверной связи уреазы с кислотностью почвы не обнаружили [373].

С гидролитической кислотностью связь установлена для аммонификаторов, их споровых форм, актиномицетов, нитрификаторов, накопления аминокислот и активности изученных ферментов.

Влияние подвижного алюминия на микрофлору и биологические процессы выражается высокими значениями корреляционного отношения. Связь отсутствует лишь для бактерий, потребляющих подвижный азот, и нитрификаторов. Влияние алюминия на ферментативные процессы, по-видимому, косвенное — через микрофлору почвы и растение, продуцирующих эти ферменты. Следует отметить, что связь биологических процессов с подвижным алюминием и гидролитической кислотностью носит обратный характер. Прямая связь биологических процессов характерна для суммы поглощенных оснований и степени насыщенности основаниями.

Высокие значения корреляционных отношений между

**Сравнительная степень связи биологических показателей
с агрохимическими и физико-химическими свойствами
дерново-подзолистой почвы. Лошица, 1967 г.**

Биологический показатель	pH _{KCl}	H _T	Al	S	V	K ₂ O	P ₂ O ₅
	корреляционное отношение						
Микрофлора							
Аммонификаторы	0,78*	0,80*	0,55*	0,93*	0,85*	0,29	0,76*
Спорообразующие бактерии	0,90*	0,81*	0,72*	0,90*	0,94*	0,57	0,34
Бактерии, усваива- ющие минераль- ный азот	0,71*	0,55	0,21	0,54	0,58*	0,75*	0,14
Актиномицеты	0,88*	0,77*	0,81*	0,86*	0,84*	0,78*	0,14
Плесневые грибы	0,63*	0,54	0,74*	0,22	0,40	0,44	0,75*
Нитрификаторы	0,64*	0,69*	0,28	0,78*	0,79*	0,14	0,73*
Биологические процессы							
Нитратонакопление	0,27	0,26	0,67*	0,65*	0,60*	0,36	0,61*
Синтез свободных аминокислот	0,78*	0,76*	0,83*	0,75*	0,80*	0,29	0,30
Распад клетчатки	0,49	0,53	0,14	0,59*	0,72*	0,81	0,66*
Ферментативная активность							
Каталаза	0,90*	0,85*	0,85*	0,80*	0,87*	0,65*	0,31
Инвертаза	0,82*	0,69*	0,68*	0,81*	0,85*	0,51	0,67*
Уреаза	0,95*	0,86*	0,85*	0,91*	0,93*	0,69*	0,17
Аспарагиназа	0,96*	0,92*	0,72*	0,96*	0,97*	0,58*	0,56

суммой поглощенных оснований и степенью насыщенности почв основаниями выявлены для большинства биологических характеристик. Исключение составляют лишь плесневые грибы, которых находили больше в почвах со слабой степенью окультуренности, невысокими показателями, характеризующими состояние почвенного поглощающего комплекса.

Содержание подвижных форм фосфора и калия

Фосфор и калий наряду с азотом относятся к числу необходимых элементов питания микроорганизмов. Их физиологическая роль в биосинтезе хорошо известна. Механизм влияния минеральных соединений на активность

почвенных ферментов может быть косвенным — через влияние на физиолого-биохимическую активность микроорганизмов и растений и прямым — непосредственное взаимодействие с молекулой фермента в связи с химическим сродством отдельных ионов и активного центра фермента [45] или инактивации вследствие повышенных концентраций веществ, близких к продуктам реакций ферментов.

20—25 мг подвижного фосфора в дерново-подзолистой почве является оптимальным для биологических процессов, дальнейшее увеличение P_2O_5 может депрессировать их. Положение меняется лишь в условиях повышенной влагообеспеченности и содержания гумуса [260].

В нашем опыте установлены высокие корреляционные отношения между численностью аммонификаторов, плесневых грибов, нитрификаторов и подвижным фосфором (табл. 54). Связь существенна иногда и для ряда биологических процессов — накопления нитратов, распада клетчатки и инвертазной активности. Однако степень их связи с подвижным фосфором невысокая, поскольку почва опытного участка хорошо обеспечена подвижным фосфором, и в этих условиях трудно судить о действительных закономерностях. Последние могут быть выявлены в контрастных вариантах с широким варьированием коррелирующих признаков.

Степень обеспеченности подвижным калием по вариантам опыта была различной — от бедной до среднеобеспеченной. Интерес представляло изучить зависимость биологических процессов от содержания последнего в почве. Корреляционный анализ подтверждает высокую взаимосвязь между бактериями, усваивающими подвижный азот, актиномицетами, распадом клетчатки, ферментативными процессами и содержанием в почве подвижного калия. Эта связь не выявлена для аммонификаторов, нитрификаторов и интенсивности нитратонакопления, а также свободных аминокислот. Это еще раз подтверждает сформулированный ранее тезис о том, что процессы аммонификации и нитрификации могут протекать весьма интенсивно в почвах, слабо обеспеченных калием. Если при этом в почву вносят аммиачные формы азотных удобрений, то возможны большие непроизводительные потери азота в процессах нитрификации и последующей денитрификации.

Взаимосвязь биологических показателей (корреляционное отношение)

[illegible]

Рассмотренные данные подтверждают вывод ряда исследователей о существовании более тесных связей биологических процессов с уровнем рН, степенью гумусированности почвы, чем с содержанием в ней подвижных форм фосфора и калия [260, 294].

Биологические показатели тесно связаны и между собой (табл. 55). Исключение составляют лишь плесневые грибы. Достоверная обратная связь последних прослеживается с инвертазой, уреазой, споровыми формами аммонификаторов и актиномицетами; с остальными показателями связь недостоверная.

Бактерии, потребляющие подвижный азот, с рядом биологических показателей в отдельные периоды наблюдений слабо связаны.

В литературе отмечается наличие тесной корреляционной связи между протеазной, уреазной активностью и содержанием свободных аминокислот [303]. Как и нитрифицирующая способность почвы, активность ферментов азотного обмена может служить важным диагностическим показателем интенсивности мобилизации почвенного азота. Однако все еще недостаточно исследований, позволяющих вскрыть степень связи между отдельными показателями биологической активности и выделить наиболее важные из них, отражающие сущность изменений в почве под влиянием определенных агротехнических приемов, в частности удобрений [261]. Наши исследования в какой-то мере восполняют этот пробел.

Взаимосвязь биологических показателей с урожаем

В последние годы появились работы, в которых указывается на связь многих биологических процессов с урожаем сельскохозяйственных культур. Наиболее тесна и достоверна она по инвертазной активности [36, 45]. Существенна также для ферментов, минерализующих органические соединения азота, протеазы и уреазы. Уровень связи урожая с активностью почвенных ферментов несколько выше, чем с агрохимическими показателями [294].

Положительную корреляцию наблюдали между урожаем озимой ржи и целлюлозолитической активностью почвы [355], величиной урожая, общим содержанием

Связь между содержанием гумуса, урожаем ячменя и биологическими свойствами дерново-подзолистой почвы (вегетационно-полевой опыт). 1976 г.

Биологический показатель	Корреляционное отношение			
	супеси, $n=18$		суглинки, $n=18$	
	гумус	урожай	гумус	урожай
	1,68—3,25 %	33,58—134,10 г/сосуд	1,90—3,81 %	66,35—132,52 г/сосуд
Аммонифицирующие бактерии	Недостаточно	0,45	Недостаточно	0,49
Споровые бактерии	0,96*	0,77*	0,90*	0,53
Плесневые грибы	0,69*	0,59*	Недостаточно	Недостаточно
Актиномицеты	0,80*	0,54	0,84*	«
Олигонитрофилы	0,86*	0,85*	Недостаточно	«
Потенциальная азотфиксирующая способность	0,85*	0,70*	0,61*	«
Нитрификационная способность	0,93*	0,85*	0,92*	0,59*
Целлюлозолитическая способность	0,75*	0,63*	0,80*	0,63*
Накопление свободных аминокислот	0,61*	Недостаточно	0,47	0,66*
Дегидрогеназа	0,98*	0,88*	0,73*	Недостаточно
Полифенолоксидаза	0,91*	0,86*	0,95*	0,70*
Ивертаза	0,95*	0,85*	0,45	Недостаточно

микроорганизмов, накоплением свободных аминокислот, интенсивностью нитрификации [102].

Обнаружена также связь между урожаем ячменя и биологическими показателями дерново-подзолистой супесчаной и суглинистой почв в вегетационно-полевом опыте и аналогичных почвах рендомизированных выборок (метровках) в производственном его посеве (табл. 56, 57).

На супесях большинству определяемых биологических тестов присуща высокая степень связи, судя по корреляционным отношениям, с содержанием гумуса и урожаем ячменя (табл. 56). На суглинках особенно четкая связь с урожаем ячменя отмечена для спорообразующих бактерий, нитрифицирующей и целлюлозолитической способности и активности полифенолоксидазы. В почвах производственного посева ячменя наиболее ощутимая связь урожая прослеживалась с активностью инвертазы, полифенолоксидазы и выделением CO_2 (табл. 57).

В заключение отметим, что микробиологические и биохимические процессы достаточно точно отражают со-

Таблица 57

Связь биологических свойств дерново-подзолистой почвы с урожаем ячменя

Показатель	Корреляционное отношение			
	супесь		суглинки	
	1976 г.	1977 г.	1976 г.	1977 г.
Пределы изменения урожая ячменя, ц/га	26,0—58,0	20,8—39,1	36,8—65,3	16,0—37,0
Инвертаза	0,24	0,40*	0,43*	0,43*
Полифенолоксидаза	0,24	0,35*	0,30	0,34*
Выделение CO_2	—	0,40*	—	0,59*
Потенциальная азотфиксирующая способность	—	Недостовжно	—	0,32*
Нитрификационная способность	—	0,32*	—	Недостовжно

* Показатель не определялся.

Корреляционный анализ связи биологических показателей с урожаем

Биологический показатель	1967 г. (капуста)			1968 г. (огурцы)		
	r	η	$\eta^2 \cdot 100$	r	η	$\eta^2 \cdot 100$

Микрофлора

Аммонификаторы	0,75*	0,86*	74	0,13	0,33	11
Споровые формы	0,71*	0,85*	72	0,95*	0,98*	96
Бактерии на КАА	0,44	0,72*	52	0,02	0,80*	64
Актиномицеты	0,58*	0,76*	58	0,29	0,73*	53
Нитрификаторы	0,85*	0,86*	74	0,50*	0,53	29
Плесневые грибы	0,42	0,52	27	0,08	0,46	21

Биологические процессы

Нитратонакопление	0,58*	0,76*	58	0,13	0,62*	38
Аминокислоты	0,76*	0,69*	48	0,37	0,46	21
Распад клетчатки	0,79*	0,93*	86	0,75*	0,79*	62

Ферментативная активность

Каталаза	0,54	0,54	29	0,49	0,68*	46
Инвертаза	0,59*	0,59*	35	0,41	0,76*	58
Уреаза	0,60*	0,65*	42	0,21	0,56*	58
Аспарагиназа	0,65*	0,65*	42	—	—	—

стояние плодородия почв подзолистого типа и могут служить его индикаторами.

Сравнительный анализ изучаемых биологических тестов с целью выявления ведущих процессов в исследуемых почвах показал, что наиболее точную характеристику биологической активности почвы из группы окислительно-восстановительных ферментов дает полифенолоксидаза, а из группы гидролаз — инвертаза. Отчетливо прослеживается полная согласованность между величиной урожая, степенью гумусированности почв и интенсивностью «дыхания», целлюлозолитической и нитрифицирующей способностью, содержанием спорообразующих бактерий.

На основании анализа корреляции протеазы, уреазы, полифенолоксидазы, дегидрогеназы, инвертазы с урожаем озимой ржи и картофеля разработана математическая модель, описывающая связь урожая с активностью ферментов почвы [296]. Делается вывод о возможности прог-

нозирования урожайности сельскохозяйственных культур по активности почвенных ферментов.

Нами выявлены высокие и достоверные корреляционные отношения, характеризующие связь отдельных биологических показателей с урожаем овощных культур (табл. 58). Особенно тесная связь урожая отмечена с группой спорообразующих бактерий, бактериями, потребляющими подвижный азот, актиномицетами, интенсивностью накопления нитратов в почве, распадом клетчатки, инвертазной и уреазной активностью.

Глава 5

РЕГУЛИРОВАНИЕ МИНЕРАЛИЗАЦИИ ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА ТОРФЯНО- БОЛОТНЫХ ПОЧВ

Правильное сельскохозяйственное использование торфяно-болотных почв и повышение их эффективного плодородия невозможно без глубокого знания интенсивности и направления протекающих в них биохимических процессов [44].

Торфяно-болотные почвы занимают 17,1% территории республики. Расположены они главным образом в Брестской, Гомельской и Минской областях.

Одна из главных проблем земледелия на торфяно-болотных почвах — получение высоких урожаев сельскохозяйственных культур при максимально возможном сохранении органического вещества торфяников.

Многие исследователи отмечают высокие темпы минерализации органического вещества торфяно-болотных почв в результате биологической минерализации [29, 86]. В почве одного гектара в течение вегетационного периода нередко накапливаются сотни килограммов нитратного азота, который не весь усваивается растениями, часть его подвергается микробной трансформации до газообразных соединений и улетучивается в атмосферу.

Сохранение плодородия торфяно-болотных почв тесно связано с регулированием микробиологических процессов. Особое значение придают ингибированию нитрификации. Опыты по использованию пиридинового производного (N-serve) для этой цели показали, что внесение препарата в торфяно-болотную почву в дозе 4—8 кг/га снижает нитратонакопление на 15—20% [155]. Однако исследователи упустили из поля зрения тот факт, что под влиянием ингибитора нитрификации происходит дополнительная минерализация органического вещества почвы, усиление процесса аммонификации. В результате вместо

снижения биологической минерализации органического вещества отмечается ее активация, что делает неприемлемым применение препарата. Необходимы поиски иных средств.

Экспериментальные исследования в лабораториях и полевых опытах направлены на выявление степени влияния влажности, сельскохозяйственных культур и обработки почвы на микробиологическую деятельность.

Влияние влажности на биологическую активность торфяно-болотной почвы разной степени окультуренности

Среди факторов, влияющих на развитие микроорганизмов и интенсивность микробиологических процессов, большое значение имеют влажность и аэрация почвы. Требования почвенных микроорганизмов к влажности изучены слабо, особенно для торфяно-болотных почв. Установлено, что в торфяно-болотных почвах интенсивность минерализации органического азота зависит от степени разложения торфа и обеспеченности его элементами питания [331]. В хорошо разложившейся почве оптимум для нитрификации был на 5—10% ниже, в почвах же, богатых зольными элементами питания, он оказался выше на 5—10%. На Кольском полуострове в торфяно-болотной почве при влажности ее 30—60% от полной влагоемкости интенсивность процессов превращения азотистых веществ примерно одинакова [210].

Цель настоящей работы — установить оптимум влажности для развития микрофлоры и протекания микробиологических процессов в слабо и хорошо окультуренной торфяно-болотной почве Белорусского Полесья. Слабо окультуренная почва, сформированная из тростниково-осокового торфа с примесью гипново-осокового, была взята на Полесской опытной болотной станции; хорошо окультуренная, образованная из осоково-черноольхового торфа, — на опытном поле Белорусского научно-исследовательского института мелиорации и водного хозяйства в совхозе «10 лет БССР» Любанского района Минской области.

Степень разложения торфа слабо окультуренной торфяно-болотной почвы 25—35, хорошо окультуренной — 45—50%. Первая содержала около 7 мг подвижного калия и около 60 мг подвижного фосфора на 100 г почвы,

вторая по наличию калия относилась к группе хорошо обеспеченных и по содержанию фосфора — к группе среднеобеспеченных почв. В схему опыта были включены варианты с влажностью 30, 60 и 80% от полной влагоемкости и влажностью, соответствующей полной влагоемкости. Заданные уровни влажности поддерживали 60—75 дней. Опыт проводили при температуре 20—22°С.

Микрофлора оказалась способной развиваться в широком интервале влажности (табл. 59).

В хорошо окультуренной торфяно-болотной почве численность аммонифицирующих и спорообразующих бактерий существенно возрастала при влажности 80% и выше, что косвенно указывало на усиление процесса аммонификации в почве.

В слабо окультуренной почве наибольшее развитие споровых бактерий наблюдалось при влажности 60%. Другие группы микроорганизмов по вариантам опыта не имели существенных различий.

Численность спорообразующих бактерий в обеих почвах к концу опыта убывала (рис. 12). Условия для развития активной микрофлоры становились более благоприятными. При этом содержание аммонификаторов,

Таблица 59

Влияние влажности на численность микрофлоры в торфяно-болотной почве разной степени окультуренности, тыс/г (средние данные за вегетационный период)

Влажность от полной влагоемкости, %	Аммонификаторы		Микроорганизмы, ассимилирующие минеральный азот		Олигонитрофилы	Целлюлозоразрушающие микроорганизмы
	всего	в том числе споровые	бактерии	актиномицеты		

Хорошо окультуренная почва

30	6128	668	3622	4887	9161	46
60	7423	852	3185	3846	8854	74
80	9692	925	5027	4276	10792	71
100	8779	1079	3508	2859	9290	144
НСР ₀₅	1330	230	—	4140	3890	43

Слабо окультуренная почва

30	5604	2074	—	2704	5278	55,9
60	6452	4135	—	2968	2968	66,0
80	5374	2050	—	2648	2648	63,1
НСР ₀₅	3400	800	—	1050	3600	19,9

бактерий, потребляющих подвижные формы азота, в том числе актиномицетов, к концу опыта увеличивалось, что свидетельствовало об усилении процессов минерализации органического азота.

Интересно отметить, что плесневые грибы и актиноми-

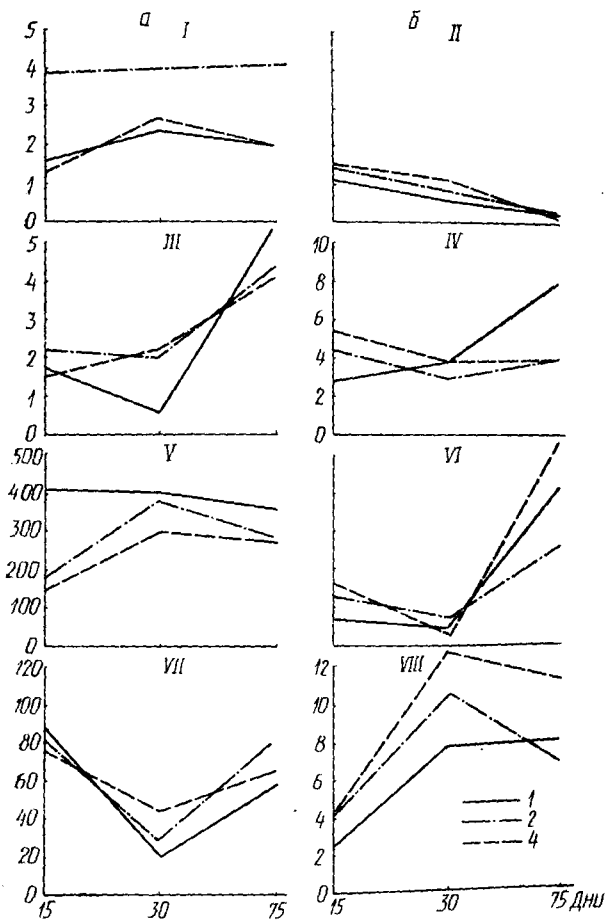


Рис. 12. Влияние влажности на микрофлору в торфяно-болотной почве разной степени окультуренности: а — почва слабо окультуренная, б — хорошо окультуренная; 1 — 30%, 2 — 60%, 3 — 80% от полной влагоемкости; I, II — споровые аммонификаторы, млн/г сухой почвы, III, IV — актиномицеты, млн/г сухой почвы, V, VI — плесневые грибы, тыс/г сухой почвы, VII, VIII — бактерии, потребляющие подвижный азот, млн/г сухой почвы

цеты активнее развивались в более сухой почве (40% от полной влагоемкости и ниже).

Резкое увеличение численности актиномицетов в обеих почвах к концу опыта может служить показателем более глубокого расщепления органического вещества торфяно-болотной почвы [358].

Следует отметить более высокий уровень нитрификации и выделения CO_2 в слабо окультуренной торфяно-болотной почве (табл. 60). Нитратов в ней накапливалось в 2—3 раза больше, чем в хорошо окультуренной, а при 80% влажности — более чем в 10 раз. Интенсивность выделения CO_2 была примерно в 2 раза выше.

