

## **АКТИВНОСТЬ ГИДРОЛИТИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В ЦИКЛАХ УГЛЕРОДА И АЗОТА ПРИ РАЗНЫХ СПОСОБАХ ОСНОВНОЙ ОБРАБОТКИ И УДОБРЕНИЯ ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТЫХ ПОЧВ**

**Н. А. Михайловская, Т. М. Серая, Е. Н. Богатырева, С. В. Дюсова**

*Институт почвоведения и агрохимии, г. Минск, Беларусь*

### **ВВЕДЕНИЕ**

Каталитическая способность почв обусловлена функционированием ферментов, постоянно поступающих в почву из разных источников. Основными продуцентами ферментов являются микроорганизмы [1–7]. В почву поступают также ферменты микроорганизмов, растений и почвенной фауны. Благодаря каталитической активности сложные биохимические процессы в почвах протекают с высокой скоростью [1–5].

Ферменты – важнейшие метаболиты микроорганизмов, представляющие сложные белковые структуры, способные значительно ускорять химические реакции. Основу микробного метаболизма составляет деятельность ферментов, катализирующих все биохимические реакции в живых системах [1, 8, 9].

Ферментативная активность почвы включает функционирование внутриклеточных и внеклеточных ферментов. Внутриклеточные ферменты ассоциированы с живыми клетками микроорганизмов. Внеклеточные ферменты выделяются живыми микробными клетками или поступают в почву после их отмирания. В классических исследованиях J. Skujins [1], В. Ф. Купревича и Т. А. Щербаковой [2], A. D. MacLaren [3], J. N. Ladd [4], S. A. Boyd [5], M. A. Tabatabai [6], показано, что эти ферменты адсорбируются минеральными (глинистыми минералами) и органическими (гуминовыми и нуклеиновыми кислотами, полисахаридами) компонентами почвы. Имобилизация на перечисленные матрицы способствует стабилизации ферментов [3, 5–10]. Они аккумулируются в почве и формируют ферментный запас, который является результатом ежегодного развития микроорганизмов в почве. Стабилизированные таким образом внеклеточные ферменты составляют значительную часть общего ферментного запаса почвы, они устойчивы к протеолизу, защищены от инактивации, длительно сохраняют свою активность и функционируют при неблагоприятных условиях, когда микробная деятельность обычно угнетена [7–15].

Исследования по ферментативной активности позволяют получать информацию об интенсивности ключевых биохимических процессов, определяющих способность почвы выполнять функции минерализации и гумификации органических веществ. В основе деструкционных и синтетических функций почвы лежит биохимическая активность, реализуемая за счет действия ферментов.

Цель исследований – оценить активность гидролитических ферментов в циклах углерода и азота при разных способах основной обработки дерново-подзолистых почв.

**ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ**

Биохимические исследования проведены в двух стационарных полевых экспериментах Института почвоведения и агрохимии на дерново-подзолистых супесчаной (ПРУП «Э/б им. Котовского») и легкосуглинистой почвах (ОАО «Гастелловское»), заложенных в 2019 г. Схемы полевых экспериментов представлены в таблицах 1, 2. Исследования проведены в севообороте: озимая пшеница – горох – озимая рожь – кормовые бобы – кукуруза. Среднегодовые дозы удобрений на супесчаной почве на начало 2023 г. составили:  $N_{93}P_{58}K_{108}$ , подстилочный навоз КРС – 20 т/га, солома – 3,5 т/га, КАС по соломе –  $N_{23}$ ; на начало 2024 г. –  $N_{78}P_{59}K_{111}$ , подстилочный навоз КРС – 35 т/га, солома – 2,9 т/га, КАС по соломе –  $N_{31}$ ; на легкосуглинистой почве на начало 2023 г. –  $N_{103}P_{22}K_{70}$ , подстилочный навоз КРС – 20 т/га, солома – 4,2 т/га, КАС по соломе –  $N_{25}$ ; на начало 2024 г.  $N_{85}P_{21}K_{99}$ , подстилочный навоз КРС – 35 т/га, солома – 3,5 т/га, КАС по соломе –  $N_{31}$ .

