

Александр Анатольевич Белоусов

Красноярский государственный аграрный университет, доцент кафедры почвоведения и агрохимии, кандидат биологических наук, доцент, Красноярск, Россия

E-mail: svoboda57130@mail.ru

Елена Николаевна Белоусова

Красноярский государственный аграрный университет, доцент кафедры почвоведения и агрохимии, кандидат биологических наук, доцент, Красноярск, Россия

E-mail: svobodalist571301858@mail.ru

**ВЛИЯНИЕ ПРОЦЕССА ПЕРЕХОДА В ЗАЛЕЖЬ
НА ФЕРМЕНТАТИВНУЮ АКТИВНОСТЬ ПОЧВ СРЕДНЕЙ СИБИРИ**

Цель работы: исследовать ферментативную активность почв в процессе их перехода из агроценозов в залежь. Исследования проводились в пределах трех ландшафтных зон Средней Сибири: на территории землепользования ТОО «Зареченское» Тюхтетского района Красноярского края (56°32' с.ш. и 89°18' в.д.). Объект исследования – почва дерново-глубокоподзолистая поверхностно слабogleеватая легкосуглинистая; на полевом стационаре УНПК «Борский» (56°26' с.ш. и 92°54' в.д.). Объект исследования – почва чернозем выщелоченный среднемощный среднегумусный тяжелосуглинистый; в зоне сухих степей Минусинской котловины Усть-Абаканского района (53°77' с.ш. и 91°30' в.д.). Объект исследования – почва темно-каштановая карбонатная маломощная супесчаная. Рассмотрены параметры ферментативной активности почв в агроценозах, а также процессе перехода их в залежь. Выявлены невысокие значения активности ферментов каталазы и инвертазы в дерново-подзолистой почве вне зависимости от характера использования. К окончанию вегетационного сезона на дерново-подзолистой почве каталитическая активность снижалась, а использование сидератов способствовало гидролизу углеводов на уровне активности почвы залежного участка. В черноземе выщелоченном к окончанию вегетационных сезонов на агроценозах каталитическая активность существенно выше на участке залежи. Уровень активности каталазы оценивался средним уровнем в сравнении с дерново-подзолистой почвой. На темно-каштановой почве под залежью и в условиях сидерации каталитическая активность характеризовалась статистически равнозначным уровнем. Использование рапса в качестве сидерата на темно-каштановой почве значительно увеличивает ее инвертазную активность.

Ключевые слова: залежь, агроценоз, ферментативная активность, каталаза, инвертаза, влажность почвы.

Alexander A. Belousov

Krasnoyarsk State Agrarian University, Associate Professor at the Department of Soil Science and Agrochemistry, Candidate of Biological Sciences, Associate Professor, Krasnoyarsk, Russia

E-mail: svoboda57130@mail.ru

Elena N. Belousova

Krasnoyarsk State Agrarian University, Associate Professor at the Department of Soil Science and Agrochemistry, Candidate of Biological Sciences, Associate Professor, Krasnoyarsk, Russia

