

УДК 631.445.24: 631.42

АГРОХИМИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА И БИОЛОГИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ПЛОДОРОДИЯ ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ ПОЧВЫ РАЗЛИЧНЫХ ФИТОЦЕНОЗОВ

Нина Егоровна Завьялова

Заведующая аналитической лабораторией, д. б. н.; e-mail: nezavyalova@gmail.com

*Пермский научно-исследовательский институт сельского хозяйства ПФИЦ УрО РАН
614532, Пермский край, Россия, Лобаново, ул. Культуры, д. 12*

*Показано изменение агрохимических свойств дерново-подзолистой почвы при смене лесного фитоценоза на луговой и полевой. Выявлено снижение кислотности почвы от pH_{KCl} 4,2 под смешанным лесом до pH_{KCl} 5,2 в почве севооборота. Содержание гумуса в слое почвы 0–20 см было максимальным (2,49%) в почве под козлятником восточным (*Galega orientalis*) 1988 г. посева. Наибольшее содержание азота (2660 мг/кг почвы) наблюдалось в почве под лесом, фосфора (290 мг P_2O_5 /кг почвы) – под злаково-разнотравным лугом. Установлена тесная корреляционная связь между содержанием подвижного углерода в почве и уровнем pH_{KCl} . Наиболее высокие значения показателей биологической активности выявлены в почве севооборота (в посеве клевера 1-го года пользования) в варианте без удобрений, где нитрифицирующая способность достигала 34,3 мг $N-NO_3^-$ /кг, степень разложения льняного полотна – 40,4 %. Каталазная и фосфатазная активность дерново-подзолистой почвы исследуемых фитоценозов по шкале Д.Г.Звягинцева соответствовали градации «бедная».*

Ключевые слова: дерново-подзолистая почва, фитоценозы, агрохимические свойства, ферментативная, нитрифицирующая и целлюлозолитическая активность.

Основу пахотных земель в Пермском крае составляют дерново-подзолистые почвы с низким естественным уровнем плодородия. Они характеризуются недостаточным содержанием элементов питания, повышенной кислотностью, слабой гумусированностью, неблагоприятными физико-химическими и биологическими свойствами [1, 2]. При окультуривании целинные дерново-подзолистые почвы утрачивают свои специфические черты. Смена (замещение) природных ценозов культурными растениями резко изменяет условия обитания микроорганизмов в почве и создает условия для развития богатого и разнообразного микробного сообщества. Установлено, что о плодородии почв можно судить по активности почвенных ферментов, способности почвы к несимбиотической фиксации азота, распаду клетчатки, выделению CO_2 и содержанию различных групп микроорганизмов [3].

Цель исследований – изучить агрохимические и биологические показатели дерново-подзолистой почвы лесного, лугового и полевого фитоценозов.

Методика. Исследования проводили в 2015–2017 г.г. в Пермском крае на стационарных участках под смешанным лесом, естественным злаково-разнотравным лугом, многолетней бобовой культурой – козлятником восточным (*Galega orientalis* Lam.) и в севообороте в длительном стационарном опыте. Почвы всех рассматриваемых участков дерново-подзолистые тяжелосуглини-

стые на элювиально-делювиальном тяжелом суглинке. В древостое смешанного леса с богатым травяным покровом широко представлены береза (*Betula pendula* L.), осина (*Populus tremula* L.), реже клен (*Acer platanoides* L.), из хвойных – ель (*Picea abies* (L.) H.Karst., *Picea × fennica* (Regel) Kom.), пихта (*Abies sibirica* Ledeb.), сосна (*Pinus silvestris* L.). Травостой естественного злаково-разнотравного луга сложен злаковыми (62%), бобовыми (13%) и разнотравными видами (25%). Травостой не отчуждался. Козлятник восточный высевали в 1988, 2000 гг. для получения семян. После уборки семян солома отчуждалась. Полевой стационарный опыт заложен в 1978 г. на опытном поле Пермского НИИСХ на дерново-подзолистой тяжелосуглинистой почве со следующими характеристиками (слой 0–20 см): pH_{KCl} 5,6; гидролитическая кислотность 2,0, обменная 0,025, сумма поглощенных оснований – 21,0 ммоль экв/100 г почвы, содержание гумуса по Тюрину 2,12%, подвижных форм фосфора 175 мг P_2O_5 /кг почвы, обменного калия 203 мг K_2O /кг почвы (по Кирсанову). Севооборот восьмипольный: чистый пар, озимая рожь (*Secale cereale* L.), картофель (*Solanum tuberosum* L.), пшеница (*Triticum aestivum* L.), клевер (*Trifolium pratense* L.) 1-го г.п., клевер 2-го г.п., ячмень (*Hordeum vulgare* L.), овес (*Avena sativa* L.). Перед закладкой опыта почва была известкована известью дозой 8 т/га. Органические удобрения не вносили.