Почвенные образцы для выполнения биохимических исследований в 2023 г. отобраны в весенний период до посева кормовых бобов, в 2024 г. – до посева кукурузы, отборы проведены в оптимальные сроки [9, 15]. Почвенные образцы высушены до воздушно-сухого состояния и просеяны (сито 2 мм). В воздушно-сухих почвенных образцах определены инвертазная и уреазная активность.

Наиболее удобные и широко используемые колориметрические методики определения активности почвенных гидролитических ферментов, инвертазы и уреазы, были разработаны Т. А. Щербаковой [13].

**Методика определения инвертазной активности в почвенных образцах.** Навески предварительно просеянной воздушно-сухой почвы (5 г) помещают в колбы Эрленмейера емкостью 100 мл, прибавляют 5 мл фосфатного буфера (рН 4,9), 15 мл 8% раствора сахарозы и 3 капли толуола в качестве антисептика. В контрольные колбы вместо сахарозы вносят 15 мл воды и тщательно перемешивают. Экспозиция в термостате 4 часа при 37 °С. После инкубации в термостате содержимое колб фильтруют через бумажный фильтр. В пробирки вносят по 1 мл фильтрата и по 2 мл индикатора. В контрольную пробирку приливают 1 мл воды и 2 мл индикатора. Пробирки нагревают на кипящей водяной бане в течение 5–10 мин. и быстро охлаждают под струей холодной воды. В контрольных колбах развивается желтая окраска, в испытуемых образцах – красно-коричневая за счет образования 3-амино-5-нитросалициловой кислоты. Доводят объем до 10 мл дистиллированной водой, перемешивают. Образцы колориметрируют при  $\lambda = 540$  нм против контроля (зеленый светофильтр, кювета 5 мм).

Для приготовления фосфатного буфера с рН 4,9 готовят следующие растворы: 23,87 г  $Na_2HPO_4 \cdot 12H_2O$  в 1000 мл воды и 9,08 г  $KH_2PO_4$  в 1000 мл воды. Растворы смешивают в соотношении: 1 мл раствора  $Na_2HPO_4$  и 99 мл раствора  $KH_2PO_4$ .

Приготовление индикатора: В мерную колбу на 100 мл вносят 0,5 г 3,5-динитросалициловой кислоты (ДНС) и немного дистиллированной воды. Затем в колбу при перемешивании прибавляют раствор щелочи (1,6 г NaOH в 20 мл воды). После растворения ДНС в колбу вносят 30 г сегнетовой соли и доводят объем до 100 мл.

Расчет активности инвертазы производят по калибровочной кривой, составленной с чистой глюкозой. Активность выражают в мг глюкозы на 1 кг почвы за 4 часа (37 °С) по формуле:  $K \cdot 20 \cdot 1000 \cdot E_x / \text{навеска почвы (г)}$ , где  $E_x = E - (E_{\text{контр}} + E_{\text{сах}})$ ;  $E_{\text{сах}} 0,011$ ;  $K$  – коэффициент, вычисленный по калибровочному графику, 20 – разбавление.

**Методика определения уреазной активности в почвенных образцах.**

В конические колбы с притертыми пробками вносят предварительно просеянную воздушно-сухую почву (5 г), приливают по 20 мл буферного раствора с мочевиной (2 г мочевины растворяют в 100 мл фосфатного буфера с pH 6,7). Для сдерживания роста микроорганизмов в реакционную смесь прибавляют 3 капли толуола. Колбы помещают в термостат на 4 часа при 37 °С. В контрольные колбы с почвой приливают по 20 мл буфера, не содержащего ферментный субстрат (мочевину). После экспозиции в каждую колбу вносят по 1 мл 50 % водного раствора трихлоруксусной кислоты (ТХУ) и 40 мл 1N раствора хлорида калия (KCl). Колбы встряхивают на качалке в течение 5 минут и отфильтровывают почву через складчатые бумажные фильтры.