В хорошо окультуренной почве отчетливо выявлена обратная зависимость в развитии процессов нитрификации и аммонификации. В нашем опыте при полной влагоемкости почвы аммиака накапливалось в 3 раза больше, чем при влажности 30%, и в 2 раза больше, чем при влажности 60%. Оптимальные условия для распада клетчатки создавались при влажности 60%. При полной влагоемкости разложение ее снижалось в 2 раза. Больше накапливалось свободных аминокислот при влажности 30%. В слабо окультуренной почве существенных различий в их содержании по вариантам опыта не обнаружено.

Сравнивая ферментативную активность обеих почв, можно видеть, что окислительно-восстановительные реакции и превращение дисахаридов, осуществляемое инвертазой, в хорошо окультуренной почве более выражены. Максимальная активность ферментов проявлялась при влажности почвы 60—80%.

На рис. 13, показано, как влажность влияет на динамику некоторых микробиологических процессов в торфяно-болотной почве различной степени окультуренности. Общий момент для сравниваемых почв — рост нитрифицирующей активности к концу опыта. Если по средним данным невозможно судить о взаимосвязи процессов нитрификации и аммонификации в слабо окультуренной почве, то в динамике обратный ее характер очевиден. Следовательно, независимо от степени разложения торфа наблюдается обратная связь в развитии этих двух важных почвенных процессов. Динамика накопления свободных аминокислот в торфяно-болотных почвах разной степени окультуренности тождественна. Максимальное их количество обнаруживали во второй срок определения, к концу же опыта их содержание снижалось.

Влияние влажности на биологическую активность торфяно-болотной почвы разной степени окультуренности

Влажность почвы от пол- ной влагоем- кости, %	Накопление NO ₃ , мг на 100 г сухой почвы	Накопление N—NH ₄ , мг на 100 г сухой почвы	Накопление аминокислот, мкг на 1 г ткани (по лейцину)	Выделено CO ₂ мг/ч на 1 м ²	Разложе- ние клет- чатки, %	Активность		
						инвертазы, мг глюкозы за 48 ч	каталазы, мл O ₂ за 2 мин	уреазы, мг N за 4 ч
						на 1 г почвы		
Хорошо окультуренная почва								
30	107,1	5,38	206	102,3	47	10,67	4,96	7,36
60	134,7	8,67	125	176,5	55	12,67	7,97	10,56
80	22,4	14,63	Следы	114,1	40	13,24	10,03	11,34
100	23,5	18,52	Следы	33,6	21	10,95	8,21	9,37
НСР ₀₅	1,92	—	—	—	—	1,17	1,08	1,89
Слабо окультуренная почва								
30	329,2	8,59	123	256	—	15,5	2,48	9,92
60	314,2	8,76	140	240	—	17,6	2,74	12,06
80	395,4	8,57	106	287	—	20,4	3,23	10,77
НСР ₀₅	35,9	2,06	170	83	—	0,6	0,62	1,34

В слабо окультуренной торфяно-болотной почве выделение CO_2 достигало максимума через месяц после постановки опыта, а к концу его резко снижалось. В хорошо окультуренной почве динамика выделения CO_2 несколько иная. В ряде случаев к концу опыта мы наблюдали увеличение продукции CO_2 .

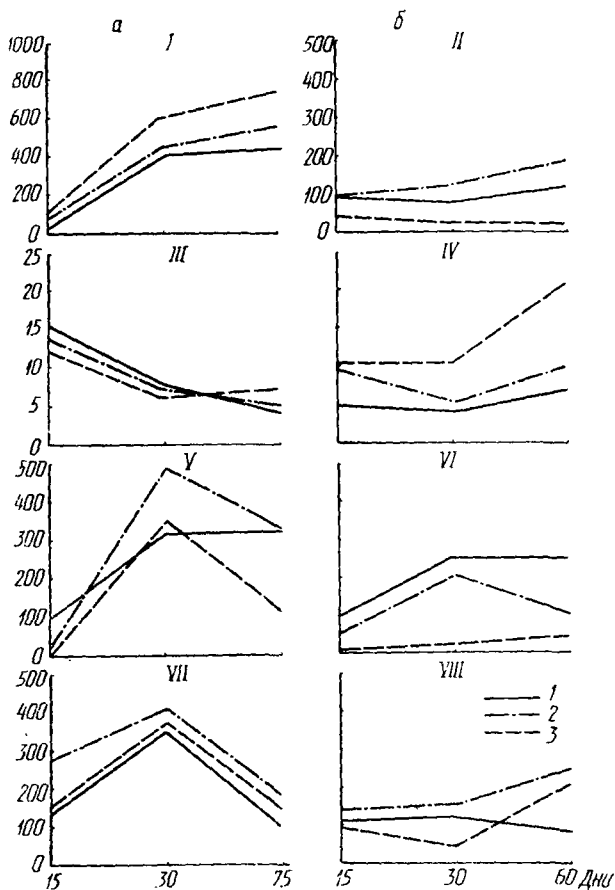


Рис. 13. Влияние влажности на биологическую активность торфяно-болотной почвы разной степени окультуренности: I, II — NO_3 , мг/100 г сухой почвы, III, IV — N-NH_4 , мг/100 г сухой почвы, V, VI — аминокислоты, мкг лейцина/г ткани, VII, VIII — CO_2 , мг·м²/ч. Остальные обозначения, как на рис. 12

Сравнительная характеристика биологической активности торфяно-болотной почвы под различными сельскохозяйственными культурами

Работами микробиологов установлено, что осушение и последующее окультуривание торфяно-болотной почвы приводит к значительным изменениям ее микробиологической активности. Сельскохозяйственная культура также оказывает влияние на характер и интенсивность микробиологических процессов [29].

По данным А. А. Афанасьевой [13], нитрифицирующие бактерии под многолетними травами обнаруживаются в незначительном количестве, а процессы нитрификации сильно подавляются.

Однако микробиологических исследований в этом плане мало, и они базируются, как правило, на изучении одного — двух показателей.

В работе С. Г. Скоропанова и др. [254] приводятся данные, свидетельствующие об ошибочности ранее господствовавшей точки зрения о низких темпах минерализации органического азота под травами.

Регулирование темпов минерализации органического вещества, обеспечивающее получение максимальных урожаев при наименьших непроизводительных потерях азота, возможно при глубоком изучении механизмов, обуславливающих минерализацию.

Наши исследования проводились на стационаре Всесоюзного научно-исследовательского института мелиорации и водного хозяйства в совхозе «10 лет БССР» Любанского района Минской области. Опыт заложен в 1969 г. на торфяно-болотной почве. В задачу исследований входило изучение особенностей микробиологических процессов, происходящих под травами (мятлик с тимофеевкой 9-го года пользования), зерновыми (овес, ячмень) и пропашными культурами (морковь, картофель).

Почва опытного участка развита на осоково-черноольховом торфе, степень разложения которого в пахотном горизонте составляла более 55%. Болотный массив осушен гончарным дренажом (расстояние между дренами 60 м). Уровень грунтовых вод (в среднем за вегетационный период) находился на глубине 109—126 см от поверхности почвы.

По кислотности особых различий по вариантам опыта не наблюдалось. По содержанию подвижных форм фос-

фора и калия опытные участки несколько различались. Самое низкое их количество обнаружено под многолетними травами (27—28 мг на 100 г почвы). Под другими культурами наличие подвижного калия колебалось в пределах 35,0—67,1 мг, а подвижного фосфора — 39,8—52,8 мг на 100 г почвы. Следует отметить, что под все опытные культуры вносили одинаковое количество удобрений ($P_{60}K_{150}$).

Из микробиологических показателей, характеризующих биологическую активность почвы, в наших исследованиях учитывались: численность важнейших физиологических групп микроорганизмов, активность процесса нитрификации, энергия накопления свободных аминокислот, интенсивность распада клетчатки, активность уреазы, каталазы и инвертазы.

Полученные данные о составе микрофлоры свидетельствуют о том, что в почве под многолетними травами численность отдельных групп микроорганизмов (аммонифицирующих бактерий, актиномицетов, олигонитрофилов, плесневых грибов) существенно снижалась по сравнению с другими культурами (табл. 61).

Содержание бактерий, потребляющих подвижный азот, в противоположность другим микроорганизмам было под травами более высоким, чем под зерновыми культурами. Особенно отчетливо это видно из динамики развития микрофлоры (рис. 14).

Поскольку бактерии, выявляемые на крахмал-аммиачном агаре, ассимилируют преимущественно минеральные формы азота, то их содержание может быть косвенным показателем наличия в почве этих форм азота. Исходя из этого, представляется, что азотный режим под травами складывается не менее благоприятно, чем под другими культурами.

В питательной среде, используемой для выявления данных микроорганизмов, азотистым компонентом является аммиачная соль. По-видимому, в почве под травами из минеральных форм азота преобладала аммиачная, вызвавшая бурное развитие указанных микроорганизмов. Под всеми культурами наиболее активно микробиологические процессы протекают весной.

Как показывают данные, полученные в весенний период, под травами обнаруживается нитратов в два с лишним раза меньше, чем под пропашными и зерновыми культурами (табл. 62).

Таблица 61

Состав микрофлоры торфяно-болотной почвы под различными сельскохозяйственными культурами,
тыс на 1 г сухой почвы (средние данные)

Культура	Аммонификаторы		Микроорганизмы, потребляющие подвижный азот		Нитрификаторы	Денитрификаторы	Олигонитрофилы	Плесневые грибы	Целлюлозо-разрушающие микроорганизмы
	всего	в том числе споровые	бактерии	актиномицеты					
Овес	6414	568	2174	4103	13	165	6375	214	40
Ячмень	4457	680	2247	4430	8	62	6642	183	54
Морковь	4849	804	5109	3375	9	133	4391	229	46
Картофель	6502	666	3101	4208	9	223	7150	223	43
Травы	3636	439	4464	1963	8	67	2491	105	32
НСР ₀₅	1970	408	2140	1750	3	353	3500	84	20

Таблица 62

Содержание нитратов в торфяно-болотной почве под различными сельскохозяйственными культурами,
мг NO₃/100 г сухой почвы

Культура	До инкубации					После инкубации				
	17. V	20. VI	16. VII	17. IX	среднее	17. V	20. VI	16. VII	17. IX	среднее
Овес	58,8	29,8	11,7	29,1	32,3	108,9	81,3	75,2	80,1	86,3
Ячмень	59,8	16,2	5,7	31,1	28,2	95,7	55,4	63,1	106,3	80,1
Морковь	44,5	37,4	37,4	38,5	39,5	107,9	93,6	99,5	90,4	97,8
Картофель	44,8	52,1	13,0	14,6	31,1	103,0	118,6	63,3	64,5	87,3
Травы	20,7	27,2	13,0	8,0	17,2	82,9	44,2	46,2	66,2	59,8
НСР ₀₅	14,9	14,6	23,1	25,9	12,6	29,9	53,3	41,3	38,2	55,0

В июне более высокий уровень нитратов отмечен только под картофелем, в июле и сентябре — под морковью. Под остальными культурами, в том числе и под травами, различия в их содержании оказались несущественными. Средние данные, характеризующие исходное количество нитратов под культурами, выражают уменьшение их под травами по сравнению с зерновыми и пропашными.

Что касается количества нитратов в образцах, инкубированных неделю в оптимальных условиях влажности и

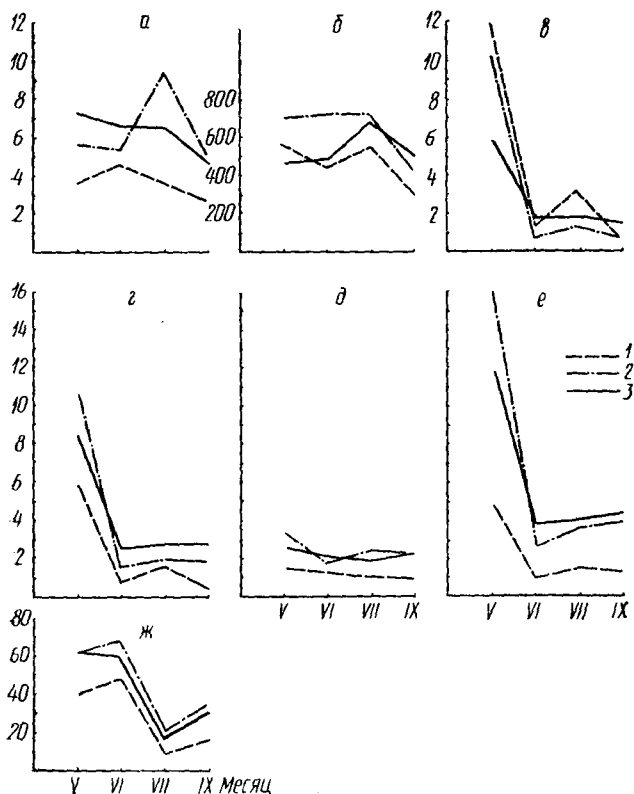


Рис. 14. Влияние сельскохозяйственных культур на изменение микрофлоры торфяно-болотной почвы: а—аммонификаторы, млн/г почвы, б — споровые бактерии, тыс/г почвы, в — бактерии на КАА, млн/г почвы, г — актиномицеты, млн/г почвы, д — плесневые грибы, тыс/г почвы, е — олигонитрофилы, млн/г почвы, ж — целлюлозоразрушающие бактерии, тыс/г почвы; 1 — травы, 2 — картофель, 3 — овес

Интенсивность разложения клетчатки в торфяно-болотной почве, %

Культура	Срок определения			Среднее за вегетационный период
	17. V—3. VII	3. VII—18. VIII	18. VIII—3. X	
Овес	36	44	68	49
Ячмень	53	44	73	56
Морковь	51	61	64	59
Картофель	58	47	56	54
Травы	44	30	61	45
НСР ₀₅	21	19	22	12

температуры, то существенных различий по вариантам опыта не найдено. Некоторая тенденция к снижению их накопления под травами все-таки сохраняется, но разница в 23 случаях из 25 математически не доказана.

Интенсивность распада в почве клетчатки зависит прежде всего от наличия в ней подвижного азота, особенно нитратных форм.

Данные первого срока определения целлюлозолитической активности показали, что интенсивность ее под различными культурами незначительна (табл. 63). Во второй срок определения процесс распада клетчатки усиливался под пропашными культурами, а под травами и зерновыми протекал примерно с одинаковой энергией.

В третий срок определения не обнаружено существенных различий в скорости превращения клетчатки под изучаемыми культурами. Анализируя средние данные о разложении клетчатки в почве, характеризующие весь вегетационный период, видно, что сохраняется тенденция к снижению интенсивности ее распада под травами по сравнению с другими культурами. Однако значительных различий, судя по средним данным, не выявлено.

Под пропашными только во второй срок определения наблюдалось усиление данного процесса, что свидетельствует о более благоприятном азотном режиме в почвах под этими культурами в отмеченное время.

В остальные сроки определения темпы минерализации вносимой в почву клетчатки под травами не ниже, чем под другими культурами.

Опыты (продолжительностью 2 недели каждый) о влиянии культур на суммарную продукцию аминокислот в торфяно-болотной почве характеризуют интенсивность

**Накопление свободных аминокислот в торфяно-болотной почве,
мкг/1 г ткани (по лейцину)**

Культура	Срок определения			
	май	июль	сентябрь	среднее
Овес	140	144	121	134
Ячмень	83	153	99	112
Морковь	157	203	128	163
Картофель	86	188	100	106
Травы	114	148	49	104
НСР ₀₅	165	84	26	55

процессов минерализации и синтеза органических веществ.

В изучаемой торфяно-болотной почве под всеми культурами накапливалось значительное количество свободных аминокислот (табл. 64).

Рассматривая полученные данные о содержании аминокислот, можно отметить, что максимум их накопления приходится на июль. В мае, июле различия по вариантам опыта не превышали наименьшей существенной разницы. В сентябре наблюдался их резкий спад под травами по сравнению с другими культурами. Средние данные указывают на одинаковые темпы накопления аминокислот под зерновыми культурами, картофелем и травами.

Привлечение новых методов определения биологической активности почвы позволяет более полно охарактеризовать ее уровень. Использование ферментативных реакций дало дополнительный материал для суждения о скорости превращения органического вещества под различными культурами (табл. 65).

Как следует из приведенных данных, активность каталазы и уреазы не зависела от характера сельскохозяйственных культур, активность же инвертазы значительно увеличивалась под многолетними травами.

Из сказанного следует, что в почве под многолетними травами ферментативное превращение безазотистых органических веществ типа дисахаридов совершается с большей энергией.

Активность уреазы была везде одинаковой, что свидетельствует об одинаковой интенсивности превращения мочевины под всеми культурами.

В Белоруссии на торфяно-болотных почвах выращи-

дается значительная часть овощных культур. Так, в Минской области на них возделывается около 60% моркови, столовой свеклы и капусты.

Задача наших исследований — изучить влияние различных овощных культур на биологическую активность почвы и выявить оптимальные звенья севооборотов по влиянию их на степень биологической минерализации и урожай. Исследования проводили в 1975—1976 гг. в стационарном опыте, заложенном в 1972 г. на опорном пункте Белорусского научно-исследовательского института картофелеводства и плодоовощеводства в совхозе «Минский тепличный комбинат». Почва экспериментального участка — мощная торфяно-болотная, сформированная из древесно-тростникового торфа, осушенного закрытым гончарным дренажом в 1954—1957 гг. Степень разложения торфа 55—60%.

Опытные культуры — капуста, морковь, столовая свекла и картофель — изучали при 2- и 3-летнем повторном выращивании и в севообороте. В год исследования микробиологического режима завершились ротации севооборотов первой закладки и появилась возможность оценить влияние отдельных их звеньев на интенсивность микробиологических процессов в почве (табл. 66).

По степени влияния на энергию минерализации органического вещества почвы овощные культуры и картофель располагались следующим образом: капуста > картофель > морковь ≥ свекла. Синтез свободных аминокислот под капустой был максимальным и составил 82—113 мкг/г ткани, под картофелем он снизился почти вдвое, а под морковью и свеклой — в 2,5—3,5 раза.

Таблица 65

**Ферментативная активность торфяно-болотной почвы
(средние данные за вегетационный период)**

Культура	Каталаза, мл O ₂ за 2 мин	Уреаза, мг N за 24 ч	Инвертаза, мг глюкозы за 4 ч
	на 1 г почвы		
Овес	5,39	8,06	14,12
Ячмень	4,80	7,66	13,41
Морковь	5,29	7,50	13,64
Картофель	5,66	7,72	13,15
Травы	4,88	7,41	18,98
НСР ₀₅	1,04	2,55	2,98

**Биологическая активность торфяно-болотной почвы
под различными овощными культурами и картофелем**

Культура	Накопление свободных аминокислот, мкг/г ткани (по лейцину)		Разложение клетчатки, %		Содержание нитратов по месяцам, мг NO ₃ /100 г сухой почвы			
	1975 г.	1976 г.	1975 г.	1976 г.	VII	VIII	IX	среднее
Капуста	82	113	73	78	64,0	34,2	29,8	42,7
Картофель	47	77	61	66	54,6	14,6	26,5	31,6
Морковь	32	—	48	—	47,6	15,0	11,9	24,9
Свекла	23	55	46	57	46,1	20,2	9,8	25,4

Целлюлозолитическая активность почвы, как и содержание в ней нитратов, была наименьшей в вариантах с морковью и свеклой. Микробиологические процессы в почве под морковью и свеклой существенно замедлялись. Распад клетчатки в указанных вариантах снизился на 21—27%, доля нитратов уменьшилась на 172,9—177,4 мг/кг почвы по сравнению с содержанием их в почве под капустой. Следует отметить, что найденная закономерность характерна для вариантов с монокультурами данных овощных культур и картофеля, повторно выращиваемыми в течение трех лет.

По-видимому, причиной выявленного различия во влиянии овощных культур на минерализацию органического вещества в почве служит особенность их агротехники. Обработку посевов моркови и свеклы заканчивали в июне. Трехкратное окучивание картофеля проводили в конце мая, начале и конце июня. До посадки капусты почву дважды дисковали. В течение вегетационного периода осуществляли неоднократную междурядную ее обработку (в июне, июле, августе). Принимая во внимание особенности обработки почвы под указанными овощными культурами, можно понять отмеченное влияние последних на минерализацию органического вещества.

Мы имели также возможность сравнить влияние капусты, выращиваемой при монокультуре после моркови, свеклы и картофеля, на интенсивность распада в почве клетчатки. Оказалось, что капуста во всех трех случаях нивелирует различия по этому биологическому показателю, которые имели место по каждой монокультуре в от-

Таблица 67

Влияние овощных культур и картофеля на интенсивность
целлюлозоразрушения в торфяно-болотной почве

Чередование культур в севообороте	Разложение клетчатки, %	
	1975 г.	1976 г.
Однолетние травы—многолет- ные травы—многолетние травы (фон) —капуста— капуста	72	73
Фон—картофель—капуста	67	75
Фон—морковь—капуста	67	56
Фон—свекла—капуста	56	53
Фон—морковь—свекла	34	48

Таблица 68

Урожайность овощных культур при монокультуре и в севообороте
(А. А. Аутко, Л. А. Карягина, Е. Н. Воробьева, 1978 г.)