В почвенных пробах, отобранных в конце августа 2014 г. из слоя почвы 0–20 см, определяли гумус по методу Тюрина в модификации ЦИНАО [4], подвижный фосфор по Кирсанову [5], обменный кальций и обменный магний комплексометрически по методу ЦИНАО [6], общий азот по Кьельдалю [7]. Нитрифицирующую способность почвы определяли по методу Кравкова в модификации Болотиной и Абрамовой [8], степень разложения клетчатки – методом «аппликаций», активность каталазы – по методу Галстяна [9], активность фосфатазы – по методу Хазиева [10]. Лабораторные исследования выполняли на базе аналитической лаборатории Пермского НИИСХ ПФИЦ УрО РАН.

Результаты и обсуждение. Почва лесного фитоценоза характеризовалась кислой реакцией среды (pH_{KCl} 4,2 в слое 3–20 см и 3,8 в слое 20–40 см). Почва в слое 0–20 см под естественным злаково-разнотравным лугом, козлятником восточным 1988, 2000 гг. посева среднекислая (pH_{KCl} 4,8–4,9), под клевером 1-го г.п. в севообороте – слабокислая (pH_{KCl} 5,2). Сумма обменных оснований в верхнем горизонте в зависимости от фитоценоза менялась незначительно, при этом наблюдалась тенденция к ее повышению в подпахотном горизонте. Почва под смешанным лесом характеризовалась высокой гидролитической кислотностью, высоким содержанием азота и гумуса в сравнении с другими фитоценозами (табл. 1). Почва под естественным злаково-разнотравным лугом отличалась высоким содержанием фосфора (290 мг $\text{P}_2\text{O}_5/\text{кг}$). Длительное возделывание бобовой культуры – козлятника восточного способствовало повышению уровня гумуса, накоплению в почве фосфора и азота. Зеленая масса и корни этой культуры богаты азотом и зольными элементами. В почве севооборота в варианте без удобрений содержание гумуса было ниже, чем в природных фитоценозах, что связано с отсутствием минеральных и органических удобрений, расходом питательных веществ на формирование урожая и частой обработкой почвы. В почве севооборота в слое 0–20 см наблюдалось более низкое по сравнению с почвами других исследуемых фитоценозов содержание азота (табл. 1).

Для характеристики плодородия почв важным является не только наличие в почве органического вещества, но и его активное участие в биологическом круговороте, которое в природных условиях определяется количеством трансформируемого органического вещества. Согласно современным представлениям, в почвах существуют два пула органического вещества: лабильное (подвижное) – ЛОВ, и стабильное органическое вещество. Оба пула органического вещества вносят свой вклад в функционирование и стабильность экосистемы.

Реакции, в которых участвуют лабильные, легко разлагаемые вещества, имеют очень большое влияние на цикл биогенных элементов внутри экосистемы [11]. Лабильные формы легко подвергаются биодеструкции и быстро минерализуются. Устойчивые формы гумуса значительно сложнее поддаются разложению микроорганизмами и сохраняются в почве в течение длительного времени. Лабильное органическое вещество является ближайшим резервом питательных элементов для растений и микроорганизмов, и выполняет защитные функции в отношении устойчивых форм гумуса [12].

Для определения подвижных компонентов в составе органических соединений их последовательно извлекали из почв различных фитоценозов экстрагентами различной экстракционной способности: горячей дистиллированной водой, нейтральным раствором пирофосфата натрия, щелочью. Считается, что наибольшую роль в питании растений играет органический углерод, экстрагируемый горячей водой [13]. Содержание углерода, извлекаемого из слоя почвы 0–20 см горячей дистиллированной водой ($\text{C}_{\text{ЭГВ}}$), в почве севооборота было в 8 раз меньше, чем в почве под смешанным лесом (табл. 2).

По мнению К.В. Дьяконовой и других исследователей [14–16] при экстракции щелочью без предварительного декальцинирования из почвы извлекаются подвижные органические вещества, характеризующиеся высоким содержанием углерода, повышенным содержанием азота и водорода. В щелочном экстракте из почвы под козлятником восточным в слое 0–20 см содержание органического углерода было также значительно меньше, чем в почве под лесом (табл. 2).