В мерные колбы объемом 50 мл вносят по 2 мл фильтрата, дистиллированную воду до половины объема колбы, по 2 мл 50 % раствора сегнетовой соли и по 2 мл реактива Несслера ( $K_2[HgI_4] + KOH$ ), перемешивая после внесения каждого реактива. Содержимое колб доводят до метки дистиллированной водой. В контрольные колбы вместо фильтрата вносят 2 мл воды.

Количество аммонийного азота ( $N-NH_4^+$ ) определяют колориметрически (против контроля) через 30 мин. после прибавления реактива Несслера при  $\lambda = 400$  нм (фиолетовый светофильтр), кювета 20 мм.

**Приготовление фосфатного буферного раствора.** Исходные растворы: 23,87 г  $Na_2HPO_4 \cdot 12H_2O$  в 1000 мл дистиллированной воды и 9,08 г  $KH_2PO_4$  в 1000 мл дистиллированной воды. Соотношение исходных растворов для приготовления 500 мл фосфатного буфера (pH 6,7): 216 мл раствора  $Na_2HPO_4$  и 284 мл раствора  $KH_2PO_4$ .

Расчет уреазной активности проводят по калибровочной кривой, составленной на чистый хлорид аммония, и выражают в мг аммонийного азота ( $N-NH_4^+$ ) на 1 кг почвы за 4 часа (37 °С). Активность уреазы =  $[(E_{\text{опыт}} - E_{\text{контр}}) \cdot K \cdot 30] / \text{навеска почвы (г)}$ , где K – коэффициент, вычисленный по калибровочному графику (0,14), 30 – разбавление;  $E_{\text{опыт}}$  – оптическая плотность опытного образца;  $E_{\text{контр}}$  – оптическая плотность контрольного образца.

**РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ**

В почвах присутствуют представители всех классов известных современной энзимологии ферментов. Наиболее значимую роль играют 2 класса – гидролитические и окислительные ферменты, выполняющие критические функции – минерализацию и гумификацию органических веществ [1, 8, 9].

Гидролитические ферменты обеспечивают ускоренное протекание сложных многостадийных процессов минерализации сложных по химическому составу органических соединений и высвобождение усвояемых элементов питания [1, 9, 13, 15]. По значимости можно выделить ключевые гидролитические ферменты, связанные с разложением наиболее распространенных в почве форм нахождения основных биогенных элементов, углерода и азота.

Активность гидролитических процессов в цикле углерода при разных способах основной обработки и удобрения дерново-подзолистых почв. Преобладающие формы органического углерода в почвах – это поли- и олигосахариды, их минерали-

зация – самый масштабный деструкционный процесс [9, 13, 15]. На этом основании интенсивность минерализации в цикле углерода целесообразно оценивать по гидролитической деградации поли- и олигосахаридов. В результате многостадийного гидролиза целлюлозы в почву поступают олигосахариды и низкомолекулярные сахара, усвояемые структурные единицы.

В почвенной энзимологии в качестве диагностических показателей активности многостадийных процессов минерализации используется активность ферментов завершающих стадий гидролиза [12, 14]. Для характеристики активности минерализации в цикле С наиболее объективным критерием является активность инвертазы, широко распространенной во всех типах почв. Аргументами в пользу применения инвертазной активности в качестве диагностического показателя являются ее критическая роль в высвобождении низкомолекулярных сахаров и тесная положительная корреляция с содержанием гумуса и водорастворимого органического вещества в почве (рис. 1, 2).