Чередование культур				Урожайность, ц/га		
1973 г.	1974 г.	1975 г.	1976 г.	1975 г.	1976 г.	среднее
Однолетние травы	Капуста	Капуста	Капуста	235	358	296
Однолетние травы	Морковь	Свекла	Капуста	488	700	594
т %				2,6	2,1	—
НСР ₀₅				40,5	45,0	—
Однолетние травы	Свекла	Свекла	Свекла	340	365	352
Однолетние травы	Капуста	Морковь	Свекла	488	558	525
т %				2,7	3,3	—
НСР ₀₅				36,4	45,5	—
Однолетние травы	Морковь	Морковь	Морковь	493	—	—
Однолетние травы	Капуста	Свекла	Морковь	524	—	—
т %				2,4		
НСР ₀₅				38,2		

Примечание. В 1976 г. морковь была поражена морковной мухой.

дельности. Так, целлюлозолитическая активность почвы под капустой, идущей после картофеля, составила 65%, после моркови — 67 и свеклы — 63%, т. е. практически была одинаковой.

Данные о влиянии отдельных овощных культур и картофеля, выращиваемых в севообороте, на энергию превращения в почве клетчатки приведены в табл. 67.

В почве под капустой целлюлозолитическая активность была наиболее высокой, под морковью и свеклой — наименьшей. Из этого следует, что введение в севооборот таких овощных культур, как свекла и морковь, будет способствовать лучшему сохранению плодородия торфяно-болотных почв.

Урожай овощных культур в севообороте оказался значительно выше, чем при монокультуре (табл. 68).

Особенно это ощутимо для капусты и свеклы, для которых снижение урожая при монокультуре составляет соответственно 253 и 164 ц/га.

Таким образом, правильный подбор культур в севообороте помогает уменьшить интенсивность минерализации органического вещества почвы при одновременном повышении урожайности овощных культур и картофеля.

Влияние обработок торфяно-болотной почвы на микробиологическую деятельность и урожай овощных культур

Одним из эффективных средств управления микробиологической деятельностью является обработка почвы [165]. Рациональная система обработки торфяно-болотных почв должна предусматривать значительное регулирование сложных микробиологических процессов.

В связи с применением гербицидов в посевах овощных культур приобретает актуальность вопрос о совершенствовании агротехники возделывания последних.

В настоящее время торфяно-болотные почвы обрабатываются в основном теми же приемами, что и дерново-подзолистые. Они, за исключением прикатывания, сводятся к поддержанию почвы в рыхлом состоянии [255]. Понятно, что интенсивные обработки способствуют процессам минерализации и приводят к сокращению полезного срока службы торфяно-болотных почв.

В связи с этим необходим пересмотр некоторых агротехнических приемов выращивания овощных культур.

Выводы о целесообразности уменьшения обработок торфяно-болотных почв имеются в работах, выполненных еще в 1930—1934 гг. [199, 267]. Было отмечено, что такие овощные культуры, как морковь, столовую свеклу, на старопашотных окультуренных торфяно-болотных почвах следует выращивать без вспашки, применяя лишь весеннее дискование, при этом урожай корнеплодов не снижаются.

Несмотря на наличие большого числа аналогичных исследований, этот вопрос был и остается спорным. Противоречивость имеющихся выводов вызывает необходимость широкого изучения его в различных зонах страны и на различных сельскохозяйственных культурах. Отсутствие необходимых данных о более эффективных приемах обработки торфяно-болотных почв под овощные культуры для условий Белоруссии и послужило основанием для настоящих исследований.

Работу проводили в 1971—1973 гг. в условиях стационарного опыта Белорусского научно-исследовательского института картофелеводства и плодоовощеводства в овощном севообороте со следующим чередованием культур: морковь, столовая свекла, капуста, однолетние травы. Почва — мощная торфяно-болотная, сформированная из древесно-тростникового торфа, осушенного закрытым гончарным дренажом в 1954—1957 гг. Степень разложения торфа в пахотном горизонте (0—30 см) — 55—60%. В сельскохозяйственном использовании почва находилась 15 лет.

Перед закладкой полевого опыта вся площадь участка была разделена на 2 части: ежегодная вспашка с весенним дискованием (один фон) сравнивалась с вариантом без вспашки (1—4 года) с весенним дискованием (другой фон).

Вспашка под зябь проводилась болотным плугом на глубину 30—35 см. Фосфорные и калийные удобрения вносились по общепринятым под овощные культуры на торфяно-болотных почвах нормам.

Обработку почвы весной и заделку удобрений осуществляли дисковыми боронами на глубину 8—10 см. Вслед за этим следовало прикатывание почвы тяжелыми водоналивными катками. В течение вегетации овощных культур по обоим фонам проводили междурядные обработки по схеме: без рыхления и глубокое рыхление на 15—17 см (3 раза стрельчатой и долотообразными лапами с

Урожай моркови и столовой свеклы в зависимости от обработок торфяно-болотной почвы, ц/га (данные М. П. Передневой)

Вариант опыта	Вспашка			
	1971 г.	1972 г.	1973 г.	среднее

Столовая свекла

Без рыхления междурядий	489	493	506	496
Глубокое рыхление междурядий (15—17 см)	385	443	434	420
НСР ₀₅	34,9	14,8	25,6	

Морковь

Без рыхления междурядий	603	483	541	542
Глубокое рыхление междурядий (15—17 см)	531	438	468	479
НСР ₀₅	29,6	10,0	22,0	

Вариант опыта	Без вспашки			
	1971 г.	1972 г.	1973 г.	среднее

Столовая свекла

Без рыхления междурядий	526	494	514	511
Глубокое рыхление междурядий (15—17 см)	422	442	432	432
НСР ₀₅	38,0	16,8	21,6	

Морковь

Без рыхления междурядий	600	500	550	550
Глубокое рыхление междурядий (15—17 см)	514	443	483	480
НСР ₀₅	17,1	11,6	22,9	

шириной захвата 40 см). Из гербицидов в опыте использовали: под морковь прометрин (4,5 кг/га), под столовую свеклу — пирамин (8 кг/га действующего вещества).

Определение численности важнейших физиологических групп микроорганизмов показало, что аммонифицирующих бактерий насчитывалось 7—15 млн., бактерий, ассимилирующих минеральный азот, — 6—8 млн., актиномицетов — 10—14 млн., олигонитрофилов — 15—68 млн. клеток/г почвы. Численность плесневых грибов составила 280—504 тыс/г почвы. Однако достоверных различий по вариантам опыта в микрофлоре не выявлено. Получен-

ные цифры свидетельствуют лишь о большой потенциальной минерализующей способности данной почвы населяющими ее микроорганизмами.

Наиболее существенные различия по вариантам обработки почвы были отмечены для численности целлюлозоразрушающих микроорганизмов. Так, их содержание в варианте без вспашки и рыхления составило 29,4 тыс., в варианте со вспашкой возросло до 101,7 тыс., а в варианте с сочетанием вспашки и рыхления — до 138,2 тыс./г почвы.

Самый высокий урожай овощных культур был получен в вариантах без рыхления междурядий, а самый низкий — с ежегодной вспашкой и глубоким рыхлением междурядий (табл. 69).

Представляло интерес выяснить, как складывался азотный режим почвы по вариантам опыта, и установить его связь с урожаем возделываемых культур. Азотный режим характеризовали на основе определения нитратного азота.

Известно, что основными факторами, влияющими на образование нитратов, являются водный, воздушный и

Т а б л и ц а 70

Содержание нитратов в посевах моркови и свеклы в зависимости от обработок торфяно-болотной почвы (слой—30 см), мг $\text{NO}_3/\text{кг}$ абсолютно сухой почвы (данные М. П. Передневой)

Вариант опыта	Вспашка			
	1971 г.	1972 г.	1973 г.	среднее
Без рыхления междурядий	$\frac{715}{466}$	$\frac{604}{291}$	$\frac{520}{345}$	$\frac{613}{367}$
Глубокое рыхление междурядий (15—17 см)	$\frac{860}{552}$	$\frac{732}{320}$	$\frac{722}{380}$	$\frac{771}{417}$
Вариант опыта	Без вспашки			
	1971 г.	1972 г.	1973 г.	среднее
Без рыхления междурядий	$\frac{604}{394}$	$\frac{444}{262}$	$\frac{451}{309}$	$\frac{499}{319}$
Глубокое рыхление междурядий (15—17 см)	$\frac{740}{481}$	$\frac{604}{326}$	$\frac{581}{336}$	$\frac{641}{382}$

П р и м е ч а н и е. В числителе—данные о моркови, в знаменателе—о столовой свекле.

тепловой режимы почвы [144]. Изменение одного из них сопровождается изменением содержания в почве нитратов.

Установлено, что выращивание пропашных культур на торфяно-болотных почвах усиливает накопление нитратов [253]. Междурядные обработки почвы приводят к аналогичному действию [20, 50, 62, 155].

Т а б л и ц а 71

Разложение клетчатки в посевах моркови в зависимости от обработок торфяно-болотной почвы, %

Вариант опыта	Год	Без рыхления междурядий	Глубокое рыхление междурядий
Вспашка	1971	52,2	68,2
	1972	58,3	40,0
	1973	49,2	55,0
	Среднее	46,6	54,4
Без вспашки	1971	51,5	60,6
	1972	28,7	30,0
	1973	36,5	45,6

Т а б л и ц а 72

Содержание свободных аминокислот в торфяно-болотной почве в зависимости от обработок столовой свеклы, мг/1 г ткани (по лейцину)

Вариант опыта	Без рыхления междурядий			
	1972		1973	
	май	август	май	август
Вспашка	297,5	199,2	141,7	255,8
Без вспашки	296,2	106,7	134,5	187,9

Проведенные исследования позволили установить, что во все годы наблюдений в почве как при посевах моркови, так и столовой свеклы накапливалось высокое содержание нитратного азота (табл. 70). Однако общее его количество в посевах столовой свеклы было ниже, чем в посевах моркови.

Тем не менее и в посевах свеклы почва, как мы видим, изобилует нитратным азотом, остаточные количества которого здесь составляют 244—732 мг/кг. Уровень нитрат-

ного азота уменьшался в вариантах без рыхления междурядий. Самое меньшее его количество зафиксировано в варианте без вспашки и без рыхления междурядий (246—417 мг/кг). В последнем варианте получен и самый высокий урожай столовой свеклы.

Следовательно, нашими исследованиями установлена обратная связь между урожаем моркови и столовой свеклы и содержанием нитратного азота в почве. Подобная зависимость была найдена и для озимой ржи, возделываемой на торфяно-болотной почве [30].

С нитратным режимом почвы связан процесс разложения в ней клетчатки (табл. 71).

Во все годы исследований получены убедительные данные: самая низкая целлюлозолитическая активность, в полной мере характеризующая общий уровень биологической активности почвы, отмечена в вариантах без вспашки и без рыхления междурядий. Она усиливалась уже при глубоком рыхлении междурядий, но без вспашки, и еще в большей степени — при сочетании обеих обработок. Таким образом, наблюдается также обратная связь между урожаем овощных культур и интенсивностью разложения клетчатки. Чем ниже последняя, тем выше урожай моркови и свеклы.

Следовательно, агротехнические приемы, снижающие степень разложения клетчатки и интенсивность нитрификации, обеспечивали повышение урожайности и одновременно способствовали сохранению потенциального плодородия почвы. Меньшее развитие нитрификационного процесса в свою очередь приведет к сокращению непроизводительных потерь азота вследствие денитрификации и вымывания.

Вспашка также приводила к усилению процесса накопления свободных аминокислот (табл. 72). Особенно существенная разница выявилась во второй срок определения.

Как показали наши исследования, минимализация операций при обработке торфяно-болотной почвы под овощные культуры обеспечивает более рациональное использование органического вещества этих почв.

Глава 6

АЗОТФИКСИРУЮЩАЯ СПОСОБНОСТЬ ПОЧВ

До недавнего времени единственными обладателями уникальной способности усваивать молекулярный азот считались представители родов азотобактер и клостридий, причем в первую группу входили аэробные, а во вторую — анаэробные микроорганизмы.

В последние годы в результате применения изотопных методов исследований установлена возможность фиксировать азот атмосферы многими сапрофитными бактериями, грибами и актиномицетами [179].

Дерново-подзолистые почвы признаны зоной оптимального распространения маслянокислых бактерий рода *Clostridium* [179], которые обладают значительной толерантностью к почвенной кислотности — их обнаруживали в почвах с рН ниже 5,0 [243, 330, 371].

Применение оптимально-дифференцированных сред позволило вычленил среди клостридий три наиболее широко представленных в почвах вида — *Clost. buturicum*, *Clost. pasteurianum*, *Clost. acetobutylicum* [170]. Небезынтересна также для изучения группировка факультативно-симбиотрофных микроорганизмов, способных осуществлять процесс азотфиксации с целлюлозо-разлагающими микроорганизмами [94]. Большая численность указанных бактерий и олигонитрофилов в дерново-подзолистых почвах свидетельствует о значительной их роли в пополнении почвенных запасов азота.

В целом значение свободноживущих азотфиксаторов нельзя не учитывать при составлении азотного баланса в земледелии.

Относительно размеров накопления азота в почве свободноживущими азотфиксирующими микроорганизмами данные весьма противоречивы. В условиях оптимального

режима для азотфиксирующей микрофлоры эти накопления могут составлять десятки и даже сотни килограммов азота на 1 га за год [72, 73, 287]. Подсчитано, что свободноживущие азотфиксаторы на почвах сельскохозяйственного использования в СССР усваивают до 4 млн. т азота, а общий вклад биологического азота в сельское хозяйство равен 7 млн. т. Химическая промышленность СССР дает сельскому хозяйству около 8 млн. т минеральных удобрений в расчете на азот [169].

Использование биологической фиксации азота имеет преимущества перед массовым внесением азотных удобрений, поскольку позволяет сохранить структуру почвы и избежать загрязнения водоемов [97]. Это обстоятельство представляет большой агрономический интерес и побуждает исследователей к изучению микроорганизмов, осуществляющих азотфиксацию, и к новым поискам путей интенсификации процесса азотоусвоения.

В Белоруссии целенаправленного изучения азотфиксирующих организмов и сопоставления их численности с общей азотфиксирующей способностью почвы не проводилось.

Мы пытались определить содержание основных группировок свободноживущих азотфиксаторов в некоторых почвах республики и их потенциальную азотфиксирующую активность.

Исследования проводили на ряде стационаров («Лошица-1», Щучин и «Беняконь», совхоз «Минский»). Информация об опытах в «Лошице-1» и «Бенякони» была изложена выше. Отметим, что почва опытного участка в Щучине дерново-подзолистая среднеподзоленная, связносупесчаная, подстилаемая с глубины 0,5 м моренным суглинком. Опытная культура — картофель.

В совхозе «Минский» исследования проводили на мощной торфяно-болотной почве (степень разложения торфа 55—60%), сформированной из осоково-тростникового торфа. Опытная культура — капуста, возделываемая в овощном севообороте, насыщенном травами. В год исследования предшественником были многолетние травы четырехлетнего пользования. Представляло интерес выявить влияние свежего органического вещества, поступающего в почву после заделки пласта многолетних трав, на содержание фиксирующей азот микрофлоры и потенциальную азотфиксирующую способность почвы.

В вариантах с органическими удобрениями и при со-

Численность анаэробных азотфиксаторов в различных почвах

Вариант опыта	<i>Clost. pasteurianum</i>	<i>Clost. acetobutylicum</i>	<i>Clost. butyricum</i>
	тыс/г сухой почвы		
<i>Дерново-подзолистая легкосуг</i>			
Контроль	27	121	62
N ₉₀ P ₉₀ K ₁₂₀	35	39	276
Навоз (20 т/га) + N ₅₀ P ₅₀ K ₁₂₀	388	53	256
ТНК (20 т/га) + N ₅₀ P ₅₀ K ₁₂₀	41	50	1086
<i>Дерново-подзолистая связносупес</i>			
Контроль	16	40	180
N ₁₅₀ P ₂₃₀ K ₂₃₀	35	70	58
Навоз (10 т/га) + N ₁₅₀ P ₂₃₀ K ₂₃₀	66	50	66
Навоз (40 т/га) + N ₁₅₀ P ₂₃₀ K ₂₃₀	274	154	358
<i>Дерново-подзолистая пылевато-</i>			
Контроль	24	22	28
Навоз (80 т/га) + NPK	33	18	88
Навоз (60 т/га) + торф (20 т/га) + NPK	37	67	34
Навоз (20 т/га) + торф (60 т/га) + NPK	35	25	50
<i>Мощная торфяно-болотная сильноразложившаяся осоково-</i>			
Контроль	132	47	590
P ₈₀ K ₁₂₀	302	95	559
P ₁₈₀ K ₃₆₀	105	31	418

Таблица 73

Фиксировано азота, мг на 100 мл среды	
весна	осень
<i>лиственная</i>	
5,94	5,19
5,27	4,28
6,59	6,83
6,54	8,41
<i>чаная</i>	
4,08	3,12
3,23	3,42
4,92	3,77
5,37	4,27
<i>песчанистая</i>	
3,82	3,15
3,07	3,38
3,03	2,92
3,50	4,39
<i>тростниковая</i>	
1,81	15,27
0,93	9,30
0,35	12,44

бактером составляла 100%. Внесение одних минеральных удобрений полностью подавляло развитие азотобактера.

Группировка факультативно-симбиотрофных микроорганизмов обнаруживалась во всех обследованных почвах. Особенно представительна она в почвах легкого механического состава — сотни тысяч клеток на 1 г почвы. Минеральные удобрения способствуют проявлению лучшей жизнедеятельности микроорганизмов, существенно повышая общую их численность в дерново-подзолистых и торфяно-болотных почвах.

Анаэробные азотфиксирующие микроорганизмы *Clost. pasteurianum* активизируют свою деятельность под влиянием органических, в частности навозного удобрения (табл. 73). Высокие дозы фосфорно-калийных удобрений (P₁₈₀K₃₆₀) на торфяно-болотной почве выступают как депрессанты указанной группировки бактерий.

Широко распространена в почвах республики и группа анаэробных фиксаторов азота — *Clost. acetobutylicum*. Особого влияния минеральных и органических удобрений на содержание ацетонобутиловых клостридий в почвах не обнаружено. Если на дерново-подзолистой легко-суглинистой почве минеральные удобрения снижают их численность, то на связносупесчаной весенняя депрессия сменяется к сентябрю за-

метной стимуляцией, что можно объяснить уменьшением концентрации минерального азота по мере потребления его растениями. На торфяно-болотной почве умеренные дозы фосфорно-калийных удобрений стимулировали, повышенные — снижали уровень ацетонобутиловых бактерий.

четании их с минеральными туками постоянно выявляли азотобактер с хорошо выраженной пигментацией. При систематическом внесении навоза и торфо-навозного компоста плотность обрастания комочков почвы азото-

Группировка *Clost. butyricum* обильно представлена как в дерново-подзолистых, так и торфяно-болотных почвах. Органические удобрения значительно повышали содержание их в почве.

Стимулирующее влияние органических удобрений на размножение азотфиксирующих анаэробов может быть связано с тем, что они служат не только поставщиками энергии и питательных веществ, но и, вероятно, источниками витаминов, ростовых факторов, микроэлементов, необходимых для жизнедеятельности *Clostridium*.

Увеличение количества органических удобрений, в частности навоза, с 10 до 40 т/га севооборотной площади на связнопесчаной почве обусловило значительную активизацию всех анаэробных фиксаторов, что отмечалось многими исследователями [131, 189, 213, 243].

В соответствии с этим находятся данные о потенциальной анаэробной азотфиксирующей способности почв, которая на супесчаных почвах несколько ниже, чем на легкосуглинистой дерново-подзолистой почве (прибавка азота составила 3,07—4,92 мг/г почвы).

На дерново-подзолистой почве ежегодное, длительное применение минеральных удобрений не препятствовало проявлению азотфиксации, но относительная активность ее снижалась по сравнению с контрольным вариантом.

Органические удобрения повышали азотфиксирующую способность во всех почвах на 7—62% по отношению к контролю. Увеличение дозы навоза с 10 до 40 т/га севооборотной площади интенсифицировало процесс азотфиксации на 25%. Торфо-навозный компост на легкосуглинистой почве к осени усиливал потенциальную азотфиксирующую способность на 30% по сравнению с навозом, что может быть связано с развитием в это время группировки *Clost. butyricum*. Интересно отметить и факт усиления к осени жизнедеятельности группировок *Clost. pasteurianum* и *Clost. butyricum* в торфяно-болотной почве.