Широкое использование в агрохимических исследованиях в настоящее время получил метод определения лабильного гумуса в 0,1 М нейтральной пирофосфатной вытяжке, предложенный учеными Почвенного института им. В.В. Докучаева. Данным экстрагентом извлекаются гумусовые вещества, являющиеся, по мнению авторов, наиболее «молодыми», не прочносвязанными с минеральной частью почвы. Отмечается, что в данную вытяжку могут переходить и довольно «зрелые» гуминовые кислоты [14]. В нейтральном 0,1 М растворе пирофосфата натрия определено меньшее количество ЛОВ, чем в щелочном. Минимальное количество ЛОВ в растворе пирофосфата натрия определено в почве севооборота – 0,14 %, максимальное под смешанным лесом – 0,61 % С к массе почвы. Таким образом, установлено, что наибольшей подвижностью характеризовалось органическое вещество дерново-подзолистой почвы под смешанным лесом.

1. Влияние типа фитоценоза на агрохимические свойства дерново-подзолистой почвы

Фитоценоз	рН _{KCl}	S	H _r	Ca ²⁺ _{обм.}	Mg ²⁺ _{обм.}	N _{общ.} мг/кг	P ₂ O ₅ , мг/кг	Гумус, %
		ммоль/100 г						
1. Смешанный лес	4,2	20,0	6,4	12,0	3,2	2660	168	2,60
2. Злаково-разнотравный луг	4,8	21,2	2,2	13,9	2,5	1490	290	2,15
3. Козлятник восточный 1988 г. посева	4,9	18,3	2,8	12,9	3,8	1940	160	2,49
4. Козлятник восточный 2000 г. посева	4,8	19,6	2,6	14,6	2,63	1358	220	2,32
5. Севооборот (вариант без удобрений)	5,2	21,4	2,40	12,0	1,8	1116	185	1,72
<i>HCP</i> _{0,05}	0,2	1,3	0,2	0,4	0,14	120	16	0,07

Применявшиеся экстрагенты по экстрагирующей способности образуют следующий ряд: горячая дистиллированная вода < 0,1 М пирофосфат натрия < 0,1 н. NaOH. Установлена тесная корреляционная связь между содержанием подвижного углерода и кислотностью солевой вытяжки из почвы. Между C_{0,1M NaOH} и рН_{KCl} установлена обратная зависимость, $r = -0,84$, между C_{0,1M Na₄P₂O₇} и рН_{KCl} $r = -0,93$, между C_{ЭГВ} и рН_{KCl} $r = -0,99$.

Биологическая активность почвы находится в тесной связи с почвенным плодородием, служит его надежным индикатором. К показателям биологической активности относят скорость разложения целлюлозы и нитрифицирующую способность почвы. Скорость разложения клетчатки в почве зависит от наличия в ней легкодоступного азота, поэтому эти показатели в совокупности позволяют судить об интенсивности почвенных процессов в целом. Эти параметры характеризуют, прежде всего, условия жизнедеятельности микроорганизмов и наличие минерального азота в почве.

Процесс разложения клетчатки в почве осуществляют целлюлозоразрушающие микроорганизмы. Соотношение углерода и азота в их клетках (С:N) равно 5 для бактерий и 10 для микромицет

[17]. В растительных остатках, попадающих в почву, это соотношение от 20 и выше [18]. За счет повышения содержания азота в почве С:N сужается и условия целлюлозоразрушающей активности микроорганизмов улучшаются. Установлено [19], что существует достоверная положительная коррелятивная связь между содержанием азота и целлюлозоразрушающей активностью микроорганизмов почвы.

Нитрифицирующие бактерии отличаются высокой требовательностью к условиям обитания. Кислая реакция среды, плохая аэрация почвы являются неблагоприятными условиями для жизнедеятельности нитрифицирующих микроорганизмов. В кислой почве под лесом процесс нитрификации был выражен слабо. В этих условиях степень разложения клетчатки также была на низком уровне (табл. 3). В почве под естественным лугом потенциальная нитрифицирующая способность почвы была невысока. Максимальные значения биологической активности почвы – нитрифицирующей способности и степени разложения льняного полотна – выявлены в почве севооборота (клевер 1-го г.п.) в варианте без удобрений (табл. 3).