E-mail: svobodalist571301858@mail.ru

FALLOW LANDS TRANSITION EFFECT ON ENZYMATIC ACTIVITY OF CENTRAL SIBERIA SOILS

The purpose of research is to study the enzymatic activity of soils in the process of their transition from agrocenoses to fallow lands. The study was carried out within three landscape zones of Central Siberia: on the land-use territory of Zarechenskoye LLP in the Tyukhtet District of the Krasnoyarsk Region (56°32' N and 89°18' E). The object of the study is soddy-deep podzolic soil, superficially slightly gleyy, light loamy; at the field station of the UNPK "Borskiy" (56°26' N and 92°54' E). The object of research is soil leached chernozem medium thick medium humus heavy loamy; in the zone of dry steppes of the Minusinsk depression of the Ust-Abakan District (53°77' N and 91°30' E). The object of research is the dark chestnut calcareous thin sandy loam soil. The parameters of the enzymatic activity of soils in agrocenoses, as well as the process of their transition to fallow, are considered. Low values of the activity of enzymes catalase and invertase in sod-podzolic soil, regardless of the nature of use are revealed. By the end of the growing season, the catalytic activity on the soddy-podzolic soil decreased, and the use of green manure promoted the hydrolysis of carbohydrates at the level of soil activity in the fallow area. In the leached chernozem by the end of the growing seasons on agrocenoses, the catalytic activity is significantly higher in the area of the fallow. The level of catalase activity was estimated as an average level in comparison with sod-podzolic soil. On the dark chestnut soil under fallow and green manure conditions, the catalytic activity was characterized by a statistically equivalent level. The use of rapeseed as a green manure on dark chestnut soil significantly increases its invertase activity.

Key words: fallow land, agrocenosis, enzymatic activity, catalase, invertase, soil moisture.

Введение. Устойчивость почв к различным воздействиям определяется их способностью возвращаться к нормальному функционированию и противостоять различным стрессам [1]. Познание механизмов устойчивости почв является необходимым для поиска путей сохранения биосферы и предотвращения возрастающих за последние десятилетия негативных антропогенных воздействий. Проблема залежей многогранна и касается политических, экономических и юридических аспектов использования земель [2]. Определение направленности и скорости процессов изменения (динамики) плодородия почв залежных земель представляется актуальным, так как в будущем они могут быть снова вовлечены в сельскохозяйственное использование [3]. Исследований, направленных на изучение функционирования залежных земель, недостаточно. Имеющиеся фактические данные, как правило, представлены информацией о содержании гумуса, основных элементов питания, о фитосанитарном состоянии и физико-химических показателях. Однако практически отсутствуют сведения о действительной биогенности почв, находящихся в залежи или в процессе перехода в нее.

Цель работы. Исследовать ферментативную активность почв в процессе их перехода из агроценозов в залежь.

Объекты и методы. Исследования проводились в пределах трех ландшафтных зон Приенисейской Сибири. 1 – зона травяных лесов Ачинского округа на территории землепользования ТОО «Зареченское» Тюттетского района (56°32' с.ш. и 88°18' в.д.). Объект исследования – почва дерново-глубокоподзолистая поверхностно слабogleеватая легкосуглинистая. 2 – Красноярская лесостепь на полевом стационаре УНПК «Борский», расположенном на территории Сухобузимского района в пределах Чулымо-Енисейского денудационного плато юго-западной окраины Средней Сибири (56°26' с.ш. и 92°54' в.д.). Объект исследования – почва чернозем выщелоченный среднемощный среднегумусный тяжелосуглинистый. 3 – зона сухих степей Минусинской котловины Усть-Абаканского района (53°77' с.ш. и 91°30' в.д.). Объект исследования – почва темно-каштановая карбонатная маломощная супесчаная. Основные агрономические свойства представлены в таблице 1.

Агрохимические свойства исследуемых почв

Горизонт, глубина, см	Гумус, %	Валовое содержание, %		Обменные основания		H _r	S	pH		Сумма частиц, %	
		N	P ₂ O ₅	Ca ²⁺	Mg ²⁺			KCl	H ₂ O	<0,001	<0,01
Дерново-подзолистая											
A ₁ 0-18	1,7	0,17	-	5,0	1,2	2,2	10,1	4,5	5,3	11,8	26,5
A ₂ 18-40	1,8	0,10	-	3,8	1,0	1,9	9,2	4,3	5,1	13,9	27,5
Чернозем выщелоченный											
A _{пах} 0-20	9,7	0,51	0,21	34	12,0	-	46,0	5,9	6,5	36,0	57,0
A 20-30	9,2	0,40	0,35	38	14,0	-	52,0	5,8	6,5	36,0	58,0
Темно-каштановая											
A _п 0-25	4,8	0,28	0,001	17,0	4,8	-	21,8	-	7,1	10,8	26,2
B 27-49	2,1	0,15	0,090	-	-	-	-	-	7,3	10,1	27,0