На торфяно-болотной почве минеральные удобрения угнетали азотфиксацию по сравнению с контролем. Весной она незначительна (0,35—1,81 мг азота на 100 мл среды). Осенью по мере разложения свежего органического вещества многолетних трав она усиливалась (9,30—15,27 мг азота на 100 мл среды). Следует отметить, что и численность *Clost. butyricum* к осени возрастала более чем в 10 раз.

Накопленный к настоящему времени экспериментальный материал по определению нитрогеназной активности газохроматографическим методом позволяет считать потенциальную азотфиксирующую способность одним из чувствительных показателей общей биологической активности почвы [81, 198] и составить представление о теоретических масштабах азотфиксации.

Наши исследования показали, что энергия азотонакопления, обусловленная деятельностью несимбиотической азотфиксирующей микрофлоры, значительно возрастает при известковании почвы (табл. 74) и сохраняется на таком высоком уровне до конца наблюдений. Почва без извести не обеспечивает высокого «стартового» эффекта в азотонакоплении. Если в неизвесткованной почве без внесения удобрений, а также на фоне удобрений в первые сутки наблюдений обнаруживали лишь слабую азотфиксирующую активность, то в вариантах с внесением удобрений в известкованную почву она была в 4—17 раз выше. На вторые сутки различия между названными почвами по энергии азотфиксации значительно уменьшились в результате усиления процесса в неизвесткованной почве и сохранения примерно первоначального его уровня в известкованной. На третьи сутки азотфиксирующая способность тех и других почв выравнивалась. Следовательно, известкование ее придает особую устойчивость данному биологическому процессу, сохраняя при этом высокий его потенциал.

Повышение интенсивности процесса азотфиксации отмечено при изменении кислотности на 0,7 единицы, т. е. при pH 5,0 (табл. 75).

Таблица 74

Влияние известкования на потенциальную азотфиксирующую способность дерново-подзолистой почвы, мгк N_2 /10 г сухой почвы

Вариант опыта	Сутки наблюдений		
	1-е	2-е	3-е
Контроль	0,02	0,10	0,32
Навоз	0,04	0,13	0,30
Навоз + известь	0,34	0,20	0,26
НРК	0,02	0,19	0,25
НРК + известь	0,15	0,18	0,34

При рН 5,0—5,5 интенсивность азотфиксации почти не менялась, а снижение почвенной кислотности до рН 6,0 вновь существенно активизировало процесс. Можно констатировать усиление азотфиксации в 3 раза при изменении рН почвы от 4,3 до 6,0.

Между обеспеченностью почвы калием и величиной азотфиксации в режиме рН 6,0 обнаружена прямая зависимость.

Ранее отмеченный факт различного влияния известкованной и неизвесткованной почвы на интенсивность связывания молекулярного азота, особенно в первые стадии процесса, полностью подтвердился (табл. 76).

Потенциальная азотфиксирующая способность почвы с рН 6,0 в первый день наблюдения была в 30—100 раз выше, чем кислой. В последней только на четвертые сутки выявляли равную по интенсивности величину азотфиксации, после чего она вновь в 5—7 раз снижалась. В первом случае спад нитрогеназной активности происходил

Таблица 75

Влияние кислотности на потенциальную азотфиксирующую способность дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы, мкг N_2 /10 г почвы за сутки

Обеспеченность почвы калием	рН 4,3	рН 5,0	рН 5,5	рН 6,0
Низкая	1,25	2,38	2,34	3,97
Средняя	1,39	2,06	3,00	4,15
Высокая	1,53	2,35	2,42	4,64

Таблица 76

Динамика нитрогеназной активности в дерново-подзолистой легкосуглинистой почве разного состояния кислотности, мкг N_2 /10 г почвы

рН	Обеспеченность калием	Сутки наблюдений			
		1-е	2-е	3-и	4-е
4,3	Низкая	0,01	0,21	4,98	0,83
	Средняя	0,01	0,47	5,04	0,87
	Высокая	0,03	0,44	4,80	0,57
6,0	Низкая	0,43	0,64	3,81	2,83
	Средняя	0,55	0,80	5,14	2,52
	Высокая	0,61	0,87	4,65	2,27

Нитрогеназная активность при повышенной влажности почвы и различном состоянии кислотности, мкг N₂/10 г почвы

рН	Обеспеченность почвы калием	Сутки наблюдений		
		1-е	3-и	8-е
4,3	Средняя	1,46	1,85	0,86
6,0	«	2,40	7,25	2,80

Таблица 78

Потенциальная азотфиксирующая способность дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы при различных системах удобрения

Вариант опыта	Азотфиксация, мкг N ₂ /10г почвы за сутки
Контроль	0,20
N ₉₀ P ₉₀ K ₁₂₀	0,31
ТНК (20 т/га) + N ₅₀ P ₅₀ K ₁₂₀	1,74
Навоз (20 т/га) + N ₅₀ P ₅₀ K ₁₂₀	1,95
НСП ₀₅	0,40

более плавно и составлял 40—60% от максимальной величины.

Второй опыт был проведен при повышенной влажности тех же почвенных образцов (80% от полной влагемкости, табл. 77).

Увеличение влажности с 60 до 80% от полной влагемкости несколько сглаживает отмеченные ранее различия в азотфиксации. Уже в первые сутки наблюдений кислая почва проявляет значительную активность, хотя по-прежнему более высокая нитрогеназная способность свойственна почве с рН 6,0.

Положительное влияние повышенной влажности на азотфиксацию может быть связано с развитием в этих условиях анаэробных фиксаторов рода *Clostridium*.

Высокую потенциальную азотфиксирующую способность обнаруживали в вариантах совместного применения навоза и торфо-навозного компоста с минеральными туками (в течение 20 лет) (табл. 78).

Почвы, удобренные навозом и торфо-навозным компостом, проявляли примерно одинаковую азотфиксирующую способность. В указанном опыте соотношение навоза и торфа в компосте соответствовало 1 : 2. При соотношении этих компонентов 1 : 3 в многолетнем полевом опыте на рыхлой пылевато-песчанистой супеси ее азотфиксирующая способность снижалась (табл. 79).

Наиболее сильное воздействие на азотфиксацию оказывало известкование связносупесчаной дерново-подзолистой почвы (табл. 80). Возрастание доз навоза с 20 до 160 т/га уже не столь резко усиливало азотфиксирующую способность почвы.

Установлена высокая азотфиксирующая способность сапропелевых удобрений (табл. 81).

Сапропель оз. Червоное проявлял большую азотфиксирующую способность по сравнению с сапропелем оз. Вечер.

Таблица 79

Изменение потенциальной азотфиксирующей способности почвы при изменении соотношения торфа и навоза в компосте

Вариант опыта	Азотфиксация, мкг N ₂ /10 г почвы за сутки	
	1977 г.	1978 г.
Контроль	0,33	0,48
Навоз (80 т/га) + N ₂₀₀ P ₂₄₀ K ₃₆₀ (фон)	0,83	1,18
Навоз (60 т/га) + торф (20 т/га) + фон	0,77	1,00
Навоз (20 т/га) + торф (60 т/га) + фон	0,66	0,57
НСР ₀₅	0,30	0,60

Таблица 80

Сравнительное влияние минеральных и различных доз органических удобрений на потенциальную азотфиксирующую способность дерново-подзолистой связносупесчаной почвы

Вариант опыта	Азотфиксация, мкг N ₂ /10 г почвы за сутки	Вариант опыта	Азотфиксация, мкг N ₂ /10 г почвы за сутки
Контроль	0,15	Фон+навоз (40 т/га)	0,72
НРК	0,20	Фон+навоз (80 т/га)	0,66
НРК+известь (фон)	0,56	Фон+навоз (160 т/га)	0,79
Фон+навоз (20 т/га)	0,65	НСР ₀₅	0,36

С увеличением окультуренности почв, повышением уровня их плодородия наряду с другими показателями биологической активности существенно возросла энергия азотфиксации (табл. 82).

Минеральные удобрения непосредственно после их внесения в почву подавляли азотфиксацию (табл. 83).

Выявилась определенная закономерность: на почвах низкого уровня плодородия потенциальная азотфикси-

Т а б л и ц а 81

Сравнительное влияние сапропелей на энергию азотфиксации

Вариант опыта	Азотфиксация, мкг N ₂ /10 г почвы за сутки		
	1-е	2-е	3-е
Сапропель оз. Червоное	0,82	3,34	1,59
Сапропель оз. Вечер	0,45	1,63	1,25
НСР ₀₅	0,44	0,57	0,53

Т а б л и ц а 82

Азотфиксирующая способность дерново-подзолистой почвы разного уровня плодородия

Уровень плодородия	Суглинки	Супеси
	мкг N ₂ /10 г почвы за сутки	
Высокий	0,42	0,20
Средний	0,17	0,11
Низкий	0,14	0,04

рующая способность уменьшилась под влиянием высоких доз минеральных удобрений в 4—6 раз; на почвах высокого уровня плодородия эта депрессия или не проявлялась, или была незначительной. Следовательно, повышенное содержание гумуса в почве создает условия для интенсивной азотфиксации даже на фоне высоких доз минеральных удобрений. Имеются сведения об уменьшении в присутствии малых доз гумусовых веществ отрицательного действия на урожай высоких доз минеральных удобрений [7].

По мере потребления минеральных удобрений ячме-

Влияние минеральных удобрений на потенциальную азотфиксирующую способность дерново-подзолистой почвы, мкг $N_2/10$ г почвы за сутки

Вариант опыта	Уровни плодородия					
	низкий		средний		высокий	
	8. VI	15. IX	8. VI	15. IX	8. VI	15. IX

Суглинки

Контроль	3,75	3,78	3,12	6,20	5,09	15,90
$N_{90}P_{75}K_{120}$	0,89	4,50	0,77	6,66	5,11	13,14
$N_{150}P_{125}K_{200}$	0,86	3,49	0,53	0,81	3,61	12,43

Супеси

Контроль	1,18	2,58	—	—	1,56	10,38
$N_{90}P_{75}K_{120}$	0,12	1,92	—	—	1,86	9,45
$N_{150}P_{125}K_{350}$	0,18	1,80	—	—	1,81	4,96

нем (в осенний срок наблюдения) депрессия азотфиксации не отмечена. Таким образом, внесение минеральных удобрений оказывает непродолжительное тормозящее влияние на азотфиксацию.

Лабораторными опытами выявлено, что сдерживающим началом азотфиксации является азот, в меньшей степени — калий (рис. 15).

Ингибирование процесса азотфиксации повышенными дозами связанного азота вызвано тем, что аммиак и нитраты репрессируют синтез нитрогеназы [104]. Это имеет большое экологическое значение для азотфиксаторов, так как позволяет клетке переключаться с питания атмосферным на связанный азот — путь гораздо более экономный энергетически, чем азотфиксация.

Имеются указания, что азотфиксирующая активность дерново-подзолистой почвы заметно подавлялась при концентрации связанного азота 100 мкг/мл среды и полностью — при 167 мкг/мл [149]. Концентрации аммиака, репрессирующие в чистой культуре азотфиксацию у различных групп микроорганизмов, не отличаются от концентраций, подавляющих этот процесс в почвенных условиях.

По нашим данным, содержание гумуса и азотфикси-

рующая способность тесно взаимосвязаны ($r=0,85\pm0,13$). Вероятно, со степенью гумусированности связан отмеченный в литературе факт стимуляции на некоторых почвах азотфиксации под влиянием азотных удобрений в дозах 50—100 кг/га и подавление ее только очень высокими дозами — более 500 кг/га [221].

Интересно отметить влияние свежего органического вещества на процесс азотоусвоения: при добавлении 0,1—0,05% глюкозы в среду азотфиксация подавлялась от 5 мкг аммиачного азота, а при внесении 1% глюкозы она протекала успешно даже при 35 мкг [352], а ингибирование достигалось только внесением 50 мкг аммиачного азота.

Ряд авторов считают, что высоко гумусированные, биологически более активные почвы, содержащие большой процент углерода, отличаются и высокой окупаемостью минеральных удобрений [129, 148]. На таких почвах увеличение дозы NPK до 1000 кг/га не вызывало депрессии урожая, хотя концентрация солей в них приближалась к критическому уровню для роста растений (около 150—180 мг/100 г).

В серии лабораторных опытов нами установлено, что при компостировании почвы с соломой в течение месяца отрицательное влияние высокой дозы минерального азота на процесс азотфиксации уменьшалось (табл. 84).

Если внесение сульфата аммония (0,082 г/300 г почвы) полностью подавляло азотфиксацию, то сочетание его с соломой (2% к массе почвы) способствовало прояв-

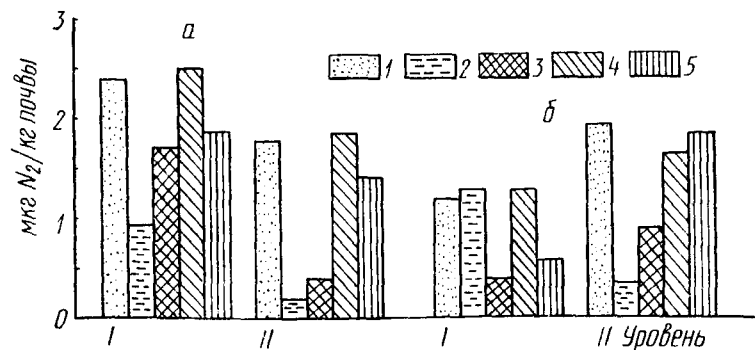


Рис. 15. Влияние минеральных удобрений на азотфиксацию (средние данные): а — суглинки, б — супеси; 1 — контроль, 2 — N₁₅₀P₁₂₅K₂₀₀, 3 — N₁₅₀, 4 — P₁₂₅, 5 — K₂₀₀

Таблица 84

Влияние минерального азота и свежего органического вещества на процесс азотфиксации

Вариант опыта	Азотфиксация, мкг N ₂ /10 г почвы за сутки			
	30*	60	90	150
Контроль	1,42	1,36	1,62	1,40
Почва+0,082 г N ₂	0	0	0	0
Почва+0,082 г N ₂ +2% со- ломы	0,11	0,46	1,26	1,38
НСР ₀₅	0,19	0,13	0,10	0,15

* Время с момента постановки опыта, дни.

Таблица 85

Влияние различных доз и форм азотных удобрений на азотфиксирующую способность дерново-подзолистых почв в зависимости от уровня их плодородия и механического состава

Удобрение	Супесчаная				Суглинистая			
	Уровни плодородия							
	низкий		высокий		низкий		высокий	
	доза азота, кг/га д. в.							
	150	500	150	500	150	500	150	500
Контроль	0,10	0,10	2,56	2,40	1,60	1,64	2,59	2,64
Аммиачная селитра	0	0	0,64	0	1,42	0	2,79	0
Сульфат аммония	0	0	0,01	0	1,56	0,36	1,78	0,34
Натриевая селитра	0,04	0	0,64	0	2,82	3,94	2,38	0,12
Калиевая селитра	0	0	0,77	0	2,08	0	2,98	0
Мочевина	0,08	0	2,44	0	1,81	0,04	1,38	0,24
Аммиачная вода	0,13	0	1,24	0	0,73	0,86	1,49	1,04

лению некоторой азотфиксирующей способности почвы, хотя она оставалась ниже, чем в контроле. Через 3 месяца со дня постановки опыта азотфиксация в варианте солома+азот выравнивалась с контролем.

В модельном лабораторном опыте изучали влияние аммиачной, натриевой, калиевой селитры, сульфата аммония, мочевины и аммиачной воды в дозах 150 и 500 кг/га действующего вещества на азотфиксирующую

способность дерново-подзолистой супесчаной и суглинистой почвы двух уровней плодородия.

Агрохимические показатели: для суглинистой и супесчаной почвы первого уровня плодородия pH_{KCl} — соответственно 5,05 и 4,64; содержание гумуса — 1,90 и 1,68%; P_2O_5 — 13,64 и 4,2 мг и K_2O — 13,7 и 8,8 мг/100 г почвы; для суглинистой почвы второго уровня плодородия pH_{KCl} — 6,50, для супесчаной — 5,36; содержание гумуса — соответственно 3,81 и 3,25; P_2O_5 — 63,5 и 50,0 и K_2O — 46,0 и 32,0 мг/100 г почвы соответственно.

Депрессивное действие минерального азота на процесс азотфиксации определяется формой, дозой азотных удобрений, а также механическим составом и уровнем плодородия почв (табл. 85). На супесчаной почве низкого плодородия внесение 150 кг/га азота в виде аммиачной селитры, сульфата аммония, калиевой и натриевой селитры сводило на нет азотфиксацию. В то же время мочевины и аммиачная вода такого влияния не проявляли.

На супесчаной почве высокого плодородия названная доза удобрений подавляла процесс азотфиксации лишь при внесении сульфата аммония. Мочевина отрицательного действия не оказывала, остальные формы азотных удобрений снижали, но не исключали азотфиксирующую способность.

Высокая доза азотных удобрений полностью подавляла азотфиксацию супесчаной почвы независимо от уровня ее плодородия.

На суглинистой почве низкого и высокого уровней плодородия при внесении азота в дозе 150 кг/га азотфиксация так же активна, как и в почве без внесения азотных удобрений. Высокая доза азота полностью подавляла процесс азотфиксации на почве низкого плодородия по всем формам азотных удобрений, кроме аммиачной воды, ослабляющей, но не исключаящей азотфиксацию. На почве высокого плодородия последняя отсутствовала при внесении высокой дозы азота в форме аммиачной и калиевой селитры, сильно тормозится при внесении натриевой селитры и мочевины и незначительно подавлялась при внесении аммиачной воды.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В книге рассматриваются особенности микробиологических и биохимических процессов, протекающих в дерново-подзолистых и торфяно-болотных почвах при различном сельскохозяйственном их использовании. Исследованиями были охвачены в основном дерново-подзолистые почвы Минской, Гродненской, Гомельской и Витебской областей и торфяно-болотные почвы Минской области.

Изучено также протекание микробиологических процессов при окультуривании легких почв. Своеобразие физических условий песчаных и супесчаных почв создает предпосылки для активного течения в них окислительных процессов, в результате чего вносимые органические удобрения, играющие решающую роль в окультуривании, быстро минерализуются. Из сказанного вытекает, что управление почвенным плодородием легких почв по существу заключается в регулировании содержания в них органического вещества. С подобной позиции рассматриваются различные приемы окультуривания песчаных почв. Установлено, что способ глубокого внесения торфо-навозного компоста (до 35 см) при равномерной его заделке обеспечивает получение максимального урожая при наибольшем сохранении вносимого органического вещества удобрений и почвенного гумуса.

Превращение органических удобрений, вносимых на глубину до 35 см, в слое почвы 20—35 см останавливается на стадии аммонификации, охватывающей более широкую экологическую сферу, чем нитрификация. Аммиачная форма азота, равноценная в питании растений с нитратной, более стабильна в почвенных условиях.

По биологическим критериям оценена длительность

последствия различных приемов окультуривания легких почв. Показана тесная связь эффективности лигнинных компостов, сапропелей и торфа, применяемых в качестве органических удобрений на песчаных и супесчаных почвах, с их биологическим достоинством.

Опыты, проведенные на старейшем в Белоруссии Белянском стационаре, показали, что увеличение доли торфа в составе торфо-навозного компоста с 25 до 75% сопровождалось снижением общей продуктивности севооборота и ухудшением микробиологических свойств почвы.

Четко определены различия во влиянии минеральных, органических и смешанных удобрений на биологические процессы, характеризующие почвенное плодородие дерново-подзолистых суглинистых почв. Органические удобрения (навоз и торфо-навозный компост) и сочетание их с минеральными при длительном применении существенно увеличивали общую численность микроорганизмов, активность нитрификации, синтез свободных аминокислот, распад клетчатки, энергию азотфиксации, ферментативную активность. При этом условный коэффициент гумусонакопления, определяемый по соотношению активности полифенолоксидазы к пероксидазе, увеличился в 2,5—3 раза, что находится в соответствии с возросшей степенью гумусированности почвы.

Полное минеральное удобрение при систематическом 20-летнем применении в дозе $N_{90}P_{90}K_{120}$ на фоне известки обеспечивало лишь бездефицитный баланс гумуса, который с точки зрения расширенного воспроизводства плодородия почвы не может быть признан перспективным.