2. Содержание подвижных компонентов в составе органического вещества почвы изучаемых фитоценозов, % к массе почвы

Фитоценоз	C _{0,1 M NaOH}	C _{0,1M Na₄P₂O₇}	C _{ЭГВ}
1. Смешанный лес	0,89	0,61	0,082
2. Злаково-разнотравный луг	0,21	0,19	0,034
3. Козлятник восточный 1988 года посева	0,19	0,31	0,038
4. Козлятник восточный 2000 года посева	0,19	0,27	0,039
5. Севооборот (вариант без удобрений)	0,20	0,14	0,011
<i>HCP</i> _{0,05}	0,04	0,04	0,006

3. Нитрифицирующая и целлюлозолитическая активность дерново-подзолистой почвы исследуемых фитоценозов

Фитоценоз	Нитрифицирующая способность, мг N-NO ₃ ⁻ /кг	Степень разложения льняного полотна, %
1. Смешанный лес	19,7	21,5
2. Естественный злаково-разнотравный луг	17,8	37,0
3. Козлятник восточный 1988 г. посева	26,2	22,3
4. Козлятник восточный 2000 г. посева	29,8	35,0
5. Севооборот (вариант без удобрений)	34,3	40,4
<i>НСР_{0,05}</i>	5,0	4,7

По классификации Д.Г. Звягинцева [20] интенсивность разложения клетчатки под посевами козлятника восточного была слабой, несмотря на слабокислую реакцию почвы и поступление большого количества органического вещества пожнивно-корневых остатков. Обеспеченность почв всех фитоценозов минеральным азотом в соответствии с их нитрификационной способностью по Кравкову [21] – повышенная и составляет от 17,8–29,8 мг/кг, за исключением почвы севооборота, где потенциальная нитрификационная способность почвы очень высокая (табл. 3).

Между степенью разложения льняного полотна и кислотностью солевой вытяжки из почвы существует корреляционная зависимость средней силы ($r = 0,68$). Чем выше уровень pH_{KCl} почвы, тем интенсивнее идут процессы разложения льняного полотна, так как по мере уменьшения кислотности среды активность целлюлозоразрушающих бактерий возрастает.

Для оценки ферментативной активности дерново-подзолистой почвы определяли каталазную и фосфатазную активность (рисунок).

Под ферментативной активностью почвы понимается способность проявлять каталитическое воздействие на процессы превращения экзогенных и эндогенных органических и минеральных соединений благодаря имеющимся в ней ферментам [22]. По активности ферментов судят об агрономически значимых показателях плодородия почвы, превращении гумусовых веществ, окислительно-восстановительном режиме почвы [9, 23].

Значения каталазной активности почв всех исследуемых фитоценозов варьировали в пределах 1,17–2,97 O₂ см³/г за мин. и по шкале Д.Г.Звягинцева [24] относились к градации «бедная», за исключением почвы севооборота, которая относилась к «очень бедной» (0,33 O₂ см³/г за мин. при *НСР_{0,05}* = 0,27) (рисунок).

Важную роль в обеспечении растений элементами минерального питания играет фосфатаза – фермент, отвечающий за минерализацию органического фосфора [25, 26]. Максимальная активность фосфатазы наблюдалась в почве луга. Она составляла 0,97 мг P₂O₅ на 10 г почвы за 1 ч, минимальная – в почве под козлятником восточным