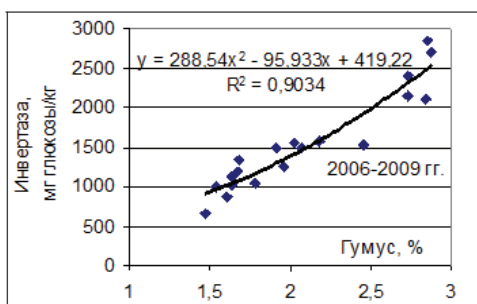


Рис. 1. Взаимосвязь активности инвертазы с содержанием гумуса в дерново-подзолистой супесчаной почве

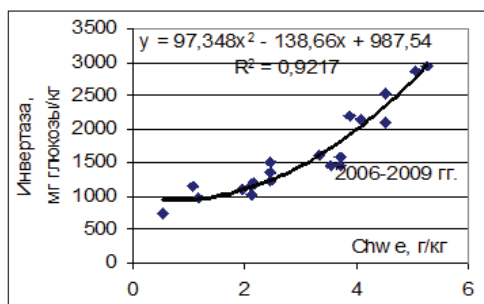


Рис. 2. Взаимосвязь активности инвертазы с водорастворимым ОР (C hwe), в дерново-подзолистой супесчаной почве

Проведены двухлетние биохимические исследования в стационарных полевых экспериментах на дерново-подзолистых супесчаной и легкосуглинистой почвах. Сравнительный анализ двухлетних экспериментальных данных по инвертазной активности позволяет отметить, что обработка почвы дискованием (8–12 см) активизирует процессы минерализации полисахаридов в цикле углерода на дерново-подзолистой супесчаной и легкосуглинистой почвах по сравнению с отвальной вспашкой (табл. 1–3).

В среднем за 2 года исследований наиболее высокие показатели активности инвертазы при отвальной вспашке и при дисковании регистрируются при использовании соломы в сочетании с КАС + NPK, биопрепаратом Жыцень, а также в сочетании с NPK на дерново-подзолистой супесчаной и легкосуглинистой почвах NPK (табл. 3).

Закономерности варьирования показателей инвертазной активности показывают, что способ основной обработки почвы более значимо активизирует минерализацию в цикле С на дерново-подзолистой супесчаной почве и менее значимо – на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве при одинаковой системе удобрения сельскохозяйственных культур (табл. 3).

Таблица 1

**Ферментативные показатели скорости минерализации в цикле углерода при разных способах обработки и удобрения дерново-подзолистых почв (2023 г.)**

Вариант	Дерново-подзолистая супесчаная почва		Дерново-подзолистая легкосуглинистая почва	
	вспашка (20 см)	дискование (8–12 см)	вспашка (20 см)	дискование (8–12 см)
	Инвертаза, мг глюкозы/кг почвы			
НПК	2019	2160	2957	3810
ПН КРС 40 т/га + РК	2200	2344	3052	3874
Солома + НПК	2354	2507	3141	4107
Солома + Жыцень + НПК	2551	2766	3880	4383
Солома + КАС + РК	2411	2500	3182	4050
НСП <sub>05</sub> фактор А (обработка)	94		86	
Фактор В (удобрения)	149		132	

Таблица 2

**Ферментативные показатели скорости минерализации в цикле углерода при разных способах обработки и удобрения дерново-подзолистых почв (2024 г.)**

Вариант	Дерново-подзолистая супесчаная почва		Дерново-подзолистая легкосуглинистая почва	
	вспашка (20 см)	дискование (8–12 см)	вспашка (20 см)	дискование (8–12 см)
	Инвертаза, мг глюкозы/кг почвы			
НПК	1392	1677	1570	1899
ПН КРС 60 т/га + НПК	1641	1749	1702	1971
Солома + НПК	1721	1843	1833	2106
Солома + Жыцень + НПК	1561	1774	1598	1795
Солома + КАС+ НПК	1748	2077	2134	2332
НСП <sub>05</sub> фактор А (обработка)	55		27	
Фактор В (удобрения)	87		44	

Таблица 3

**Ферментативные показатели скорости минерализации в цикле углерода при разных способах обработки и удобрения дерново-подзолистых почв (2023–2024 гг.)**