При внесении в почву минеральных удобрений без учета ее исходных агрохимических свойств могут наблюдаться серьезные нарушения в ритме отдельных микробиологических процессов с нежелательными последствиями. Так, при калийном дефиците, отрицательно влияющем на поступление азота в растение, вносимый минеральный азот беспрепятственно перерабатывается в процессе нитрификации и денитрификации, обуславливающим большие непроизводительные его потери.

Экспериментальные исследования свидетельствуют о том, что кислотность почвы оказывает сильное влияние на направленность процессов минерализации — гумификации. При кислотности pH 5,5 и выше создаются условия, сопутствующие гумификации, активному окислению

полифенолов при участии бактериальных полифенолоксидаз. Параллельно с этим наступает спад в активности пероксидазы, катализирующей процессы разложения гумуса. Условный коэффициент гумусонакопления в почве при рН 5,5 и выше возрастает в 5—10 раз по сравнению с почвой, имеющей кислотность в диапазоне рН от 4,2 до 5,2.

В целом по суммарному показателю, объединяющему все изученные биологические характеристики, самое благоприятное влияние на почву оказывают смешанные удобрения (179—238%), затем органические (164—210%), минеральные (143—164%) при 100%-ной оценке биологического тонуса почвы контрольного варианта (без удобрений).

Выявлены высокие корреляционные отношения между большинством биологических показателей, урожаем сельскохозяйственных культур, содержанием и составом органического вещества, пищевым режимом почвы, ее кислотностью и составом почвенного поглощающего комплекса. Для целей биодиагностики состояния окультуренности дерново-подзолистых почв могут быть выделены целлюлозолитическая способность, активность инвертазы, уреазы, полифенолоксидазы, условный коэффициент гумусонакопления, содержание и состав спорообразующих бактерий. Нитрификация является объективным показателем плодородия почвы лишь в условиях хорошей обеспеченности ее подвижными формами фосфора и калия.

При сельскохозяйственном освоении торфяно-болотных почв возникает проблема рационального использования органического вещества, решение которой должно строиться на направленном регулировании процессов его минерализации. Перспективными и действенными средствами регулирования темпов минерализации органического вещества таких почв являются агротехнические. Минимальная обработка торфяно-болотных почв в полной мере отвечает решению поставленной задачи.

Много внимания в книге уделяется потенциальной азотфиксирующей способности почв и факторам интенсификации этого уникального биологического процесса. Вскрыта защитная роль гумуса в процессе азотонакопления. Почвы с повышенным содержанием гумуса (выше 2%) обеспечивают интенсивное накопление азота даже на фоне $N_{150-500}$ кг действующего вещества на 1 га.

Изменение рН почвы с 5,0 до 6,0 в 2,5—3,0 раза увеличивает активность азотфиксации. Подобное же действие оказывали все виды органических удобрений (навоз, компост, сапропели, торф).

Таким образом, при анализе экспериментального материала вырисовываются важнейшие черты, определяющие суть происходящих в почве биологических процессов, воздействуя на которые возможно в широких пределах управлять ими, а значит, и регулировать почвенное плодородие.

ЛИТЕРАТУРА

1. Маркс К. Капитал.— М.: Политиздат, 1970, т. 3.—1083 с.
2. Авдонин Н. С. Повышение плодородия кислых почв.— М.: Колос, 1969.—304 с.
3. Авдонин Н. С., Лебедева Л. А. Влияние длительного применения удобрений и известкования на свойства кислых почв.— Агрохимия, 1970, № 7, с. 3—11.
4. Авдонин Н. С., Лебедева Л. А., Загуменников В. Б. и др. Влияние минеральных удобрений при длительном применении на биологические свойства почвы: Тез. докл. V делегат. съезда Всесоюз. о-ва почвоведов.— Мн., 1977, вып. 2, с. 255—256.
5. Агрохимические методы исследования почв.— М.: Наука, 1975.—455 с.
6. Акрамов Ю. Нитрифицирующая и аммонифицирующая способность почв вертикальных зон Таджикистана.— Тр. Тадж. НИИ почвоведения, 1970, т. 13, вып. 2, с. 36—42.
7. Александрова И. В. Органическое вещество почвы и азотное питание растений.— Почвоведение, 1977, № 5, с. 31—34.
8. Андреева Д. М., Детковская Л. П., Тарасенко С. А. и др. Нитрификационная способность почвы и урожай яровых зерновых культур.— В кн.: Приемы повышения плодородия почв в Белорусской ССР: Тез. докл. науч.-произв. конф., 1979, с. 80—83.
9. Аристархова В. И. Образование аминокислот при разложении льняной ткани в почве.— Изв. АН СССР. Сер. биол., 1966, № 1, с. 121—123.
10. Аристовская Т. В. Микробиология подзолистых почв.— М.—Л.: Наука, 1965.—186 с., ил.
11. Аристовская Т. В., Торжевский В. И. Состав микрофлоры темно-каштановых почв юга Украины.— Почвоведение, 1969, № 12, с. 82—85.
12. Аутко А. А., Карягина Л. А., Воробьева Е. Н. Интенсивность микробиологических процессов в торфяно-болотной почве под различными овощными культурами.— Почвоведение, 1978, № 3, с. 106—111.
13. Афанасьева А. А. Микробиологические процессы в почве под многолетними травами.— Агробиология, 1950, № 5, с. 60—65.
14. Ации Дж. Сельскохозяйственная экология.— М.: ИЛ, 1959.—479 с.
15. Бажина Е. В. Развитие почвенных грибов в зависимости

от известкования почв.— Тр. Кировского с.-х. ин-та, 1965, т. 18, вып. 30, с. 167—171.

16. Балев П. М., Рассадин А. Я. Особенности разложения органических удобрений при разноглубинном их внесении на легких почвах.— Изв. ТСХА, 1970, № 5, с. 53—63.

17. Балев П. М., Рассадин А. Я. О научных основах окультуривания легких почв в связи с послойным разноглубинным внесением органических удобрений.— В сб.: Окультурирование дерново-подзолистых почв. Горький, 1973, т. 52, с. 233—237.

18. Балев П. М., Тикавый В. А., Рассадин А. Я. Об интенсивности окультуривания почв легкого механического состава.— Изв. ТСХА, 1969, № 5, с. 41—48.

19. Баранов П. А. Теория минерального питания растений и проблемы плодородия почвы.— В кн.: Плодородие почвы и урожай. Вильнюс, 1974, с. 71—81.

20. Барсуков А. И. Некоторые вопросы агротехники кормовой свеклы на торфяно-болотных почвах.— В кн.: Основные результаты научно-исследовательской работы Института мелиорации и водного хозяйства за 1956 г. Мн., 1957, с. 169—182.

21. Беляев Г. Н. Микрофлора дерново-подзолистых песчаных почв при длительном удобрении.— Агробиология, 1960, № 4, с. 603—610.

22. Беляев Г. Н. Влияние длительного применения удобрений на плодородие песчаных и супесчаных почв дерново-подзолистого типа.— Тр. III конф. физиологов и биохимиков растений Сибири и Дальнего Востока. Иркутск, 1970, ч. 3, с. 138—140.

23. Березова Е. В., Сорокина Т. А. Влияние удобрений на микрофлору почвы.— Земледелие, 1963, № 9, с. 57—59.

24. Брагин А. М., Калиновский А. В. Влияние различных систем удобрений в севообороте на урожайность и плодородие дерново-подзолистой почвы северо-восточной части Белоруссии.— В кн.: Приемы повышения плодородия почв в Белорусской ССР. Мн., 1979, с. 43—47.

25. Былинкина В. Н., Загорье И. В. Влияние микробиологического режима почв на эффективность азотных и фосфорных удобрений.— В кн.: Роль микроорганизмов в питании растений и повышении эффективности удобрений. Л., 1965, с. 140—149.

26. Бугаков П. С., Лубите Я. И. Нитрификационная способность почв земледельческой части Красноярского края и влияние на нее различных факторов.— Агрохимия, 1969, № 1, с. 52—55.

27. Бурангулова М. Н. Ферментативная активность почв Башкирии.— Тез. докл. симпозиума по ферментам почвы. Мн., 1967, с. 9—11.

28. Вавуло Ф. П. К методике определения суммарной протеазной активности почвы прямым методом.— В кн.: Микробиологические и биохимические исследования почв. Киев, 1971, с. 98—103.

29. Вавуло Ф. П. Микрофлора основных типов почв БССР и их плодородие.— Мн.: Урожай, 1972.—232 с., ил.

30. Вавуло Ф. П., Воробьева Е. Н. Зависимость между микрофлорой и урожаем озимой ржи в условиях торфяно-болотных почв.— Микробиология, 1968, т. 38, вып. 6, с. 1098—1103.

31. Вавуло Ф. П., Карбанович А. И. Распространение споровых форм бактерий в почвах разных типов.— Микробиология, 1965, т. 34, № 1, с. 114—120.

32. Вавуло Ф. П., Карягина Л. А. Взаимосвязь нитрификации

с плодородием дерново-подзолистой почвы.— В кн.: Физиология и биохимия микроорганизмов. Мн., 1970, с. 205—212.

33. Вавуло Ф. П., Карягина Л. А., Стефанькина Л. М. Сравнительная оценка методов определения биологической активности дерново-подзолистой почвы.— Весті АН БССР. Сер. с.-г. навук, 1972, № 1, с. 16—20.

34. Васюк Л. Ф., Ченцов Б. В., Куликовская О. К. и др. Влияние длительного применения удобрений на микрофлору и биохимическую активность почвы.— Бюл. ВНИИ с.-х. микробиол., 1968, т. 14, № 1, с. 3—7.

35. Вернадский В. И. Биосфера.— М.: Мысль, 1967.—376 с.

36. Виземюллер В. О коррелятивной зависимости между биологической активностью и качеством гумуса в почве при длительном применении удобрений.— Науч. докл. высш. школы. Биол. науки, 1968, № 5, с. 139—143.

37. Виленский Д. Г. Почвоведение.— М.: Учпедгиз, 1954.—436 с., ил.

38. Вильямс В. Р. Сочинения. Т. 3: Земледелие.— М.: Сельхозгиз, 1949.—568 с., ил.

39. Виноградский С. Н. Микробиология почвы. Проблемы и методы.— М.: Изд-во АН СССР, 1952.—792 с., ил.

40. Витгефт А. Е. Ошибки исследования микрофлоры почвы при посеве на плотные питательные среды.— Микробиология, 1961, т. 30, № 6, с. 1052—1059.

41. Власюк П. А., Лисовал А. П. Влияние растений и удобрений на активность некоторых ферментов почвы.— Сб. докл. симпозиума по ферментам почвы. Мн., 1968, с. 10—23.

42. Власюк П. А., Лисовал А. П. Влияние туков на фосфатазную активность почвы.— Вестн. с.-х. науки, 1964, № 7, с. 52—55.

43. Возняковская Ю. М. Удобрение и микрофлора почвы.— Микробиология, 1955, т. 24, № 1, с. 99—102.

44. Вознюк С., Трускавецкий Р. С., Головина Л. П. и др. Почвенные процессы и сельскохозяйственное использование торфяников Украины.— В сб.: Мелиорация и водное хозяйство. К., 1968, № 7, с. 31—40.

45. Галстян А. Ш. Ферментативная активность почв Армении.— Ереван: Айастан, 1974.—275 с., ил.

46. Галимова Р. А. Сезонная динамика численности микроорганизмов в длительно удобряемых светло-каштанозых почвах Алма-Атинской области.— Изв. АН КазССР. Сер. биол., 1971, № 3, с. 35—42.

47. Гаркуша И. Ф. Опыт построения классификации окультуренных почв дерново-подзолистого типа.— В кн.: Изменение почв при окультуривании, их классификация и диагностика. М., 1965, с. 205—212.

48. Геллер И. А., Добротворская К. М. Микробиологические факторы почвенного плодородия и способы их регулирования.— Тез. докл. III Всес. делег. съезда почвоведов. Тарту, 1966, с. 110—111.

49. Геллер И. А., Юспе Ф. Б. О влиянии минеральных удобрений на микробиологические процессы почвы.— Микробиология, 1954, т. 23, № 4, с. 451—453.

50. Головки Д. Г. Приемы обработки старопашотных торфяных почв низинных болот Мещерской низменности.— В кн.: Осушение и освоение земель. М., 1972, с. 250—268.

51. Голоха В. В. Пероксидазна та поліфенолоксидазна активність ґрунту при систематичному внесенні добрив у сівозміні.—В кн.: Агрохімія ґрунтазнавства: Респ. міжвід. темат. наук зб. Київ, 1977, т. 33, с. 60—63.
52. Горшенин К. Повышать знания о почве.—Вестн. с.-х. науки, 1970, № 11, с. 36—39.
53. Григорьев Г. И., Фридланд В. М. О разработке классификации почв по окультуренности.—В кн.: Изменение почв при окультуривании, их классификация и диагностика. М., 1965, с. 171—192.
54. Громыко Е. П. Алюминий как фактор, определяющий токсичность подзолистой почвы к почвенным микроорганизмам.—В кн.: Почвенная и сельскохозяйственная микробиология. Тр. совещ. АН УзССР. Ташкент, 1963, с. 61—67.
55. Гулякин И. В., Чуприкова О. В. Влияние удобрений на содержание и состав гумуса в почве при монокультуре кукурузы. Докл. ТСХА, 1971, вып. 162, с. 155—162.
56. Гуринович Е. С., Гришук Р. И., Пидопличко А. П. и др. Биологическая характеристика некоторых малозольных сапропелевых отложений БССР.—В кн.: Химия и генезис торфа и сапропелей. Мн., 1962, с. 198—208.
57. Дараселия Н. А., Калатозова Г. Б. Влияние влажности красцовой почвы на ее биологическую активность.—Почвоведение, 1968, № 11, с. 118—122.
58. Доброгаев И. М. Микробиологическая жизнь лесной почвы в связи с ее заболачиванием.—Почвоведение, 1939, № 5, с. 78—88.
59. Докучаев В. В. К учению о зонах природы.—Избр. соч. Л.: Изд-во АН СССР, 1951.—596 с., ил.
60. Докучаев В. В. Русский чернозем. Отчет вольному экономическому обществу.—М.: Сельхозгиз, 1952.—634 с.
61. Долгов С. И., Тикавый В. А., Рассадин А. Я. Приемы, улучшающие водный режим песчаных почв.—В сб.: Почвенные исследования и применение удобрений. Мн., 1974, № 5, с. 3—7.
62. Дмитриева О. М. Влияние глубины обработки торфяно-болотных почв на окультуривание низинных болот при их комплексном использовании.—В кн.: Теоретические вопросы обработки почв. Л., 1968, с. 341—345.
63. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта.—М.: Колос, 1960.—335 с.
64. Доспехов Б. А. Биологическая активность длительно удобрявшихся почв.—Изв. ТСХА, 1967, № 2, с. 42—46.
65. Дробник Я. Изучение биологических превращений органических веществ в почве.—Почвоведение, 1957, № 12, с. 62—68.
66. Дубовенко Е. К., Уласевич Э. И. Изучение активности некоторых ферментов в прикорневой почве сельскохозяйственных растений.—Докл. симпозиума по ферментам почвы. Мн., 1968, с. 320—326.
67. Евдокимова Н. В. Влияние длительного применения удобрений на биологическую активность почвы.—Тр. ВНИИ удобрений и агропочвоведения, 1974, № 2, с. 100—110.
68. Егназарян Л. Т. Активность инвертазы как показатель плодородия почвы.—Биол. журн. Армении, 1968, т. 21, № 9, с. 72—78.
69. Егоров В. В. Органическое вещество почвы и ее плодородие.—Вестн. с.-х. науки, 1978, № 5, с. 12—15.
70. Егоров В. В. Отражение и развитие некоторых идей В. В.

Докучаева в современном почвоведении.— Вестн. МГУ, 1979, № 2, с. 3—10.

71. Егоров В. Е., Доспехов Б. А., Лыков А. М. и др. Расширенное воспроизводство плодородия в интенсивном земледелии. Влияние длительного применения удобрений, известкования и севооборота на урожай и плодородие дерново-подзолистой почвы.— Вестн. с.-х. науки, 1979, № 10, с. 47—48.

72. Емцев В. Т. Микробиология на службе сельскохозяйственного производства.— Изв. ТСХА, 1975, вып. 6, с. 3—5.

73. Емцев В. Т., Покровский Н. П., Хрушкова Н. А. Несимбиотическая фиксация молекулярного азота атмосферы в дерново-подзолистой почве и факторы, определяющие ее интенсивность.— Изв. ТСХА, 1978, № 11, с. 118—121.

74. Енкина О. В. Биологическая деятельность почвы в севообороте с масличными культурами в связи с применением минеральных удобрений.— В кн.: Агротехника масличных культур. Краснодар, 1968, с. 339—344.

75. Ермаков А. И., Арасимович В. В., Смирнова-Иконникова М. И. Медоты биохимического исследования растений.— М.—Л.: Сельхозгиз, 1972.—456 с., ил.

76. Жабюк Ф. В. Интенсивность дыхания дерново-подзолистой почвы как показатель ее биологической активности.— В кн.: Микробиологические процессы в почвах и урожайность сельскохозяйственных культур: Матер. к республ. конф. Вильнюс, 1978, с. 112—113.

77. Жукова А. И., Козлова В. Х. Жизнедеятельность микроорганизмов в пустынных почвах Туркмении.— Микробиология, 1966, т. 35, № 3, с. 503—508.

78. Запрометова К. М. О сходстве грибных меланинов с гумусовыми веществами почвы.— Тез. докл. V делегат. съезда Всесоюз. об-ва почвоведов. Мн., 1977, с. 185—186.

79. Захаров И. С. Развитие микрофлоры и образование и накопление подвижной гуминовой кислоты в почве при разложении растительных остатков и связь этих процессов с повышением урожая кукурузы.— В кн.: Роль микроорганизмов в питании растений и повышении эффективности удобрений. Л., 1965, с. 37—42.

80. Захарова В. И., Данцевич Ю. Д. Вплив добрив на мікрофлору чорнозему звичайного в Донбасі.— Вісник с.-г. науки, 1965, № 5, с. 46—50.

81. Звягинцев Д. Г. Биологическая активность почв и шкалы для оценки некоторых ее показателей.— Почвоведение, 1978, № 6, с. 48—53.

82. Звягинцев Д. Г. Химизация земледелия и изменения в функционировании комплекса почвенных микроорганизмов.— В кн.: Микроорганизмы и продуктивность сельского хозяйства: Тез. докл. VI съезда Всесоюз. микробиол. о-ва. Рига, 1980, с. 6.

83. Захарченко А. Ф. Применение метода вариационной статистики в микробиологических исследованиях.— Почвоведение, 1958, № 3, с. 89—92.

84. Зенова Г. М. Меланиновые пигменты почвенных актиномицетов.— Тез. докл. V делегат. съезда Всесоюз. о-ва почвоведов. Мн., 1977, вып. 2, с. 187—188.

85. Зименко Т. Г. Микрофлора торфяных почв.— В кн.: Микрофлора почв северной и средней части СССР. М., 1966, с. 136—165.

86. Зименко Т. Г. Микробиологические процессы в мелиори-

рованных торфяниках Белоруссии и их направленное регулирование.— Мн.: Наука и техника, 1977.— 205 с., ил.

87. Зражевский А. И. О значении биомассы беспозвоночных и микроорганизмов в плодородии почв.— В кн.: Проблемы почвенной зоологии. М., 1966, с. 61—67.

88. Зубенко В. Ф., Геллер И. А., Николаенко Ж. И. и др. Сравнительный характер действия органических и минеральных удобрений на биохимическую активность почв.— В кн.: Удобрение сахарной свеклы. Киев, 1975, с. 10—16.

89. Ивашкевич Т. М. Количественное содержание свободных аминокислот в дерново-подзолистых почвах Белоруссии.— Тез. докл. симпозиума по ферментам почвы. Мн., 1967, с. 84—85.

90. Иенни Г. Факторы почвообразования.— М.: Изд-во иностр. лит., 1948.—347 с.

91. Ильина Т. К., Нергу-Водэ В. В., Василенко Е. С. и др. Влияние удобрений на активность микробиологических и ферментативных процессов превращения азота в дерново-подзолистой почве.— Тез. докл. V делегат. съезда Всесоюз. о-ва почвоведов. Мн., 1977, вып. 2, с. 238—239.

92. Имшенецкий А. А. Итоги дискуссии о задачах почвенной микробиологии.— Микробиология, 1956, т. 25, № 3, с. 331—333.

93. Калининская Т. А. Методы выделения и культивирования азотфиксирующих микробных ассоциаций.— Микробиология, 1967, т. 36, № 2, с. 345—349.

94. Калининская Т. А. Азотфиксирующие микробактерии и их роль в процессах биологической фиксации азота в почве.— В кн.: Микроорганизмы в сельском хозяйстве. М., 1970, с. 203—211.