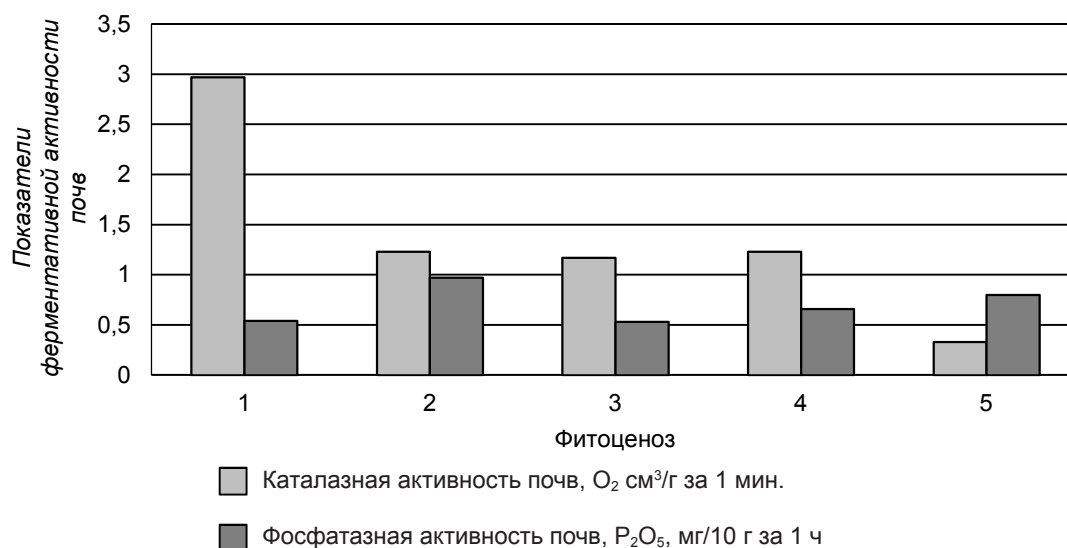


Рисунок. Ферментативная активность почв исследуемых фитоценозов.

1988 г. посева и составляла 0,53 мг P₂O₅ на 10 г почвы за 1 ч (НСР_{0,05} = 0,14). Дерново-подзолистая почва исследуемых фитоценозов по фосфатазой активности – бедная [21]. Установлена тесная прямая корреляционная связь между содержанием гумуса и каталазной активностью ($r = 0,98$). Между содержанием гумуса и активностью фосфатазы установлена обратная связь ($r = -0,72$).

Заключение.

Агрохимические свойства изучаемых дерново-подзолистых почв изменялись в зависимости от типа фитоценоза. При смене лесного фитоценоза на луговой и полевой наблюдалось снижение почвенной кислотности, уменьшение содержания гумуса, что связано, прежде всего, с количеством и качеством поступающего в почву органического вещества. Слабокислая реакция среды и высокое содержание зольных элементов и азота в пожнивно-корневых остатках *Galega orientalis*, относящегося к семейству бобовых, способствовали накоплению гумусовых веществ и азота под его многолетними посевами. В почве севооборота в варианте опыта без удобрений за 37 лет ведения опыта отмечен минимальный уровень азота, зафиксировано снижение уровня рН_{KCl} на 0,4 ед., содержание гумуса уменьшилось на 19 % от исходного уровня.

При определении биологической активности почвы выявлена тенденция увеличения нитрификационной и целлюлозоразрушающей способности почвы от лесного фитоценоза к полевому. Максимальные значения этих показателей наблюдались в почве севооборота, которая характеризовалась слабой кислотностью, наиболее благоприятной для почвенных микроорганизмов, осуществляющих эти процессы.

Выявлена тесная корреляционная связь между содержанием гумуса и каталазной активностью. Ферментативная активность дерново-подзолистой почвы изучаемых фитоценозов по шкале Д.Г. Звягинцева относится к градации «бедная» или «очень бедная».

Литература:

1. Дьяков В.П. Изменение свойств дерново-подзолистых почв тяжелого механического состава Среднего Предуралья при окультуривании. Автореф. дис. ... канд. с.-х. н. – Пермь, 1971. – 25 с.
2. Коротаев Н.Я. Почвы Пермской области. – Пермь: Пермское книжное изд., 1962. – 278 с.
3. Чернов Т.И., Холодов В.А., Козут Б.М., Иванов А.Л. Методология микробиологических исследований почвы в рамках проекта «Микробиом России»: Бюллетень Почвенного института им. В.В. Докучаева. – 2017. – Вып. 87. – С. 100–113.
4. ГОСТ 26213-91 Почвы. Методы определения органического вещества. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200023481>. Дата обращения: 4.04.18.
5. ГОСТ Р 54650-2011 Почвы. Определение подвижных соединений фосфора и калия по методу Кирсанова в модификации ЦИНАО. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200094361>. Дата обращения: 4.04.18.
6. ГОСТ 26487-85 Почвы. Определение обменного кальция и обменного (подвижного) магния методами ЦИНАО (с Поправкой). URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200023494>. Дата обращения: 4.04.18.
7. ГОСТ 26107-84 Почвы. Методы определения общего азота. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200023433>. Дата обращения: 4.04.18.
8. Агрохимические методы исследования почв. – М.: Наука, 1975. – 656 с.
9. Галстян А.Ш. ферментативная диагностика почв // Проблемы и методы биологической диагностики и индикации почв. – М: МГУ, 1980. – С. 110–121.
10. Хазиев Ф.Х. Ферментативная активность почв. – М: Наука, 1976. – 180 с.
11. Мамонтов В.Г., Афанасьев Р.А., Родионова Л.П., Быканова О.М. К вопросу о лабильном органическом веществе почв // Плодородие. – 2008. – № 2. – С. 20–22.
12. Дричко В.Ф., Бакина Л.Г., Орлова Н.Е. Устойчивая и лабильная части гумуса дерново-подзолистой почвы // Почвоведение. – 2013. – № 2. – С. 41–47.
13. Шульц Э., Кершенс М. Характеристика разлагаемой части органического вещества почв и ее трансформация при помощи экстракции горячей водой // Почвоведение. – 1998. – № 7. – С. 890–894.
14. Дьяконова К.В., Титова Н.А., Козут Б.М., Исмагилова Н.Х. Оценка почв по содержанию и качеству гумуса для производственных моделей почвенного плодородия. – М.: Агропромиздат, 1990. – 27 с.
15. Жуков А.И. Оптимальное содержание лабильного гумуса // Земледелие. – 1990. – № 12. – С. 38–40.
16. Мамонтов В.Г., Родионова Л.П., Быковский Ф. Ф., Абубакар Сирадж. Лабильное органическое вещество почвы: Номенклатурная схема, методы изучения и агроэкологические функции // Изв. ТСХА. – 2000. – Вып. 4. – С. 93–108.
17. Заварзин Г.А. Лекции по природоведческой микробиологии. – М.: Наука, 2003. – 348 с.
18. Квиткина А.К., Ларионова А.А., Дударева Д.М., Быховец С.С. Влияние соотношения C:N на разложение фитомассы кукурузы при изменении содержания эндогенного и экзогенного азота // Теоретическая и прикладная экология. – 2017. – №2. – С. 78–83.
19. Андреюк Г.И., Путинская Г.А., Антинчук А.В., Козлов И.А., Валагурова Е.В., Коптева Ж.П., Козырицкая В.Е. Исследование микробных сообществ почвы на разных уровнях их организации (структура микробных сообществ) // Микробиол. журнал. – 1998. – Т.60, № 5 – С.19–26.
20. Звягинцев Д.Г., Асеева И.В., Бабьева И.П., Мирчик Т.Г. Методы почвенной микробиологии. – М: МГУ, 1980. – 224 с.
21. Коврига В.П., Кауричев И.С., Бурлакова Л.М. Почвоведение с основами геологии. – М: Колос, 2000. – 416 с.
22. Галиулин, Р.В., Галиулина Р.А. Ферментативная индикация загрязнения почв тяжелыми металлами // Аг-

рохимия. – 2006. – № 11. – С. 84–95.

23. Щербачова Т.А. Ферментативная активность почв и трансформация органического вещества. – Минск: Наука и техника, 1983. – 222 с.

24. Звягинцев Д.Г. Биологическая активность почв и шкала для оценки некоторых ее показателей // Почвоведение. – 1978. – № 6. – С. 48–54.

25. Вяль Ю.А., Шиленков А.В. Ферментативная активность и агрохимические свойства почв Пензенского ботанического сада // Известия ПГПУ им. В.Г. Беллинского. – 2008. – № 10. – С. 26–32.

26. Саегадзева Г.Э. Ферментативная активность почвы как показатель ее плодородия // Молодой ученый. – 2014. – № 2. – С. 277–278.

Zav'yalova N.E.

AGROCHEMICAL CHARACTERISTIC AND BIOLOGICAL INDICATORS OF SODDY-PODZOLIC SOILS FERTILITY OF VARIOUS PHYTOCENOSES

A change of the agrochemical properties of soddy-podzolic soil after the replacement of forest phytocenosis to meadow and field was shown. The soil acidity decrease from pH_{KCl} 4.2 under mixed forest to pH_{KCl} 5.2 in soil of crop rotation was revealed. Humus content in the 0–20 cm layer was the highest in the soil under the Galega orientalis sown in 1988 (2.49 %). Maximum nitrogen level (2660 mg/kg) was revealed under the forest, phosphorus (290 mg/kg) under cereal-herb meadow. The close correlation was established between the mobile carbon content in the soil and pH level. The highest soil biological activity were revealed in crop rotation soil (clover 1st use year) in the variant without fertilizers application, where nitrifying activity reached the level of 34.3 mg/kg and the degree of linen cloth decomposition was 40.4%. The catalase and phosphatase activity of the soddy-podzolic soil of the investigated phytocoenoses according to the Zvyagintsev scale were “poor”.

Keywords: soddy-podzolic soil, phytocenoses, agrochemical properties, enzymatic, nitrifying and cellulolytic activity.