Вариант	Дерново-подзолистая супесчаная почва		Дерново-подзолистая легкосуглинистая почва	
	вспашка (20 см)	дискование (8–12 см)	вспашка (20 см)	дискование (8–12 см)
	Инвертаза, мг глюкозы/кг почвы			
НПК	1706	1919	2264	2855
ПН КРС + НПК	1921	2047	2377	2923
Солома + НПК	2038	2175	2487	3107
Солома + Жыцень + НПК	2056	2270	2739	3089
Солома + КАС + НПК	2080	2289	2658	3191
НСП <sub>05</sub> фактор А (обработка)	73		52	
Фактор В (удобрения)	103		98	

Установленные закономерности варьирования ферментативных показателей свидетельствуют, что способ основной обработки почвы оказывает более значимое действие на скорость минерализации полисахаридов в цикле углерода дерново-подзолистой супесчаной почвы и менее значимое – на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве при одинаковой системе удобрения сельскохозяйственных культур.

Влияние способа основной обработки дерново-подзолистых почв на активность гидролитических процессов в цикле азота. В цикле азота универсальным деградационным процессом является аммонификация, в результате которой азот, входящий в состав органических соединений, переходит в доступную форму. Известно, что основная часть почвенного азота находится в форме сложных органических соединений. На разных этапах многостадийного процесса аммонификации в почве функционируют специфические гидролитические ферменты. В результате действия протеолитических ферментов образуются полипептиды, пептиды и аминокислоты. На последующих этапах гидролиза, под действием амидогидролаз и дезаминаз, азот органических соединений переходит в минеральную форму. Таким образом, активность целого ряда гидролитических ферментов – протеаз, пептидаз, дезаминаз и амидогидролаз определяет динамику азота в почве [8, 9, 13, 15]. На завершающих стадиях процесса аммонификации, обеспечивающих непосредственное поступление в почву легкодоступного аммония, действуют гидролитические ферменты, амидогидролазы, к которым относится уреазы.

По результатам исследований Д. Г. Звягинцева, установлено, что в качестве диагностического показателя способности почвы накапливать минеральный азот наиболее целесообразно использовать активность ферментов завершающих стадий аммонификации, когда в почву поступает конечный продукт – аммоний [9, 12]. Важным аргументом в пользу применения уреазной активности в качестве ключевого диагностического показателя является ее критическая роль в высвобождении неорганического азота, который может быть непосредственно ассимилирован растениями и микроорганизмами.

Аргументами в пользу применения уреазной активности в качестве диагностического показателя являются ее критическая роль в высвобождении неорганического азота и тесная положительная корреляция с содержанием гумуса и водорастворимого органического вещества в почве (рис. 3, 4).

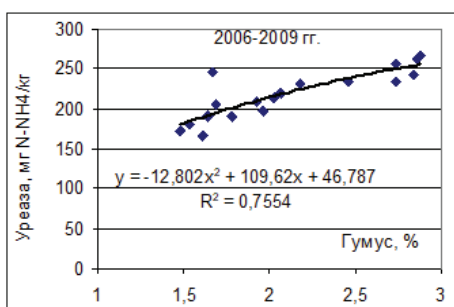


Рис. 3. Взаимосвязь активности уреазы с содержанием гумуса в дерново-подзолистой супесчаной почве

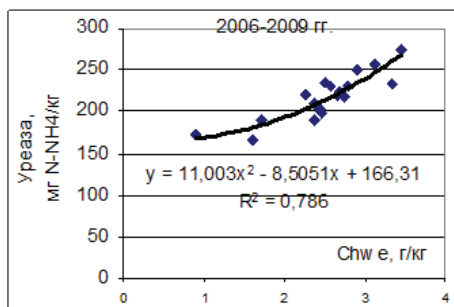


Рис. 4. Взаимосвязь активности уреазы с водорастворимым ОВ (С hwe), в дерново-подзолистой супесчаной почве

На основании сравнительного анализа двухлетних экспериментальных данных по уреазной активности установлено влияние способа основной обработки дерново-подзолистых почв и удобрения на активность гидролитических процессов в цикле азота (табл. 4–6).