95. Калиновский А. В., Красикова А. В., Богданович Е. Ф. Динамика гумуса дерново-подзолистых суглинистых почв северо-востока Белоруссии.— Сб. науч. тр. Белорусской с.-х. акад., 1976, вып. 19, с. 44—52.

96. Канивец И. И., Кривич Н. Я., Клуген З. А. Гриб *Trichoderma lignum* и его роль в улучшении плодородия почв и повышении урожайности и качества сельскохозяйственных культур.— Вестн. с.-х. науки, 1971, с. 40—46.

97. Карпова Э. С. Влияние длительного применения удобрений на развитие почвенной микрофлоры.— Микробиология, 1966, т. 35, № 5, с. 878—881.

98. Карягина Л. А. Дисперсионный анализ в микробиологических исследованиях.— Вестн. АН БССР. Сер. с.-г. наук, 1969, № 1, с. 79—83.

99. Карягина Л. А. Влияние известкования на микробиологические процессы в дерново-подзолистой почве.— В сб.: Почвоведение и агрохимия. Мн., 1970, вып. 7, с. 186—194.

100. Кауричев И. С., Гречин И. П. Почвоведение.— М.: Колос, 1969.—543 с., ил.

101. Кацнельсон Р. С., Ершов В. В. Микробиологическая характеристика почв Карельской ССР.— Микробиология, 1957, т. 26, № 4, с. 468—476.

102. Кислых Е. Е., Логвинова М. М., Переверзев В. Н. Влияние окультуривания подзолистых почв Кольского полуострова на их азотный режим и биологическую активность.— Агрохимия, 1975, № 8, с. 10—13.

103. Клевенская И. Л. К вопросу о применении некоторых микробиологических тестов для оценки свойств почв.— В кн.: Пробле-

мы и методы биологической диагностики и индикации почв. М., 1976, с. 250—260.

104. Клевенская И. Л. Фиксация азота атмосферы свободно-живущими микроорганизмами.— Изв. Сиб. отд-ния АН СССР. Сер. биол. наук, 1978, № 5, вып. 1, с. 16—23.

105. Клевенская И. Л., Быкадорова Л. В. Влияние температуры на рост и азотфиксирующую способность некоторых олигонитрофильных микроорганизмов.— Изв. Сиб. отд-ния АН СССР. Сер. биол. наук, 1970, № 15, вып. 3, с. 19—22.

106. Ковда В. А. Основы учения о почвах. Общая теория почвообразовательного процесса. Книга 1. М.: Наука, 1973.—468 с., ил.

107. Козлов К. А. Ферментативная активность почв как показатель их биологической активности.— Докл. сиб. почвоведов к VIII Междунар. почвенному конгрессу. Новосибирск, 1964, с. 93—106.

108. Козлов К. А., Нючева Е. М. К вопросу о возможных источниках обогащения почвы ферментами.— Изв. АН СССР. Сер. биол., 1965, № 12, с. 131—134.

109. Колешко О. И. Численность аммонифицирующих микроорганизмов как показатель биологической активности почвы.— В кн.: Биологическая диагностика почв: Тез. докл. Всесоюз. совещ. М., 1976, с. 120—121.

110. Колянда Н. К. Влияние длительного применения обработки, удобрений и севооборота на агрохимические свойства дерново-подзолистой почвы.— Изв. ТСХА, 1968, № 5, с. 46—50.

111. Кононова М. М. Органическое вещество почвы, его природа, свойства и методы изучения.— М.: Изд-во АН СССР, 1963.—314 с., ил.

112. Коршун Н. Н., Карягина Л. А. Влияние удобрений на накопление органического вещества в почве и ее биологическую активность.— В сб.: Почвенные исследования и применение удобрений. Мн., 1974, вып. 5, с. 13—16.

113. Костычев П. А. Почвы черноземной области России. Их происхождение, состав и свойства.— М.: Сельхозгиз, 1949.—239 с.

114. Кочергин А. Е. Определение потребности зерновых культур в азотных удобрениях на черноземах Западной Сибири.— Докл. ВАСХНИЛ, 1965, № 2, с. 5—8.

115. Кошельков П. Н., Оксентьян У. Г., Осипова З. М. и др. Значение навоза и минеральных удобрений для повышения плодородия дерново-подзолистых почв.— Почвоведение, 1958, № 6, с. 91—95.

116. Красильников Н. А. Определитель бактерий и актиномицетов.— М.—Л.: Изд-во Академкнига, 1949.—830 с.

117. Красильников Н. А. Микроорганизмы почвы и высшие растения.— М.: Изд-во АН СССР, 1958.—463 с., ил.

118. Кудеяров В. Н., Рынкс И. Н. Диагностика азотного питания яровой пшеницы в условиях Иркутской области.— Агрохимия, 1967, № 4, с. 13—21.

119. Кудрячев А. И. Влияние торфа на ферментативную активность легких почв.— Вестн. АН БССР. Сер. биол. наук, 1968, № 1, с. 49—52.

120. Кузина В. П. Способы использования органических удобрений на рыхлых глубоких песчаных почвах.— Реф. журн. почвовед. и агрохим., 1968, № 5, с. 38.

121. Кузнецов С. И. Микрофлора озер и ее геохимическая деятельность.— Л.: Наука, 1970.—440 с., ил.

122. Кук Дж. Регулирование плодородия почвы.— М.: Колос, 1970.—520 с.

123. Кулаковская Т. Н. Почвенно-агрохимические основы получения высоких урожаев.— Мн.: Ураджай, 1978.—270 с., ил.

124. Кулаковская Т. Н., Скоропанов С. Г. Современные проблемы плодородия почв Нечерноземья.— Тез. докл. V делегат. съезда Всесоюз. о-ва почвоведов. Мн., 1977, вып. 8, с. 4—26.

125. Купревич В. Ф. Биологическая активность почвы и методы ее определения.— Докл. АН СССР, 1951, т. 79, № 5, с. 863—866.

126. Купревич В. Ф. Вопросы почвенной энзимологии.— Вестн. АН СССР, 1958, № 4, с. 52—54.

127. Купревич В. Ф., Щербакова Т. А. К методике определения активности инвертазы и каталазы.— Изв. АН БССР. Сер. биол. наук, 1956, № 2, с. 115—116.

128. Купревич В. Ф., Щербакова Т. А. Почвенная энзимология.— Мн.: Наука и техника, 1966.—273 с.

129. Курбатов И. М. Современные представления о природе гумуса и его роли в жизни почв и растений.— Науч. тр. Белорусской с.-х. акад. Т. 5—7: Вопросы биол. активности почвы, 1968, с. 17—29.

130. Курбатов И. М., Двойнишникова Е. И. Биологическая активность дерново-подзолистых почв при различных системах удобрения и динамика в них гумуса.— В кн.: Микроорганизмы в сельском хозяйстве: Тез. докл. II межвуз. науч. конф. М., 1968, с. 59—60.

131. Лазарев Н. М. Экологическая микробиология и изучение почвенного плодородия.— Тр. ВНИИ с.-х. микробиол. за 1941—1954 гг. Л., 1949, с. 5—11.

132. Ламзин В. П. Приемы интенсивного окультуривания дерново-подзолистых песчаных почв.— Тр. Горьковского с.-х. ин-та. Т. 52: Окультуривание дерново-подзолистых почв, 1973, с. 94—97.

133. Ластинг В. Р. Применение высоких доз удобрений и экология почвенных микроорганизмов.— Тез. докл. V съезда Всесоюз. микробиол. о-ва. Секция экологии микроорганизмов. Ереван, 1975, с. 93—95.

134. Латыпова Р. М. Сравнительная активность каталазы и сахаразы в торфе и некоторых минеральных почвах.— Докл. АН БССР, 1960, т. 4, № 8, с. 357—359.

135. Латыпова Р. М., Новицкий С. А., Маслова Л. Г. и др. Влияние гербицидов на биологическую активность почвы.— Науч. тр. Белорусской с.-х. академии. Т. 5—7: Вопросы биологической активности почвы, 1968, с. 61—65.

136. Лебедева Л. А., Гомонова Н. Ф. Влияние длительного применения минеральных удобрений и извести на нитрификационную способность дерново-подзолистой почвы.— Агрохимия, 1973, № 5, с. 54—61.

137. Лебедева Л. А., Загуменников В. Б. Влияние минеральных удобрений при их длительном и однократном применении на нитрифицирующую способность дерново-подзолистой почвы.— Вест. МГУ. Сер. почвовед., 1977, № 1, с. 92—96.

138. Ливанова Т. К. Влияние систематического применения минеральных удобрений на микрофлору и ферментативную активность подзолистых почв.— В кн.: Микробиологические процессы в почвах и урожайность с.-х. культур: Матер. к республ. конф. (6—7 июня 1978 г.). Вильнюс, 1978, с. 198—199.

139. Лисовал А. П. Активность пероксидазы и полифенолокси-

дазы при различных условиях выращивания растений.— Сб. докл. симп. по ферментам почвы. Мн., 1968, с. 396—403.

140. Лисовал А. П. Активность оксидаз и накопление гуминовых кислот в почве.— Тр. Укр. с.-г. акад. Вип. 24: Сб. наук прац. з питань підвищ. родючості ґрунтів. Київ, 1970, с. 91—94.

141. Лозийчук А. П. Влияние длительного систематического применения удобрений в овощном севообороте на свойства дерново-подзолистой почвы и ее плодородие: Автореф. дис. ... канд. с.-х. наук.— Жодино, 1971.—19 с.

142. Лопотко М. З. Сапропели БССР, их добыча и использование.— Мн.: Наука и техника, 1974.—207 с., ил.

143. Лупиневич И. С. Легкие почвы нечерноземной зоны европейской части СССР и задачи науки по их освоению.— В кн.: Повышение плодородия легких почв: Матер. научно-методич. совещ. (25—31 июля 1959 г.). М., 1960, с. 11—24.

144. Лупиневич И. С., Голуб Т. Ф. Торфяно-болотные почвы БССР и их плодородие.— Мн.: Изд-во АН БССР, 1958.—315 с., ил.

145. Лыков А. М. Роль длительного применения удобрений, севооборота и монокультур в изменении органического вещества подзолистого типа.— Изв. ТСХА, 1963, № 6 (55), с. 57—63.

146. Лыков А. М. Влияние органического вещества дерново-подзолистой почвы на урожай полевых культур.— В кн.: Проблемы земледелия. М., 1978, с. 195—197.

147. Лыков А. М. К методике расчетного определения гумусового баланса почвы в интенсивном земледелии.— Изв. ТСХА, 1979, № 6, с. 14—19.

148. Лыков А. М., Ишевская И. М., Круглов В. В. Органическое вещество как фактор использования растениями высоких доз минеральных туков.— Изв. ТСХА, 1975, № 5, с. 60—66.

149. Львов Н. П., Сергеев Н. С., Кретович В. Л. Регуляция активности нитрогеназы у микроорганизмов.— Изв. АН СССР. Сер. биол., 1976, № 4, с. 531—534.

150. Мазур Т., Рачинский В. В. Изучение превращения аминокислот в почве.— Почвоведение, 1964, № 3, с. 58—61.

151. Макаров В. Т., Бондарева В. Б., Витте Е. В. Влияние различных способов обработки на свойства дерново-подзолистой почвы и урожай озимой пшеницы.— В кн.: Повышение плодородия почвы нечерноземной полосы. М., 1967, вып. 3, с. 20—26.

152. Макаров Б. Н., Макаров Н. Б. Газообразные потери азота почвы и удобрений.— Агрохимия, 1976, № 12, с. 78—82.

153. Мальчевская Н. И. К микробиологической характеристике некоторых типов лесных почв.— Почвоведение, 1933, № 3, с. 225—239.

154. Мамченко О. А. Свободные аминокислоты в некоторых почвах Украины.— Почвоведение, 1970, № 2, с. 68—71.

155. Мееровский А. С., Шиман Л. А., Кушнир А. М. Влияние нитрапирина на содержание минерального азота в торфяно-болотных почвах.— Докл. АН БССР. Почвоведение, 1980, т. 24, № 3, с. 277—279.

156. Миненко А. К. Влияние извести и систематического применения органических и минеральных удобрений на биологическую активность дерново-подзолистой почвы.— Агрохимия, 1968, № 8, с. 118—122.

157. Миненко А. К. Количественные изменения микроорганизмов при окультуривании супесчаной почвы.— В кн.: Динамика

микробиологических процессов в почве: Матер. симпоз. (4—5 сентября 1974 г.). Таллин, 1974, ч. 1, с. 175—176.

158. Миненко А. К. Изменение микробиологической активности в дерново-подзолистой почве после внесения минеральных удобрений.— В кн.: Микроорганизмы и продуктивность сельского хозяйства: Тез. докл. VI съезда Всесоюз. микробиол. о-ва. Рига, 1980, с. 114.

159. Мириманян Х. П. Почвоведение.— М.: Колос.— 344 с., ил.

160. Мирчинк Т. Г. О грибах, обуславливающих токсичность дерново-подзолистой почвы различной степени окультуренности.— Микробиология, 1957, т. 26, № 1, с. 78—85.

161. Мирчинк Т. Г. Распространение грибов-токсинообразователей в некоторых типах почв и образование токсинов в естественных условиях.— В кн.: Микроорганизмы в сельском хозяйстве. М., 1963, с. 336—352.

162. Мирчинк Т. Г., Асеева И. В. Грибы как фактор токсичности дерново-подзолистой почвы различной степени окультуренности.— Почвоведение, 1959, № 2, с. 206—211.

163. Михновский В. К., Высоцкая П. И., Котова Л. В. Влияние торфа и зеленого удобрения на азотный режим дерново-подзолистых почв.— Агрохимия, 1967, № 1, с. 85—93.

164. Мишустин Е. Н. О роли спороносных бактерий в почвенных процессах.— Микробиология, 1948, т. 17, вып. 3, с. 201—207.

165. Мишустин Е. Н. Микроорганизмы и плодородие почвы.— М.: Изд-во АН СССР, 1956.— 24 с., ил.

166. Мишустин Е. Н. Географический фактор и распространение почвенных микроорганизмов.— Изв. АН СССР. Сер. биол., 1958, № 6, с. 661—676.

167. Мишустин Е. Н. Биологические пути повышения эффективности плодородия почв.— Тр. Ин-та микробиол. АН СССР: Вып. 11: Микроорганизмы и эффективное плодородие почв. М., 1961, с. 3—16.

168. Мишустин Е. Н. Микроорганизмы и продуктивность земледелия.— М.: Наука, 1972.— 342 с., ил.

169. Мишустин Е. Н. Биологический азот в сельском хозяйстве СССР.— В кн.: Микроорганизмы и продуктивность сельского хозяйства: Тез. докл. VI съезда Всесоюз. микробиол. о-ва. Рига, 1980, с. 7.

170. Мишустин Е. Н., Емцев В. Т. Почвенные азотфиксирующие бактерии рода *Clostridium*.— М.: Наука, 1974.— 248 с., ил.

171. Мишустин Е. Н., Мирзоева В. А., Еникеева М. Г. Микрофлора подзолистых и дерново-подзолистых почв.— В кн.: Микрофлора почв севера СССР. М., 1966, с. 54—60.

172. Мишустин Е. Н., Петрова А. Н. Определение биологической активности почвы.— Микробиология, 1963, т. 32, вып. 3, с. 479—483.

173. Мишустин Е. Н., Петрова А. Н. Образование свободных аминокислот.— Микробиология, 1966, т. 35, вып. 3, с. 491—495.

174. Мишустин Е. Н., Прокошев В. Н. Изменение состава почвенной микрофлоры в результате длительного применения удобрений.— Микробиология, 1979, т. 18, вып. 1, с. 30—41.

175. Мишустин Е. Н., Пушкинская О. И. Эколого-географические закономерности в распространении почвенных микроскопических грибов. Факторы, определяющие размножение микроскопических грибов в почве.— Изв. АН СССР. Сер. биол., 1960, № 5, с. 21—28.

176. Мишустин Е. Н., Семенович М. И. Почвенная кислотность как фактор, определяющий появление в почве неактивного азотобактера.— Микробиология, 1939, т. 8, вып. 1, с. 19—32.
177. Мишустин Е. Н., Теппер Е. З. Влияние длительного севооборота, монокультур и удобрений на состав почвенной микрофлоры.— Изв. ТСХА, 1963, № 6 (35), с. 85—92.
178. Мишустин Е. Н., Черепков Н. И., Калининская Т. А. О несимбиотической азотфиксации в пахотных почвах.— В кн.: Проблемы почвоведения. М., 1978, с. 92—96.
179. Мишустин Е. Н., Шильникова В. К. Биологическая фиксация атмосферного азота.— М.: Наука, 1968.— 529 с., ил.
180. Мишустина И. Е. Олигонитрофильные микроорганизмы почвы.— Тр. Ин-та микробиологии АН СССР, 1955, вып. 4, с. 110—129.
181. Муромцев Г. С. Интенсификация земледелия и задачи микробиологии.— В кн.: Проблемы земледелия. М., 1978, с. 140—143.
182. Мыльников А. И. Нитрификационная способность серых лесных почв Кемеровской области.— Агрохимия, 1971, № 12, с. 15—19.
183. Мюллер Г. О некоторых результатах исследований почвенно-биологической динамики песчаных почв.— В кн.: Повышение плодородия легких почв. М., 1960, с. 363—370.
184. Наплекова Н. Н. Влияние азота и фосфора на интенсивность разложения целлюлозы и биологическую активность почв Западной Сибири.— В кн.: Вопросы численности, биомассы и продуктивности почвенных микроорганизмов. Л., 1972, с. 207—211.
185. Нарциссов В. П. Показатели плодородия серых лесных почв и выщелоченных черноземов Горьковской области и Чувашской АССР.— Горький: Изд-во М-ва сельск. хоз-ва РСФСР, 1959.— 97 с., ил.
186. Нарциссов В., Рыбакова Н., Шапошникова Ю. и др. Повышение плодородия песчаных почв.— Земледелие, 1972, № 11, с. 17—19.
187. Негру-Водэ В. В., Ильина Т. К., Василенко Е. С. и др. Влияние удобрений на биологическую активность дерново-подзолистой почвы в зависимости от сезонных условий.— В кн.: Динамика микробиологических процессов в почвах: Матер. симп. (4—5 сентября 1974 г.). Таллин, 1974, ч. 2, с. 98—101.
188. Немерюк Г. Я., Майрамукова Р. Б. К вопросу о потерях аммиачного азота почвами Северной Осетии.— Тр. Горьковского с.-х. ин-та, 1971, 31, с. 9—17.
189. Непомилуев В. Ф., Козырев М. А. Роль микроорганизмов в процессе оглеения почв.— В кн.: Микроорганизмы в сельском хозяйстве. М., 1970, с. 273—276.
190. Низова А. А. Об активности сахаразы в почве.— Микробиология, 1961, т. 30, вып. 1, с. 105—109.
191. Низова А. А. Об активности каталазы и сахаразы в некоторых типах почв.— Зап. ЛСХИ, 1962, т. 84, с. 17—20.
192. Низова А. А. Активность сахаразы в дерново-подзолистых почвах разных угодий.— Тез. докл. симп. по ферментам почвы. Мн., 1967, с. 190—197.
193. Низова А. А. Изменение биологической активности песчаных почв при глиновании.— В кн.: Дерново-подзолистые почвы. Л., 1967, с. 132—138.
194. Никитин Б. А. Плодородие, виды его и количественное

определение.— Тр. Горьковского с.-х. ин-та, 1976, т. 90, с. 64—76.
195. Никифорова Л. И. Агрохимические методы исследований обеспеченности почв азотом и их применяемость в различных почвенно-климатических условиях.— Агрохимия, 1974, № 2, с. 136—151.

196. Нючева Е. М. Ферментативная активность окультуренных почв юга Иркутской области.— Тез. докл. симп. по ферментам почвы. Мн., 1967, с. 40—42.

197. Одум Ю. Основы экологии.— М.: Мир, 1975.— 740 с., ил.

198. Олейников Р. Р. Использование интенсивности азотфиксации в качестве показателя биологической активности почв.— Тез. докл. V делегат. съезда Всесоюз. о-ва почвоведов. Мн., 1977, вып. 2, с. 245—246.

199. Оношко Б. Д. Культура болот. Научные основы и агротехника.— М.—Л., 1934.— 574 с., ил.

200. Орлова Л. М. К методике определения нитрификационной способности почв.— Агрохимия, 1969, № 5, с. 116—120.

201. Островой И. П., Павловец Н. А. Влияние приемов окультурирования на водно-физические свойства легких почв.— В сб.: Почвоведение и агрохимия. Мн., 1971, вып. 8, с. 85—91.