Схема опыта представлена следующими вариантами. На дерново-подзолистой почве: 1. Залежь. 2. Чистый пар. 3. Сидератный пар (горох+овес). На черноземе выщелоченном: 1. Залежь. 2. Сидератный пар (горох+овес). 3. Пшеница. На темно-каштановой почве: 1. Залежь. 2. Рапс. Почвенные образцы отбирали из слоя 0–5 и 5–35 см на залежных массивах и из слоя 0–20 см в агроценозах в четырехкратной повторности в течение двух вегетационных сезонов. Ферментативную активность почв определяли по [4]. Статистическую обработку данных проводили с использованием программы Statistica.

Результаты исследований и их обсуждение. Окружающая человека среда поддерживается в стабильном состоянии благодаря метаболизму глобальной экосистемы (биосферы) – циклическому механизму ее функционирования [5]. Целесообразность поведения биологических систем заключается в их

стремлении к повышению организованности, совершенствованию внутренней структуры, надежности функционирования системы [6]. Такую информацию мы получаем через данные о ферментативной активности почвы. Важная роль ферментов заключается еще и в том, что они осуществляют функциональные связи между компонентами экосистемы. А ферментативная активность в целом отражает функциональное состояние живого населения почвы. Например, каталаза играет ответственную роль в гетеротрофном синтезе колоссального числа органических соединений. Авторы также считают, что отсутствие каталазы в почве несовместимо с ее пригодностью для поселения и развития обширных групп живых существ.

Рассмотрим уровень активности ферментов и ее изменчивость в агробиогеоценозах дерново-подзолистой почвы (табл. 2).

Таблица 2

Ферментативная активность дерново-подзолистой почвы ($t_r = 2,36$)

Вариант	Каталаза, см ³ O ₂ /1г/1 мин			Инвертаза, мг глюкозы/1 г		
	Июль 1-й год	Июль 2-й год	Август 2-й год	Июль 1-й год	Июль 2-й год	Август 2-й год
1. Залежь, 0–5 см	3,8*	2,9	2,0	5,6*	4,5	3,0
2. Залежь, 5–35 см	2,8	2,9	1,4	7,8*	7,9	9,3*
3. Чистый пар	2,3*	2,6	1,5	4,1*	3,5	3,0
4. Сидератный пар	2,9	3,0	1,6	6,8*	8,5*	8,0
НСР ₀₅	0,3	0,2	0,2	0,5	0,7	0,6

*здесь и далее: достоверная разница в динамике.

Согласно шкале [7], каталитическая активность почвы соответствовала слабому уровню за исключением залежного участка в июле первого года наблюдений. В слое 0–5 см здесь наблюдался средний уровень, который значимо снижался к следующему вегетационному сезону. Предполагаем, что низкий уровень активности прежде всего обусловлен дефицитом органического вещества в дерново-подзолистой почве (см. табл. 1) и ее значительной уплотненностью – 1,4 г/см³. В целом, рассматривая уровень активности каталазы за годы исследований, можно проследить тенденцию ее снижения к концу вегетационных сезонов. Отмеченная закономерность наблюдалась в почве всех анализируемых вариантов. По-видимому, в этот период на активность каталазы большее влияние оказывали экологические факторы среды, нежели свойства почвы, в том числе запасы органического вещества. Результаты корреляционного анализа выявили слабую зависимость активности каталазы от влажности почвы ($r = -0,12 \dots -0,44$) в первой половине вегетационного сезона. К августу связь усиливалась до $r = 0,68$, что, вероятно, обусловлено торможением микробиологической активности.