Таблица 4

**Ферментативные показатели скорости минерализации в цикле азота при разных способах обработки дерново-подзолистых почв (2023 г.)**

Вариант	Дерново-подзолистая супесчаная почва		Дерново-подзолистая легкосуглинистая почва	
	вспашка (20 см)	дискование (8–12 см)	вспашка (20 см)	дискование (8–12 см)
	Уреаза, мг N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> /кг почвы			
НПК	232	264	251	269
ПН КРС + НПК	262	274	259	259
Солома + НПК	256	253	246	242
Солома + Жыцень + НПК	255	257	235	232
Солома + КАС + НПК	264	281	238	252
НСП <sub>05</sub> фактор А (обработка)	6		3	
Фактор В (удобрения)	7		5	

Таблица 5

**Ферментативные показатели скорости минерализации в цикле азота при разных способах обработки дерново-подзолистых почв (2024 г.)**

Вариант	Дерново-подзолистая супесчаная почва		Дерново-подзолистая легкосуглинистая почва	
	вспашка (20 см)	дискование (8–12 см)	вспашка (20 см)	дискование (8–12 см)
	Уреаза, мг N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> /кг почвы			
НПК	146	156	165	196
ПН, 40т/га + НПК	195	201	230	240
Солома + НПК	147	153	204	219
Солома + Жыцень + НПК	148	164	185	203
Солома + КАС + НПК	159	178	210	228
НСП <sub>05</sub> фактор А (обработка)	3		3	
Фактор В (удобрения)	4		5	

Таблица 6

**Ферментативные показатели скорости минерализации в цикле азота при разных способах обработки дерново-подзолистых почв (2023–2024 гг.)**

Вариант	Дерново-подзолистая супесчаная почва		Дерново-подзолистая легкосуглинистая почва	
	вспашка (20 см)	дискование (8–12 см)	вспашка (20 см)	дискование (8–12 см)
	Уреаза, мг N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> /кг почвы			
НПК	189 (100 %)	210 (100 %)	208 (100 %)	231 (100 %)
ПН КРС + НПК	229 (121 %)	238 (113 %)	245 (118 %)	250 (108 %)
Солома + НПК	190 (101 %)	213 (101 %)	225 (108 %)	233 (101 %)
Солома + Жыцень + НПК	202 (107 %)	212 (101 %)	210 (101 %)	238 (103 %)
Солома + КАС + НПК	212 (112 %)	230 (110 %)	224 (108 %)	240 (104 %)



Применение минеральных удобрений, подстилочного навоза КРС и соломы стимулирует процессы минерализации в цикле азота на дерново-подзолистых супесчаной и легкосуглинистой почвах при использовании отвальной вспашки (20 см) и дискования (8–12 см).

Минимизация основной обработки дерново-подзолистых почв за счет применения дискования приводит к повышению активности минерализации азотсодержащих органических соединений в цикле N: на 10–13 % на дерново-подзолистой супесчаной почве и на 4–8 % на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве по сравнению с вариантом NPK (табл. 6).

В среднем за 2 года исследований наиболее высокие показатели уреазной активности как при отвальной вспашке, так и при дисковании регистрируется на вариантах с внесением подстилочного навоза КРС в сочетании с NPK на дерново-подзолистой супесчаной и легкосуглинистой почвах NPK.

Закономерности варьирования показателей уреазной активности показывают, что способ основной обработки почвы более значимо действует на активность минерализации в цикле азота в дерново-подзолистой супесчаной почве и менее значимо – в дерново-подзолистой легкосуглинистой почве при одинаковой системе удобрения сельскохозяйственных культур.

Анализ двухлетних экспериментальных данных по уреазной активности показал, что минимизация обработки почвы за счет применения дискования (8–12 см) вместо вспашки активизирует минерализационные процессы в цикле азота. Наиболее активное протекание процессов аммонификации обеспечивает применение подстилочного навоза КРС в сочетании с NPK.