202. Островой И. П., Павловец Н. А. Влияние приемов окультурирования на агрохимические свойства песчаной почвы.— В сб.: Почвоведение и агрохимия. Мн., 1972, вып. 9, с. 117—124.

203. Островой И. П., Павловец Н. А., Берестова Л. И. Последствие приемов окультурирования песчаных почв на урожай и водно-физические свойства во второй ротации севооборота.— В сб.: Почвоведение и агрохимия. Мн., 1973, вып. 10, с. 113—119.

204. Паников В. Д. Почвы, удобрения и урожай.— М.: Колос, 1964.— 336 с., ил.

205. Паников В. Д., Минеев В. Г. О развитии агрохимической науки в свете решений XXV съезда КПСС.— Агрохимия, 1977, № 4, с. 3—7.

206. Панова З. Н. Звенья севооборотов и биологическая активность почвы.— Тр. Всес. с.-х. ин-та заоч. образования, 1977, вып. 131, с. 99—104.

207. Петербургский А. К вопросу о нитрификации в кислых почвах.— Почвоведение, 1946, № 11, с. 31—35.

208. Петерсон Н. В. О сущности явления, описываемого под названием «дегидрогеназная активность почвы».— Сб. докл. симпозиума по ферментам почвы. Мн., 1968, с. 120—127.

209. Петренко М. Б. Роль физиологически активных веществ микробного происхождения в развитии сельскохозяйственных растений.— В кн.: Биохимия и плодородие почв: Тез. науч. докл. на I Межвуз. конф. М., с. 71—73.

210. Переверзев В. Н., Алексеева Н. С. Процессы аммонификации и нитрификации в торфяно-болотных почвах Кольского полуострова.— Почвоведение, 1969, № 12, с. 73—81.

211. Плюснин И. И. Мелиоративное почвоведение.— М.: Сельхозгиз, 1960.— 421 с., ил.

212. Пономарева В. В. Некоторые свойства гуминовых кислот, их значение для земледелия и мелиорации почв.— Агрохимия, 1979, № 1, с. 77—80.

213. Пономарева Н. С. Микрофлора целинных и старопашотных солонцов племсовхоза «Омский».— Тр. Омск. с.-х. ин-та, 1959, вып. 34, с. 91—95.

214. Попов Ф. А., Ромейко И. М. Влияние разных способов окультуривания дерново-подзолистых почв на микрофлору почвы и ризосферы кукурузы.— Микробиол. журн., 1966, т. 28, № 6, с. 50—55.
215. Почвоведение и агрохимия на службе сельского хозяйства.— Мн.: Ураджай, 1977.— 141 с.
216. Пошон Ж., Баржак Г. Почвенная микробиология.— М.: ИЛ, 1960.— 560 с., ил.
217. Прокошев В. Н. Повышение плодородия песчаных и супесчаных почв дерново-подзолистого типа.— М.: Изд-во АН СССР, 1952.— 442 с., ил.
218. Прошляков А. А., Кондрыко В. Д., Пшонка Л. И. и др. Влияние торфа на агрохимические свойства дерново-подзолистой супесчаной почвы и продуктивность севооборота.— Агрохимия, 1975, № 12, с. 59—64.
219. Прянишников Д. Н. Азот в жизни растений и земледелии СССР.— М.—Л.: Изд-во АН СССР, 1945.— 199 с.
220. Разумовская З. Г., Мустафова Н. Н. О биологической активности почв ельника-кисличника и ельника-черничника. Вестн. ЛГУ. Сер. биол., 1959, вып. 1, с. 48—50.
221. Рао В. Р. Несимбиотическая фиксация азота в почвах рисовых полей: Автореф. дис. ... канд. биол. наук.— М., 1973.— 19 с.
222. Рапопорт С. Медицинская биохимия.— М.: Медицина, 1966.— 892 с., ил.
223. Рассел Э. Д. Почвенные условия и рост растений.— М.: ИЛ, 1955.— 623 с.
224. Раскова Н. В., Звягинцев Д. Г., Краснова М. Г. Активность гидролаз и оксидоредуктаз в дерново-подзолистой почве с разным уровнем окультуренности.— Почвоведение, 1977, № 12, с. 124—129.
225. Ратнер Е. И., Колосов Н. Н., Ухина С. Ф. и др. Об усвоении растениями аминокислот в качестве источника азота.— Изв. АН СССР. Сер. биол., 1956, № 6, с. 64—82.
226. Рауэ К. Повышение урожайности на легких почвах посредством различных агрономических мероприятий.— В кн.: Повышение плодородия легких почв: Матер. научно-методич. совещ. (25—31 июля 1959 г.). М., 1959, с. 108—118.
227. Рахно П. Х. Сезонная количественная динамика почвенных бактерий и факторы, обуславливающие ее.— Таллин: Изд-во АН ЭССР, 1964.— 235 с., ил.
228. Рахно П. Х. Корреляция между численностью микроорганизмов и свойствами почвы.— В кн.: Вопросы численности, биомассы и продуктивности почвенных микроорганизмов. Л., 1972, с. 79—87.
229. Риньке Р. С. Биологическая активность почв, урожай и минеральное питание.— Тез. докл. симп. по ферментам почвы. Мн., 1967, с. 94—95.
230. Роговой П. П., Туренков Н. И., Юшкевич И. А. Окультурирование почвы, их свойства и урожайность сельскохозяйственных культур.— В кн.: Изменение почв при окультуривании, их классификация и диагностика. М., 1965, с. 270—279.
231. Роговой П. П., Туренков Н. И., Юшкевич И. А. Процессы почвообразования в дерново-подзолистых почвах, развивающихся на лессовидных суглинках.— Тез. докл. III Всесоюз. делегат. съезда почвоведов. Тарту, 1966, с. 245—247.

232. Роговой П. П., Туренков Н. И., Юшкевич И. А. Свойства почв и их плодородие.— В кн.: Д. Н. Прянишников и вопросы химизации земледелия: Докл. на пленуме секции агрохимии и удобрений ВАСХНИЛ, посвящ. 100-летию со дня рожд. Д. Н. Прянишникова. М., 1967, с. 441—450.

233. Роговая Б. П. Влияние степени окультуренности почвы на ее микрофлору.— В кн.: Основы плодородия почв. Мн., 1964, с. 155—163.

234. Роговая В. П., Станкевич Н. А. Влияние длительного окультуривания почвы на ее микрофлору.— В кн.: Почвенные исследования и применение удобрений. Мн., 1971, вып. 2, с. 173—182.

235. Роде А. А. Почвоведение.— М.—Л.: Гослесбумиздат, 1955.— 524 с.

236. Романенкова М. М., Виновец Г. В., Сиденко В. Т. и др. Применение сапропелей на удобрение в Белоруссии.— Земледелие, 1978, № 8, с. 12—15.

237. Ромейко И. Н., Битюкова Л. Б., Зиль Л. М. и др. Взаимосвязь показателей биологической активности дерново-подзолистой почвы с урожаями сельскохозяйственных культур.— В кн.: Микробиологические процессы в почвах и урожайность сельскохозяйственных культур: Матер. к республ. конф. (6—7 июня 1978 г.). Вильнюс, 1978, с. 289—290.

238. Ромейко И. Н., Дубовенко Е. К. Биологическая активность почвы как показатель ее плодородия.— В кн.: Пути повышения плодородия почв. Киев, 1969, с. 67—72.

239. Ромейко И. Н., Малинская С. М. Ферментативная активность почвы при разных способах ее обработки.— В кн.: Почвенная и сельскохозяйственная микробиология. Ташкент, 1963, с. 110—114.

240. Роуз С. Химия жизни.— М.: Мир, 1969.— 303 с., ил.

241. Ройзин М. Б. Влияние способов обработки и внесения удобрений на микрофлору песчаного иллювиально-железистого подзола Мурманской области.— В кн.: Биологические основы использования природы Севера. Сыктывкар, 1970, с. 152—157.

242. Рубанов В. С., Коршун Н. Н. Действие сапропелей на урожай сельскохозяйственных культур.— Сб. науч. тр. БелНИИ земледелия. Т. III: Земледелие и растениеводство в БССР. 1967, с. 181—194.

243. Рыс О. Об эколого-географическом распространении некоторых свободноживущих азотфиксирующих бактерий в почвах Эстонской ССР: Автореф. дис. ... канд. биол. наук.— Таллин, 1966.— 19 с.

244. Рюбензам Э., Рауэ К. Земледелие.— М.: Колос, 1969.— 520 с., ил.

245. Садименкова Л. В. Влияние удобрений на микробиологические процессы в почве при орошении (кукурузы) в условиях Волго-Ахтубинской поймы: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Л., 1974.— 26 с.

246. Савостьянов В. К., Савостьянова З. А. Об эффективном способе использования перегноя на супесчаных почвах Северной Хакасии.— Агрохимия, 1974, № 4, с. 94—98.

247. Самнер Дж. Б., Сомерс Г. Ф. Химия ферментов и методы их исследования.— М.: ИЛ, 1948.— 584 с., ил.

248. Самосова С. М., Фильченкова В. И., Мусина Г. Х. и др. К вопросу об оценке состояния почвы по ее ферментативной ак-

тивности.— В кн.: Биологическая диагностика почв. М., 1976, с. 243—244.

249. Саникидзе Г. С., Гогорикидзе Н. И., Гамкредидзе К. И. Изменение биологической активности красноземных почв чайной плантации в связи с применением удобрений.— В кн.: Микроорганизмы и продуктивность сельского хозяйства: Тез. докл. VI съезда Всесоюз. микробиол. о-ва. Рига, 1980, с. 122.

250. Сапожников Н. А. Биологические основы обработки подзолистых почв.— М.: Сельхозгиз, 1963.— 291 с., ил.

251. Сапожников Н. А. Трансформация азота удобрений в дерново-подзолистых почвах.— В кн.: Динамика микробиологических процессов в почве: Матер. симп. (4—5 сентября 1974 г.). Таллин, 1974, ч. 1, с. 51—53.

252. Сапун М. П. Применение удобрений на подзолистых почвах Белоруссии.— В кн.: Удобрение овощных культур. М., 1963, с. 75—81.

253. Скоропанов С. Г. Освоение и использование торфяно-болотных почв.— Мн.: Изд-во АН БССР, 1961.— 250 с., ил.

254. Скоропанов С. Г., Волков Л. Е., Кулеш С. В. и др. Использование органогенных почв с различной мощностью торфяной залежи.— Весті АН БССР. Сер. с.-г. навук, 1970, № 4, с. 14—18.

255. Скоропанов С. Г., Кахновская Л. Т. Новое в обработке торфяно-болотных почв.— Тр. Ин-та мелиорации и водного хоз-ва. Т. 4: Вопросы агротехники сельскохозяйственных культур, 1954, с. 3—26.

256. Смеян Н. И. Дерново-палево-подзолистые почвы на лесовых и лесовидных суглинках.— В кн.: Почвы Белорусской ССР. Мн., 1974, с. 106—113.

257. Смирнова В. И., Третьяков Н. Н. Микробиологические процессы в различных генетических горизонтах дерново-подзолистой почвы при их окультуривании.— Докл. ВАСХНИЛ, 1968, № 4, с. 2—4.

258. Степанова Л. Н. Влияние длительного применения минеральных удобрений на содержание токсичных бактерий в дерново-подзолистых почвах.— Науч. докл. высш. школы. Биол. науки, 1959, № 3, с. 243—247.

259. Степанова Л. Н. Роль почвенных бактерий в токсичности дерново-подзолистых почв: Автореф. дис. ... канд. биол. наук.— М., 1963.— 19 с.

260. Стефанькина Л. М. Зависимость урожая ячменя от содержания гумуса и биологической активности дерново-подзолистой супесчаной почвы: Автореф. дис. ... канд. с.-х. наук.— Рига, 1976.— 16 с.

261. Стратонович М. В., Евдокимова Н. В. Изменение биологической активности дерново-подзолистых почв под влиянием удобрений.— В кн.: Особенности почвенных процессов дерново-подзолистых почв. М., 1977, с. 61—75.

262. Стрелков И. Г. Окультуривание легких почв Белоруссии.— Мн.: Ураджай, 1967.— 160 с., ил.

263. Стрелков И. Г., Островой И. П. Влияние люпина и торфа на окультуривание и повышение плодородия дерново-подзолистых почв легкого механического состава.— Весті АН БССР. Сер. с.-г. навук, 1967, № 3, с. 44—49.

264. Стрелков И. Г., Островой И. П., Туманова Н. А. Повыше-

ние плодородия дерново-подзолистых почв.— Земледелие, 1967, № 1, с. 33—35.

265. Стрелков И. Г., Островой И. П., Туманова Н. А. Основные вопросы системы удобрения дерново-подзолистых легких песчаных и супесчаных почв Полесья (сообщ. 2).— В сб.: Земледелие и растениеводство в БССР. Мн., 1968, т. 12, с. 37—43.

266. Сушкина Н. Н., Сергунина Л. А. Распространение и развитие азотбактера в дерново-подзолистых почвах.— Микробиология, 1955, т. 24, № 4, с. 408—414.

267. Также Б. Научные основы культуры болот.— М.—Л.: Сельхозгиз, 1930.— 96 с., ил.

268. Тараневский И. П., Егорушкина Т. Е. Влияние торфяного навоза и торфа на урожай культур севооборота и агрохимические свойства дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы.— Бюл. ВНИИ удобрений и агропочвоведения, 1977, № 33, с. 128—136.

269. Тарвидас И. И. Микробиологическая характеристика основных типов почв Литовской ССР.— В кн.: Научная сессия по вопросам биологии и сельского хозяйства. М., 1953, с. 142—149.

270. Теппер Е. З. Микроорганизмы рода *Nocardia* и разложение гумуса.— М.: Наука, 1976.— 198 с., ил.

271. Теппер Е. З., Шильникова В. К., Переверзева Г. И. Практикум по микробиологии.— М.: Колос, 1979.— 212 с., ил.

272. Тикавый В. А. Влияние приемов окультуривания супесчаной почвы на содержание гумуса и изменение водно-физических свойств.— В сб.: Почвоведение и агрохимия. Мн., 1972, вып. 9, с. 76—80.

273. Тихомирова В. Я. Влияние аммиачной селитры на нитрифицирующую способность дерново-подзолистой почвы.— Агрохимия, 1968, № 112, с. 103—108.

274. Туманова Н. А. Влияние системы удобрения на накопление органического вещества в песчаной почве.— Весці АН БССР. Сер. с.-г. навук, 1969, № 2, с. 28—32.

275. Туренков Н. И., Коршун Н. Н. Качественный состав органического вещества дерново-подзолистых почв.— В сб.: Почвоведение и агрохимия. Мн., 1970, вып. 7, с. 66—78.

276. Туренков Н. И., Коршун Н. Н., Юшкевич И. А. Влияние удобрений на окультуривание почвы и урожай сельскохозяйственных культур.— В сб.: Почвоведение и агрохимия. Мн., 1971, вып. 8, с. 80—86.

277. Туренков Н. И., Щербакова Т. А., Гаврилкина А. Н. Влияние окультуривания дерново-подзолистых палевых почв на их биологическую активность.— Тез. докл. IV Всесоюз. делегат. съезда почвоведов. Алма-Ата, 1970, кн. 2, ч. I, с. 250—251.

278. Тюрин И. В. Повышение плодородия и культурного состояния почв СССР — важнейшая проблема почвоведения и земледелия.— Почвоведение, 1954, № 3, с. 1—6.

279. Узун В. Ф., Алексеева А. Н. Нитрификационная способность основных почв Саратовской области.— Агрохимия, 1974, № 2, с. 29—33.

280. Умаров М. М. Ацетиленовый метод изучения азотфиксации в почвенно-микробиологических исследованиях.— Почвоведение, 1976, № 11, с. 119—122.

281. Умаров М. М., Асеева И. В. Свободные аминокислоты некоторых почв СССР.— Почвоведение, 1971, № 10, с. 108—112.

282. Умаров М. М., Асеева И. В. Свободные аминокислоты

почв как возможный критерий биологической диагностики почв.— В кн.: Биологическая диагностика почв. М., 1976, с. 286—287.

283. Уоррен Р., Джонстон А. Длительный опыт с монокультурой ячменя в Хусфилде.— Сел. хоз-во за рубежом, 1968, № 10, с. 6—8.

284. Уполовников Б. А. Применение удобрений на богарных се-роземах юга Казахстана и нитрификационная способность почвы.— Почвоведение, 1971, № 2, с. 28—32.

285. Успенский Е. Е. Микробиологическая оценка потребности почвы в извести, фосфатах и других удобрениях.— Удобрение и урожай, 1930, № 7—8, с. 581—599.

286. Федоров М. В. Почвенная микробиология.— М.: Советская наука, 1954.— 476 с., ил.

287. Федоров М. В. Биологическая фиксация азота атмосферы.— М.: Сельхозгиз, 1952.— 671 с., ил.

288. Фивейская С. В. Влияние ила на микробиологические свойства почв спланированных участков Волго-Ахтубинской поймы.— Тр. Свердловского СХИ, 1962, с. 245—248.

289. Фивейская С. В. Микробиологическое изучение волжских илов в связи с использованием их для повышения плодородия почв.— Тр. Свердловского СХИ: Матер. II межвуз. науч. конф. по использованию сапропселей в сельском хозяйстве, 1966, вып. 17, с. 145—152.

290. Фриден Я. Роль соединений меди в природе.— В кн.: Горизонты биохимии. М., 1964, с. 354—379.

291. Челядинов Г. И. Нитрифицирующая способность — объективный показатель плодородия почв.— Агробиология, 1965, № 5, с. 722—725.

292. Чернышева М. Н., Андреева Д. М., Романова Л. С. Нитрификационная способность как показатель обеспеченности почв азотом.— Сб. науч. тр. Гродненского с.-х. ин-та, 1969, вып. 5, с. 117—122.

293. Чундерова А. И. Активность полифенолоксидазы и пероксидазы в дерново-подзолистых почвах.— Почвоведение, 1970, № 7, с. 22—26.

294. Чундерова А. И. Ферментативная активность дерново-подзолистых почв северо-западной зоны: Автореф. дис. ... докт. биол. наук.— Тарту, 1972.— 26 с.

295. Чундерова А. И., Зубец Т. П. О математической достоверности результатов микробиологических и биохимических анализов почвы.— В кн.: Микробиологические и биохимические исследования почв. Киев, 1971, с. 30—34.

296. Чундерова А. И., Зубец Т. П. Математическая модель прогнозирования урожая сельскохозяйственных культур по активности почвенных ферментов.— В кн.: Микроорганизмы и продуктивность сельского хозяйства: Тез. докл. VI съезда микробиол. о-ва. Рига, 1980, с. 24.

297. Шатилов И. С. Максимальное аккумулялирование солнечной энергии культурными растениями — важнейшая задача современного земледелия.— В кн.: Проблемы земледелия. М., 1978, с. 12—18.

298. Шконде Э. И., Королева И. Е. О природе и подвижности почвенного азота.— Агрохимия, 1964, № 10, с. 17—36.

299. Штурм Л. Д., Капulyнкова З. А. Распределение микроорганизмов в пресноводных иловых отложениях.— Микробиология, 1945, т. 14, вып. 4, с. 260—263.

300. Шюляускене Н. И., Станиславичюте И. С., Савицкая И. К. Влияние известкования на биологическую активность легких дерново-подзолистых почв.— В кн.: Микробиологические процессы в почвах и урожайность сельскохозяйственных культур: Матер. к республ. конф. (6—7 июня 1978 г.). Вильнюс, 1978, с. 392—393.

301. Щербакова Т. А. К методике определения активности инвертазы и амилазы в почве.— Сб. докл. симп. по ферментам почвы. Мн., 1968, с. 453—455.

302. Щербакова Т. А. Использование показателей ферментативной активности почвы для характеристики функциональной активности ее живого населения.— В кн.: Динамика микробиологических процессов в почве: Матер. симп. (4—5 сентября 1974 г.). Таллин, 1974, ч. 1, с. 44—50.

303. Щербаков А. П. К вопросу о диагностике азотного режима почв.— В кн.: Биологическая диагностика почв. М., 1976, с. 316—317.

304. Эгерсеги Ш. Эффективное использование органического удобрения на песчаных почвах.— В кн.: Повышение плодородия легких почв. М., 1960, с. 128—144.

305. Юдинцева И. И. Нитрификационная способность подзолистых почв средней тайги Коми АССР.— Агрохимия, 1973, № 7, с. 16—20.

306. Юнг Л. А. Микробиологические анализы в почвенно-агрономических исследованиях.— В кн.: Наука — производству. Киров, 1963, с. 93—107.