Важнейшим звеном круговорота углерода в природе является стадия ферментативного превращения углеводов в почвенной среде [8]. Очевидно, что агроэкологические воздействия, приводящие к изменению физико-химического и биологического состояния почв, оказывают влияние на активность ферментов углеводного обмена [9]. Гидролитический фермент инвертаза стимулирует расщепление углеводов в почве. Ее активность практически напрямую определяет направленность и скорость превращений органического вещества. Изменение состава фито- и микробоценозов при сельскохозяйственном использовании почвы приводит, с одной стороны, к уменьшению количества поступающего в почву растительного материала, с другой – изменяет характер продуцирования ферментов, в котором принимают участие как растения, так и почвенные микроорганизмы [10].

Наши исследования на дерново-подзолистой почве в целом подтвердили обозначенные за-

кономерности (см. табл. 2). Почва под залежью на глубине 5–35 см достоверно превосходила по активности инвертазы слой 0–5 см, а также почву из-под чистого пара. В первом случае мы наблюдали отсутствие ризосферного эффекта. В слое 0–5 см, по нашим наблюдениям, корни выглядели как «трубочки» без разветвлений и корневых волосков. С глубиной происходило распространение более мощной корневой сетки. Также наблюдался постоянный в подобных исследованиях факт: дерново-подзолистая почва под чистым паром проявляла самую низкую активность инвертазы.

Заделка зеленой массы сидератных культур сопровождалась усилением инвертазной активности до уровня почв залежи в слое 5–35 см. Следовательно, дерново-подзолистая почва под сидератами не уступала в способности к трансформации углеводов, что подтверждает сведения о доминировании активности ферментов в почвах, подвергающихся элементам биологического земледелия. По сведениям [11], запашка сидератов способствует увеличению численности аэробных целлюлозоразрушающих микроорганизмов в связи с образованием субстрата для их функционирования. Слабая концентрация инвертазы в почве парового поля свидетельствовала, наряду с другими фактическими данными, о нерациональности и неэффективности использования его в структуре севооборотов агроландшафтов на дерново-подзолистых почвах.

Таким образом, в зависимости от характера и степени дальнейшего использования почв антропогенных ландшафтов на дерново-подзолистых почвах активность биохимических процессов изменяется. Использование биологических факторов плодородия способствует активизации гидролитических ферментов.

Данные по уровню каталазной и инвертазной активности чернозема выщелоченного представлены в таблице 3. Уровень активности каталазы соответствовал среднему и характеризовался более высокими параметрами относительно дерново-подзолистой почвы.

Ферментативная активность чернозема выщелоченного ($t_T = 2,36$)

Вариант	Каталаза, см ³ O ₂ /1 г/1 мин			Инвертаза, мг глюкозы/1 г		
	Июль 1-й год	Июль 2-й год	Август 2-й год	Июль 1-й год	Июль 2-й год	Август 2-й год
1. Залежь, 0–5 см	4,0	2,7	2,4	16,9	13,4	9,1
2. Залежь, 5–35 см	4,6	3,8	2,0	23,3	31,8	28,0
3. Сидератный пар	4,2	3,7	6,7*	20,4	25,2	24,0
4. Пшеница	4,4	4,1	6,5*	12,4	15,2	14,6
НСР ₀₅	0,4	0,3	0,8	3,6	4,1	4,8

Какие же подобию можно отметить в результатах активности между исследуемым черноземом и дерново-подзолистой почвой? Во-первых, в условиях залежи активность каталазы в июле выше, чем в августе. Во-вторых, почва агроценозов значимо не уступала залежной в уровне активности. Более того, в черноземе выщелоченном под посевами яровой пшеницы и сидератной культурой рапсом активность каталазы существенно повышалась к августу. Следовательно, вовлечение черноземной почвы в пашню может сопровождаться существенным ростом каталитической активности, а при переходе в залежь ее частичной инактивацией. По-видимому, каталаза в условиях исследуемых почв в большей степени лимитируется азирруемостью, чем корневой биомассой. Положительный ли это факт – тенденция к спаду каталитической активности в условиях залежи? Напомним, что за каталитическую активность фермента ответственны не только активный центр, но и вся структура молекулы в целом. Скорость ферментативной реакции регулируется множеством факторов: температурой, рН, концентрацией фермента и субстрата, наличием активаторов и ингибиторов. В роли активаторов могут выступать органические соединения, но чаще различные микроэлементы [12]. Отсюда в почве исследуемых залежных земель складываются условия, неблагоприятные для

формирования вредной для микроорганизмов и растений перекиси водорода. Поэтому концентрация каталазы здесь, как ответная реакция на агрессивный субстрат, незначительна.