## ВЫВОДЫ

Проведена оценка активности гидролитических ферментов в циклах углерода и азота при разных способах основной обработки и удобрения дерново-подзолистых супесчаной и легкосуглинистой почв. Активность гидролитических ферментов инвертазы и уреазы служит диагностическим показателем скорости процессов разложения полисахаридов и органических азотсодержащих соединений, в результате которых высвобождаются моносахариды и минеральный азот, доступные для растений и почвенной микрофлоры. Сравнительный анализ двухлетних экспериментальных данных показал, что минимизация основной обработки дерново-подзолистых почв за счет применения дискования (8–12 см) стимулирует минерализацию в циклах углерода и азота. Применение минеральных удобрений, подстилочного навоза КРС, соломы в сочетании с NPK, КАС и биопрепаратом жыцень также усиливает процессы минерализации в циклах C и N на дерново-подзолистых супесчаной и легкосуглинистой почвах. Наиболее высокий уровень инвертазной активности (цикл C) отмечается при использовании соломы в сочетании с NPK, КАС и биопрепаратом жыцень; уреазной активности (цикл N) – при внесении подстилочного навоза КРС в сочетании с NPK. Закономерности варьирования показателей инвертазной и уреазной активности показывают, что способ основной обработки почвы более значимо действует на активность минерализации в циклах C и N в дерново-подзолистой супесчаной почве и менее значимо – в дерново-подзолистой легкосуглинистой почве при одинаковой системе удобрения сельскохозяйственных культур.



## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Купревич, В. Ф. Почвенная энзимология / В. Ф. Купревич, Т. А. Щербакова. – Минск : Наука и техника, 1966. – 274 с.
2. Skujins, J. History of abiotic soil enzyme research / J. Skujins In: R.G. Burns, Editor // *Soil Enzymes*, Academic Press, New York (1978). – P. 1–49.
3. McLaren, A. D. Soil as a system of humus and clay immobilized enzymes / A. D. McLaren // *Chemica Scripta*. – 1975. – Vol. 8. – P. 97–99.
4. Ladd, J. N. Origin and range of enzymes in soil / J. N. Ladd // *Soil Enzymes*; Ed. R. G. Burns. – Academic Press, London, 1978. – P. 51–96.
5. Tabatabai, M. A. Enzymes / M. A. Tabatabai // *Methods of soil analysis. Part 2. Microbiological and biochemical properties* / Eds. R. W. Weaver [et al.]. – Soil Science Society of America, Madison, 1994. – P. 775–833.
6. Boyd, S. A. Enzyme interactions with clays and clay-organic matter complexes / S. A. Boyd, M. M. Mortland // *Soil Biochemistry*. – New York: Marcel Dekker, 1990. – P. 1–28.
7. Dick, R. P. Enzymes in the Environment: Activity, Ecology & Applications / R. P. Dick // Granada, Spain, 1999. – P. 164.
8. Звягинцев, Д. Г. Биологическая активность почв и их диагностика / Д. Г. Звягинцев // *Проблемы и методы биологической диагностики и индикации почв*. – М. : Наука, 1976. – С. 175–190.
9. Звягинцев, Д. Г. Биология почв / Д. Г. Звягинцев, И. Л. Бабьева, Г. М. Зенова. – МГУ, 2005. – 445 с.
10. Dick, R. P. Soil enzyme activities as indicators of soil quality / R. P. Dick // *Defining Soil Quality for a Sustainable Environment*; Eds. J. W. Doran [et al.]. – Soil Science Society of America, Madison, 1994. – P. 107–124.
11. Speir, T. W. Hydrolytic Enzyme Activities to Assess Soil Degradation and Recovery / T. W. Speir, D. J. Ross // *Enzymes in the environments: activity, ecology and applications*; Eds. R. G. Burns, R. P. Dick. – 2002. – P. 407–431.
12. Звягинцев, Д. Г. Биологическая активность почв и шкалы для оценки некоторых ее показателей / Д. Г. Звягинцев // *Почвоведение*. – 1978. – № 6. – С. 48–52.
13. Щербакова, Т. А. Ферментативная активность почв и трансформация органического вещества / Т. А. Щербакова. – Минск : Наука и техника, 1983. – 221 с.
14. Хазиев, Ф. Х. Методы почвенной энзимологии / Ф. Х. Хазиев. – М. : Наука, 1990. – 189 с.
15. Карягина, Л. А. Микробиологические основы повышения плодородия почв / Л. А. Карягина. – Минск : Наука и техника, 1983. – 182 с.