307. Юшкевич И. А., Островой И. П., Шныриков В. Г. и др. Роль органических удобрений в повышении плодородия дерново-подзолистых песчаных почв.— В сб.: Почвенные исследования и применение удобрений: Межвед. темат. сб. Мн., 1977, вып. 8, с. 69—82.

308. Юшкевич И. А., Тикавый В. А. Влияние углубления пахотного горизонта и послыйного внесения удобрений на продуктивность севооборота на песчаной почве.— В сб.: Почвенные исследования и применение удобрений: Межвед. темат. сб. Мн., 1979, вып. 10, с. 79—88.

309. Юшкевич И. А., Тикавый В. А., Шныриков В. Г. Возможности использования гидролизного лигнина в качестве органического удобрения на песчаных почвах.— В сб.: Почвоведение и агрохимия. Мн., 1975, вып. 12, с. 149—153.

310. Юшкевич И. А., Шныриков В. Г., Тикавый В. А. и др. Исследования по повышению плодородия дерново-подзолистых песчаных почв.— В сб.: Почвоведение и агрохимия. Мн., 1980, вып. 16, с. 25—34.

311. Яковлев А. С., Гельцер Ю. Г. Сравнительная оценка биологической активности черноземно-луговых и типично черноземных почв.— В кн.: Биологическая диагностика почв. М., 1976, с. 323—325.

312. Ambrož Z. Zkušenošti s použitím enzymatických metod v půdní biologii.— Sbor. Českosl. Akad. Zeměd., Rostl. Výroba, 1956, sv. 29, N 9—10, s. 890—892.

313. Ambrož Z. Sledování aktivity půdních enzymů závislosti na činnosti mikroorganismů.— Sbor. Českosl. Akad. Zeměd., Rostl. Výroba, 1956, sv. 29, N 12, s. 1269—1282.

314. Ambrož Z. K poznání vztahu mezi enzymatickou aktivitou

půdy a humifikačními procesy.—Acta Univ. agr., 1978, A 26, sv. 1, s. 13—19.

315. **Ambrožova M.** Vliv fyzikálního stavu půdy na aktivitu některých mikrobiálních dýchacích enzymů.—Rostl. Výroba, 1970, sv. 16, č. 4, s. 451—456.

316. **Anderson O. E., Jones L. S., Boswell F. C.** Soil temperature and source of nitrogen in relation to nitrification in sodded and cultivated soils.—Agron. J., 1970, vol. 62, N 2, p. 206—211.

317. **Asmus F., Görlitz H., Pohl W.** Wirkung der organischen Substanz auf den Pflanzenertrag.—Feldwirtschaft, 1979, Jg. 20, H. 1, S. 36—37.

318. **Balakrishnan E. M., Mariakulandai A.** Factors influencing on nitrification in soil.—Madras Agric. J., 1965, vol. 52, N 5, p. 217—225.

319. **Bear F. E.** A correlation between bacterial activity and lime requirement of soil.—Soil Sci., 1917, vol. 4, N 6, p. 433—462.

320. **Beck T.** Die Nitrifikation in Böden (Sammelreferat).—Z. Pflanzenernähr. Bodenk., 1979, Bd 142, H. 3, S. 344—364.

321. **Birch H. F.** Nitrification in soils after different periods of dryness.—Plant and Soil, 1960, vol. 12, N 1, p. 81—96.

322. **Brouzes R., Lasik J., Knowles R.** The effects of organic amendment, water content and oxygen on the incorporation of $^{15}\text{N}_2$ by some agricultural and forest soils.—Canad. J. Microbiol., 1969, vol. 15, N 8, p. 899—902.

323. **Carles I., Decan I.** De quelques conditions, susceptibles de modifier les proportions des acides aminés du sol.—Ann. Inst. nat. rech. agron., 1960, A 11, N 5, p. 557—575.

324. **Chandra P.** Note on the effect of shifting temperatures on nitrification in a loam soil.—Canad. J. Soil Sci., 1962, vol. 42, N 2, p. 314—315.

325. **Chmielewski K., Kaczmarkowa W., Golebiowska J.** Nitrifikacje w glebie w obecności substancji organicznych.—Prace Kom. Nauk Roln. Kom. Nauk Leśn. (Poznańsk. T-wo Przyjaciół Nauk), 1973, t. 35, s. 41—46.

326. **Conrad J. P.** Hydrolysis of urea in soils by thermobacillary catalyses.—Soil Sci., 1940, vol. 49, p. 253—263.

327. **Conrad J. P.** The nature of the catalyst causing the hydrolysis of urea in soils.—Soil Sci., 1940, vol. 50, N 2, p. 119—134.

328. **Dommergues V.** Contribution à l'étude de la dynamique microbienne des sols en zone semi-aride et en zone tropicale sèche. Première partie.—Ann. agron., 1962, vol. 13, N 4, p. 262—324.

329. **Domsch K. H.** Biological aspects of soil fertility.—Proc. Int. Semin. Soil Environ. and Fertil. Manag. Intensive Agr. (Tokyo, 1977). Kyoto, 1977, p. 737—743.

330. **Dörner W.** Beobachtungen über das Verhalten der Sporen und vegetativen Formen von *Bacillus amylobacter*. A. M. et Brede-mann ein Nachweis Zuchtversuchen.—Landwirtschaft. Jahrb. Schweiz., 1924, Bd 36, S. 175—179.

331. **Frackowiak H.** Influence of moisture and air content on mineralization of nitrogen in peat soils.—Roczn. gleboznawcze, 1968, t. 19, s. 175—186.

332. **Gangwar B. M.** Amino compounds in acid hydrolysates of humic acids.—Labdev. J. Sci. and Technol., 1970, vol. 8, N 3, p. 148—150.

333. Giedrojc. Przemiany substancji organicznej w glebie piaszczystej.—Roczn. gleboznawcze, 1965, t. 15, N 1, s. 65—89.

334. Greaves J. E., Carten E. Influence of moisture on the bacterial activities of the soil.—Soil Sci., 1920, vol. 10, p. 361—365.

335. Grov A., Alvsaker E. Amino acids in soil.—Acta chem. scand. 1963, vol. 17, p. 2307—2311.

336. Greenwood D. T., Lees H. Studies on the decomposition of amino acids in soils.—Plant and Soil, 1956, vol. 12, N 7, p. 253—258.

337. Haber W. Möglichkeiten zur ökologischen Betrachtung des Bodenlebens.—Arb. Landwirtsch. Hochschule Hohenheim, 1964, Bd 30, S. 59—70.

338. Harris J. R. Techniques for assessing the net effect of microbial activities in soil.—9th Int. Congr. Soil Sci. Trans., (Ade-laide, 1968). Sydney e. a., 1968, vol. 3, p. 665—674.

339. Hofmann E. Enzymreaktionen und ihre Bedeutung für die Bestimmung der Bodenfruchtbarkeit.—Z. Pflanzenernährung, Düngung, Bodenkunde, 1952, Bd 56, H. 1—3, S. 68—72.

340. Hofmann E. Über die Rolle der Enzyme bei der Humusbildung.—Z. Pflanzenernährung, Düngung, Bodenkunde, 1955, Bd 69, S. 165—171.

341. Hofmann E., Bräunlich K. Der Saccharasegehalt der Böden unter dem Einfluß verschiedener Faktoren der Bodenfruchtbarkeit.—Z. Pflanzenernährung, Düngung, Bodenkunde, 1955, Bd 70, H. 2, S. 114—123.

342. Hofmann E., Hoffmann G. Über Herkunft, Bestimmung und Bedeutung der Enzyme im Boden.—Z. Pflanzenernährung, Düngung, Bodenkunde, 1955, Bd 70, H. 1, S. 9—16.

343. Hofmann E., Hoffmann G. Über das Enzymsystem unserer Kulturböden. 6. Amylase.—Z. Pflanzenernährung, Düngung, Bodenkunde, 1955, Bd 70, H. 2, S. 97—114.

344. Hofmann E., Hoffmann G. Über die Zuverlässigkeit der Methoden zur Bestimmung der Aktivität von Bodenenzymen nach Ed. Hofmann.—Plant and Soil, 1961, vol. 14, N 1, S. 96—99.

345. Hofmann E., Seegerer A. Der Fermentgehalt des Bodens als Maßstab seiner biologischen Aktivität.—Bioche. Z., 1950, Bd 321, H. 2, S. 97.

346. Hofmann E., Wolf E., Schmidt W. Vergleich zwischen Enzymgehalt und anderen Eigenschaften verschiedener Kulturböden.—Z. Pflanzenbau und Pflanzenschutz, 1953, N 4, S. 177—181.

347. Igel H. Über die Humifizierung und Mineralisierung organischer Substanzen in größeren Bodentiefen.—Arch. Acker- und Pflanzenbau und Bodenkunde, 1972, Bd 16, H. 8, S. 581—585.

348. Ishaque M., Cornfield A. H. Nitrogen mineralization and nitrification during incubation of East Pakistan «tea» soils in relation to pH.—Plant and Soil, 1972, vol. 37, N 1, p. 91—95.

349. Jaggi W. Die Bestimmung der CO₂-Bildung als Maß der bodenbiologischen Aktivität.—Schweiz. landwirt. Forsch., 1976, Bd 15, N 3—4, S. 371—380.

350. Kappen H. Die Katalytische Kraft des Ackerbodens Fuhlings.—Landw. Ltd., 1913, Bd 63, S. 377—382.

351. Kiss S. Unele probleme ale enzimologiel solului.—Lucr. sti. Centrul. experimental de ingrasaminte bact., 1961, t. 111, p. 335—347.

352. Knowles R., Denike D. Effect of ammonium, nitrate and nitrate-nitrogen on anaerobic nitrogenase activity in soil.—Soil Biol. and Bioch., 1974, vol 6, N 6, p. 353—358.

353. **Kobus J., Strelcowa A.** Wpływ mineralotów clastycznych na aktywność biologiczną i żyzność gleb lekkich. Cz. 3.—Roczn. gleboznawcze, 1967, t. 18, N 1, S. 115—131.
354. **Kozová J.** Mikrobiologische Zellulosezerersetzung unter natürlichen Bodenverhältnissen.—Zbl. Bakteriologie, Parasitenkunde, Infektionskrankheiten und Hygiene, 1963, Abt. 2, Bd 116, N 5, S. 459—468.
355. **Krause O.** Der Einfluss einer winterlichen Stallmistkopf-düngung auf einige Faktoren der Bodenfruchtbarkeit, Insbesondere auf die zellulolytische Aktivität des Bodens.—Tagungsber. Dtsch. Akad. Landwirtschaftswiss. Berlin, 1969, N 98, S. 257—262.
356. **Krishnamoorthy K. R., Durairai D. J.** Amino acid distribution patterns in soils.—Madras Agric. J., 1968, vol. 55, N 3, p. 134—138.
357. **Kunze Chr.** Die Bedeutung der Enzyme für die Beurteilung der biologischen Bodenaktivität.—Zbl. Bakteriologie, Parasitenkunde, Infektionskrankheiten und Hygiene, 1970, Abt. 2, Bd 125, N 4, S. 385—393.
358. **Küster E.** Bedeutung der Aktinomyzeten für den Abbau von Cellulose, Lignin und Huminstoffen im Boden.—Z. Pflanzenernährung, Boden., 1979, Bd 142, H. 3, S. 365—374.
359. **Loub W.** Die mikrobiologische Charakterisierung von Bodentypen.—Die Bodenkultur, 1960, Bd 11, H. 1, S. 38—70.
360. **Molina J. S.** La décomposition aerobique de la cellulose et la structure active des sols (Résumé de 20 ans de recherches 1946—1967).—Ann. Inst. Pasteur, 1968, vol. 115, N 4, p. 604—609.
361. **Müller G., Hickisch B., Tischer P.** Ermittlung bodenmikrobiologischer Aktivitätsparameter. 1. Mitt: Versuchsprogramm und Ergebnisse des Prüffaktors Haferertrag.—Zbl. Bakteriologie, Parasitenkunde, Infektionskrankheiten und Hygiene, 1972, Abt. 2, Bd 127, N 1, S. 82—97.
362. **Nita L., Balenski J.** The influence of some environmental factors on soil microflora.—Nath. Conf. Gen. and Appl. Microbiology: Microbiologia 1. Bucuresti, 1967, p. 429—436.
363. **Pakorná-Kozová J.** Zersetzung der Zellulose bei verschiedener organischer Düngung.—Zbl. Bakteriologie, Parasitenkunde, Infektionskrankheiten und Hygiene, 1970, Abt. 2, Bd 125, N 5, S. 471—477.
364. **Rawald W.** Zur Frage der Sorption und der Stabilität von Enzymen in Bodenproben.—Albrecht-Thaer-Archiv, 1969, Bd 13, H. 3, S. 231—239.
365. **Schaefer R.** L'activité dehydrogenasique comme mesure de l'activité biologique globale des sols.—Ann. Inst. Pasteur, 1963, vol. 105, N 2, p. 326—331.
366. **Schmidt E. L., Putman H. H., Paul E. A.** Behavior of free amino acids in soil.—Soil Sci. Soc. America Proc., 1960, vol. 24, p. 107—111.
367. **Schrödter H., Tietjen C.** Statistische Betrachtungen zur Frage der Abhängigkeit der Nitrifikation von Bodentemperatur und Bodenfeuchtigkeit.—Agr. Meteorol., 1971, Bd 9, N 1-2, S. 77—91.
368. **Singh S., Bhandari G. S.** An investigation of the aminocompounds in acid hydrolysates of Rajasthan.—J. Scient. Res. Bararas Hindu Univ., 1962, vol. 13, N 1, p. 73—77.
369. **Taha S. M., Mahmoud S. Q. L., Moubarek S. M.** Effect of reclamation of sandy soil on some chemical and microbiological properties.—Plant and Soil, 1970, vol. 32, N 2, p. 282—286.
370. **Taha S. M., Zayed M. N., Saber M. S. et al.** Nitrogen transformation in soils. 11. In sandy soils under Horsebean and Sesame

in a two-years rotation.—Zbl. Bakteriolog., Parasitenk., Infektionskrankh. und Hyg., 1973, Abt. 2, Bd 128, N 1-2, S. 126—134.

371. Truffaut G., Berssonoff N. Sur la prédominance de l'activité des fixateurs anaérobies d'azote dans le sol.—C. r. Acad. sci. Paris, 1925, vol. 181, p. 165—171.

372. Turski R., Flis M. The effect of melioration ploughing and plant cover on the organic matter of light soils.—Roczn. gleboznawcze, 1968, t. 19 Dod., p. 215—222.

373. Verstraeten L. M. Interaction between urease activity and soil characteristics.—Agrochimica, 1978, vol. 22, N 5-6, p. 455—464.

374. Wagner G. H., Martyniuk S. Characteristic soil populations for various long term management systems.—11 th Int. Congr. Soil Sci. (Edmonton, 1978): Abstrs, 1978, vol. 1, S. 1, p. 206—207.

375. Zayed M. N. Effect of moisture, reaction and soil type on nitrification and loss of nitrogen.—Zbl. Bakteriolog., Parasitenk., Infektionskrankh. und Hyg., 1971, Abt. 2, Bd. 126, N 6, p. 610—614.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	3
<i>Глава 1</i>	
Методы исследований биологической активности почв	6
<i>Глава 2</i>	
Особенности микробиологического режима дерново-подзолистых почв при их окультуривании	11
Общая характеристика биологического состояния дерново-подзолистых почв	11
Особенности микробиологического режима легких почв при их окультуривании	14
Оценка различных приемов окультуривания песчаной почвы по микробиологическим показателям	18
Микробиологические показатели изменения плодородия дерново-подзолистой почвы при длительном применении возрастающих доз торфа в составе торфо-навозного компоста	26
Микрофлора как показатель эффективности компостов, приготовленных на основе гидролизного лигнина	30
Микробиологическая характеристика сапропелевых удобрений и их эффективность	33
Последствие приемов окультуривания дерново-подзолистой супесчаной почвы на микробиологические процессы	38
Оценка степени окультуренности дерново-подзолистых почв по биологическим показателям	45
<i>Глава 3</i>	
Изменение биологического состояния дерново-подзолистых почв при длительном применении удобрений	54
Влияние различных систем удобрений на биологическую активность почвы	54
Нитрификация	66

Накопление свободных аминокислот	73
Целлюлозолитическая способность почвы	76
Ферментативная активность почвы	78
Известкование почвы и деятельность микрофлоры	84
Оценка плодородия почвы по биологическим показателям	101

Глава 4

Взаимосвязь микробиологических процессов и основных показателей плодородия дерново-подзолистых почв	104
Содержание гумуса и его состав	106
Показатели, характеризующие кислотность и состояние почвенного поглощающего комплекса	109
Содержание подвижных форм фосфора и калия	110
Взаимосвязь биологических показателей с урожаем	113

Глава 5

Регулирование минерализации органического вещества торфяно-болотных почв	118
Влияние влажности на биологическую активность торфяно-болотной почвы разной степени окультуренности	119
Сравнительная характеристика биологической активности торфяно-болотной почвы под различными сельскохозяйственными культурами	125
Влияние обработок торфяно-болотной почвы на микробиологическую деятельность и урожай овощных культур	134

Глава 6

Азотфиксирующая способность почв	140
Заключение	154
Литература	158

ЛЮДМИЛА АНАТОЛЬЕВНА КАРЯГИНА
МИКРОБИОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПОВЫШЕНИЯ
ПЛОДОРОДИЯ ПОЧВ

Редактор Л. Г. Максимова
Художник М. А. Жаховец
Художественный редактор В. А. Жаховец
Технический редактор И. В. Волоханович
Корректор М. А. Вечорко

ИБ № 1995

Сдано в набор 16.08.82. Подписано в печать 17.12.82.
АТ 05799. Формат 84×108¹/₃₂. Бум. тип. № 2. Гарнитура
литературная. Высокая печать. Печ. л. 5,75. Усл. печ. л.
9,66. Усл. кр.-отт. 9,97. Уч.-изд. л. 9,3. Тираж 2050 экз.
Зак. № 1758. Цена 95 к.

Издательство «Наука и техника» Академии наук БССР
и Государственного комитета БССР по делам издательств,
полиграфии и книжной торговли. 220600. Минск, Ленин-
ский проспект, 68. Типография им. Франциска (Георгия)
Скорины издательства «Наука и техника». 220600. Минск,
Ленинский проспект, 68.

Уважаемый товарищ!

**В издательстве
«НАУКА И ТЕХНИКА»**
готовятся к изданию книги

И. К. Володько
**«МИКРОЭЛЕМЕНТЫ И УСТОЙЧИВОСТЬ РАСТЕНИЙ
К НЕБЛАГОПРИЯТНЫМ ФАКТОРАМ СРЕДЫ»**

*На русском языке. 12 л.
Ориентировочная цена 1 р. 40 к.*

В работе обобщены результаты исследований влияния микроэлементов на адаптацию и устойчивость растений к неблагоприятным факторам среды: низким и пониженным температурам, засухе и жаре, засолению и др. Сделана попытка выявить специфичность действия некоторых микроэлементов в этом аспекте. Особое внимание уделено действию микроэлементов на накопление защитных веществ и ферментативную активность. Обсуждается перспектива практического применения микроэлементов в целях снижения повреждающего действия на растительный организм экстремальных факторов среды.

Рассчитана на физиологов и растениеводов. Представляет интерес для широкого круга специалистов биологического профиля.

Т. Г. Зименко, Н. В. Гаврилкина,
А. С. Самсонова и др.

**«МИКРОБНЫЕ ЦЕНОЗЫ ТОРФЯНЫХ ПОЧВ
И ИХ ФУНКЦИОНИРОВАНИЕ»**

*На русском языке. 10 л.
Ориентировочная цена 1 р.*

В книге обобщены результаты многолетних исследований микробных ценозов торфяных почв Белорусской ССР. Дана характеристика торфяных почв как среды обитания и функционирования микроорганизмов, приводятся специальные данные о структуре микробоценозов торфа. На большом экспериментальном материале рассматривается микрофлора, перерабатывающая природные и неприродные органические соединения торфа (специфические гумусовые, вещества индивидуальной природы, вносимые в торфяные почвы гербициды и др.).

Показана функциональная деятельность микроорганизмов как фактор регулирования биохимических процессов в торфяных почвах. Намечены пути регулирования функций микробных ценозов с целью рационального использования торфяных почв в сельском хозяйстве и охраны окружающей среды от антропогенных воздействий.

Рассчитана на микробиологов, агрохимиков, почвоведов, специалистов в области сельского хозяйства и охраны окружающей среды.

*Заказы направляйте по адресу:
220668. Минск, площадь Свободы, 19.
Магазин «Книга — почтой».*