В черноземе выщелоченном мы наблюдали значительный рост инвертазной активности, соответствовавший среднему уровню (см. табл. 3). Сравнимые слои залежи отличались активностью с доминированием в слое 5–35 см, что коррелирует с данными каталазной активности. Обращает на себя внимание существенный рост активности инвертазы в слое 5–20 см под залежью относительно агроценозов. Вероятно, обогащенный видовой состав разнотравья с учетом ризосферного эффекта положительно повлиял на формирование субстрат-ферментных комплексов в верхнем слое чернозема выщелоченного на залежном участке. Существенно меньшей активностью оценивалась инвертаза в почве под яровой пшеницей. Предполагаем, что инвертазная активность на черноземе при переходе в залежь возрастала, по-видимому, являясь следствием деятельности ризосферной микрофлоры и корневых экссудатов.

Каталазная активность темно-каштановой почвы соответствовала среднему. Между почвой под залежью и участком с сидератом рапсом статистически достоверных различий не выявлено (табл. 4).

Таблица 4

Ферментативная активность темно-каштановой почвы ($t_T = 2,36$)

Вариант	Каталаза, см ³ O ₂ /1 г/1 мин	Инвертаза, мг глюкозы/1 г
1. Залежь	3,8	17,1
2. Рапс	3,6	24,9*
	$t_\phi < t_T$	$t_\phi > t_T$

Данные об инвертазной активности свидетельствуют, что в период дефицита влаги она характеризовалась максимальными значениями на участке с сидератной культурой рапсом. Данное обстоятельство, на наш взгляд, связано с отзывчивостью каштановых почв на сидерацию и незначительной корневой биомассой трав на залежном участке. Таким образом, использование рапса в качестве сидерата значительно повышает уровень инвертазной активности почв лесостепной и степной зон.

Выводы

1. При смене землепользования в ряду пашня – многолетняя залежь наблюдается снижение каталазной активности дерново-подзолистой почвы. Уровень активности каталазы чернозема выщелоченного существенно превышает дерново-подзолистую почву. Сельскохозяйственное воздействие сопровождается значительным ростом каталитической активности черноземной почвы. При переходе в залежь уровень активности падает.

2. Сидерация дерново-подзолистой почвы обеспечивает гидролиз углеводов на уровне, соответствующем чернозему выщелоченному. Инвертазная активность на черноземе при переходе в залежь возрастает.

Список источников

1. Федоров А.С. Устойчивость почв к антропогенным воздействиям. СПб.: Изд-во СПбГУ, 2008. 201 с.
2. Анциферова О.А. Залежная стадия плодородия степных и лесных почв (прошлое и настоящее) // Почвоведение: история, социология, методология. М.: Наука, 2005. С. 385–389.
3. Морковкин Г.Г. Проблемы устойчивого функционирования агроландшафтов в условиях умеренно засушливой и колючной степи Алтайского края / Е.А. Литвиненко // Аграрная наука – сельскому хозяйству: сб. ст. VI Междунар. науч.-практ. конф. Барнаул: Изд-во АГАУ, 2011. Кн. 2. С. 182–186.
4. Хазиев Ф.Х. Методы почвенной энзимологии. М.: Наука, 2005. 250 с.
5. Керженцев А.С. Функциональная экология. М.: Наука, 2006. 259 с.