**ACTIVITY OF HYDROLYTIC PROCESSES IN C AND N CYCLES  
UNDER DIFFERENT METHODS OF BASIC SOIL TILLAGE AND  
FERTILIZATION**

**N. A. Mikhailouskaya, T. M. Seraya, E. N. Bogatyreva, S. V. Djusova**

**Summary**

Experimental data on hydrolytic enzymes (invertase and urease) activities have shown that minimization of basic tillage of Luvisol sandy soil and Luvisol light loamy soil as well as application of mineral fertilizers, litter manure of cattle, straw with NPK,

CAS and biopreparation Zyten resulted in stimulation mineralization possesses in C and N cycles as compared with moldboard plowing. High levels of invertase (cycle C) activity were observed under application of straw with NPK, CAS and biopreparation Zyten. High levels of urease (cycle N) activity was observed under application of litter manure of cattle with NPK. Method of basic tillage more intensive effect on mineralization activity in C and N cycles in Luvisol sandy soil as compared with Luvisol light loamy soil under similar fertilization.

*Поступила 21.11.24*

УДК 631.8:633.33:631.442

## **ЭФФЕКТИВНОСТЬ СИСТЕМ УДОБРЕНИЯ КОРМОВЫХ БОБОВ НА ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ СУПЕСЧАНОЙ ПОЧВЕ**

**Т. М. Серая, Е. Н. Богатырева, А. Л. Новик, Т. М. Кирдун,  
Ю. А. Симанкова, А. М. Устинова, М. М. Торчило**

*Институт почвоведения и агрохимии, г. Минск, Беларусь*

### **ВВЕДЕНИЕ**

Одной из важнейших проблем животноводства Республики Беларусь является дефицит растительного белка в кормовом рационе. В 1 кормовой единице по нормам должно содержаться 105–115 г сырого белка. Фактически содержание белка в кормах, заготавливаемых в Беларуси, составляет 75–80 г/к. е., или около 75 % нормы, что приводит к значительному перерасходу зерновых культур или другого корма с невысоким содержанием белка [1–4].

Большой интерес в качестве источника протеина представляют кормовые бобы с содержанием сырого белка в зерне, в зависимости от сорта, погодных условий и технологии возделывания, от 25 до 35 %. Кормовые бобы относятся к биологически ценным кормам. В 1 кг зерна содержится 1,16–1,29 кормовых единиц и 230–300 г переваримого протеина. В белке семян бобов основную часть (50–78 %) занимает водорастворимая фракция. Переваримость зерна составляет 86 %, зеленой массы – 72 %. В протеине бобов содержатся ценные аминокислоты (тирозин, триптофан, лизин, аргинин, гистидин, метионин), водорастворимые углеводы и сравнительно немного антипитательных веществ (гликозидов, танинов, ингибиторов, протеаз), большое количество минеральных веществ (калий, натрий, кальций, фосфор, магний, железо, сера, марганец, кобальт, медь, цинк). Семена богаты витаминами С, В1, В2, РР, Е, ниацином, рибофлавином, каротином, аскорбиновой кислотой, тиамин [4–6].

Кормовые бобы обладают высоким потенциалом урожайности, характеризуясь довольно большими её колебаниями. Стабильность урожая зависит от биологических особенностей сорта, его адаптации к определенным условиям, технологии возделывания [4, 7].