6. Зинченко М.К. Ферментативные процессы в серых лесных почвах Верхневолжья. Суздаль; Иваново: ПреСсто. 2019. 140с.
7. Казеев К.Ш., Колесников С.И. Биодиагностика почв: методология и методы исследований. Ростов-н/Д: Изд-во ЮФУ, 2012. 260 с.
8. Зинченко М.К. Ферментативные процессы в почвах Верхневолжья: монография / Верхневолжский ФАНЦ. Иваново: ПреСсто, 2019. 140 с.
9. Хазиев Ф.Х. Экологические связи ферментативной активности почв // Экобиотех. 2018. № 2. Т. 1. С. 80–92.
10. Зинченко М.К., Винокуров И.Ю. Влияние природных и антропогенных факторов на ферментативную активность серой лесной почвы // Системы интенсификации земледелия как основа инновационной модернизации аграрного производства. Суздаль, 2016. 228–235 с.
11. Полонская Д.Е. Микробиологический мониторинг состояния экосистем земледельческой части Красноярского края: автореф. дис. ... д-ра с.-х. наук. Красноярск, 2002.
12. Поволоцкая Ю.С. Общее представление о почвенных ферментах // Международный журнал гуманитарных и естественных наук. 2020. № 1-1(40). С. 21–23.

References

1. Fedorov A.S. Ustojchivost' pochv k antropogennym vozdeystviyam. SPb.: Izd-vo SPbGU, 2008. 201 s.
2. Anciferova O.A. Zalezhnaya stadiya plodородiya stepnyh i lesnyh pochv (proshloe i nastoyashee) // Pochvovedenie: istoriya, sociologiya, metodologiya. M.: Nauka, 2005. S. 385–389.
3. Morkovkin G.G. Problemy ustojchivogo funkcionirovaniya agrolandshaftov v usloviyah umerenno zasushlivoj i kolochnoj stepi Altajskogo kraja / E.A. Litvinenko // Agrarnaya nauka – sel'skomu hozyajstvu: sb. st. VI Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. Barnaul: Izd-vo AGAU, 2011. Kn. 2. S. 182–186.
4. Haziev F.H. Metody pochvennoj `enzimologii. M.: Nauka, 2005. 250 s.
5. Kerzhencev A.S. Funkcional'naya `ekologiya. M.: Nauka, 2006. 259 s.

6. *Zinchenko M.K.* Fermentativnye processy v seryh lesnyh pochvah Verhnevolzh'ya. Suzdal'; Ivanovo: PreSsto. 2019. 140s.
7. *Kazeev K.Sh., Kolesnikov S.I.* Biodiagnostika pochv: metodologiya i metody issledovaniy. Rostov-n/D: Izd-vo YuFU, 2012. 260 s.
8. *Zinchenko M.K.* Fermentativnye processy v pochvah Verhnevolzh'ya: monografiya / Verhnevolzhskij FANC. Ivanovo: PreSsto, 2019. 140 s.
9. *Haziev F.H.* `Ekologicheskie svyazi fermentativnoj aktivnosti pochv // `Ekobioteh. 2018. № 2. Т. 1. S. 80–92.
10. *Zinchenko M.K., Vinokurov I.Yu.* Vliyanie prirodnyh i antropogennyh faktorov na fermentativnyuyu aktivnost' seroj lesnoj pochvy // Sistemy intensivatsii zemledeliya kak osnova innovatsionnoj modernizatsii agrarnogo proizvodstva. Suzdal', 2016. 228–235 s.
11. *Polonskaya D.E.* Mikrobiologicheskij monitoring sostoyaniya `ekosistem zemledel'cheskoj chasti Krasnoyarskogo kraja: avtoref. dis. ... d-ra s.-h. nauk. Krasnoyarsk, 2002.
12. *Povolockaya Yu.S.* Obschee predstavlenie o pochvennyh fermentah // Mezhdunarodnyj zhurnal gumanitarnykh i estestvennykh nauk. 2020. № 1-1(40). S. 21–23.

