

A.A. Kovalenko, T.M. Zabugina, V.S. Mikhaltsov,
All-Russian Research Institute of Agrochemistry named after D.N. Pryanishnikova
127550, Moscow, st. Pryanishnikova, 31a, Russia, *E-mail: kovalhud@mail.ru

The work was carried out according to state assignment No. 0429-2021-0002.

In a long-term field experiment after two crop rotations, including 3 fields of legumes and grains and 2 fields of grains, agrochemical indicators of the fertility of soddy-podzolic soil were determined with and without the use of mineral fertilizers. Shown are changes in soil fertility over 11 years of using pure steam. Keywords: soddy-podzolic heavy loamy soil, stationary field experiment, agrochemical indicators of fertility, grain-grass crop rotation.

УДК 631.417.2

DOI: 10.25680/S19948603.2024.139.14

СОДЕРЖАНИЕ, ЗАПАСЫ ГУМУСА И БИОЛОГИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ АГРОТЕМНОГУМУСОВЫХ ПОДБЕЛОВ ПРИМОРСКОГО КРАЯ

Л.Н. Пуртова, д.б.н., Я.О. Тимофеева, к.б.н.,
ФГБУН «Федеральный научный центр биоразнообразия наземной биоты Восточной Азии»
Дальневосточного отделения Российской академии наук
690022, Владивосток, проспект 100-летия Владивостока, 159,
e-mail: timofeeva@biosoil.ru

Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (тема № 124012400285-7) и в рамках реализации важнейшего инновационного проекта государственного значения “Разработка системы наземного и дистанционного мониторинга пулов углерода и потоков парниковых газов на территории Российской Федерации, обеспечение создания систем учёта данных о потоках климатически активных веществ и бюджете углерода в лесах и других наземных экологических системах” (Регистрационный номер: 123030300031-6)

Исследовано влияние посевов многолетних трав и их травосмесей с бобовыми культурами на формирование и запасы гумуса, обогащенность каталазой, эмиссию CO₂ и потенциальную скорость минерализации органического вещества в агротемногумусовых подбелах Приморья. В работе использованы общепринятые в почвоведении методы. На основе оценки изученных показателей установлена сезонная динамика процессов гумусообразования и биологической активности почв. В осенний период отмечена общая тенденция к снижению содержания и запасов гумуса, эмиссии CO₂ и потенциальной скорости минерализации органического вещества в почвах всех исследованных вариантов опыта. Использование травосмесей с бобовыми культурами (тимофеевка + люцерна, тимофеевка + клевер + люцерна) сопровождалось активизацией формирования потенциально минерализуемого органического вещества и создавало наиболее благоприятные условия для протекания процесса гумусообразования в агротемногумусовых подбелах региона проведения исследований.

Ключевые слова: агротемногумусовые подбелы, фитомелиорация, органическое вещество, гумус, запасы гумуса, каталазная активность, эмиссия CO₂.

Для цитирования: Пуртова Л.Н., Тимофеева Я.О. Содержание, запасы гумуса и биологическая активность агротемногумусовых подбелов Приморского края // Плодородие. – 2024. – №4. – С. 64-67. DOI: 10.25680/S19948603.2024.139.14.

Многолетние травы и их травосмеси со злаковыми и бобовыми культурами - одни из важнейших постоянно возобновляемых средоулучшающих ресурсов и восстановителей почвенного плодородия. Роль многолетних трав и травосмесей в агроландшафтах весьма многогранна. Их использование способствует повышению коэффициента полезного потребления солнечной энергии, обогащению почв органическими соединениями и доступными для растений формами ряда элементов (азот, фосфор, калий, кальций, магний), улучшению физических, биологических и биохимических свойств почв и предохраняет почву от развития эрозийных процессов [2, 5]. После запахивания фитомелиорантов в почве активизируются гидролитические процессы: ускоряется минерализация веществ углеводного характера,

повышается активность инвертазы и органических соединений фосфора, возрастает активность каталазы, дегидрогеназы и полифенолоксидазы – фермента, связанного с процессами синтеза гумуса.

В области изучения трансформации органического вещества в почвах особое внимание уделяется процессам минерализации, определяющим фактором протекания которых является микробиологическая активность [8]. Поэтому весьма важной представляется характеристика органического вещества почв по его доступности к разложению почвенными микроорганизмами и активности участия углерода во внутрисочвенных превращениях. При исследовании минерализации органического вещества почв наиболее широкое применение нашел биокинетический метод, основанный на анализе

интенсивности выделения диоксида углерода (CO₂) из почв в условиях инкубационных экспериментов различной продолжительности [8-10, 13]. Скорость выделения CO₂ из почв при оптимальных условиях функционирования микробсообществ в почве (температура 22-25°C, влажность 60-65% НВ) характеризует потенциальную скорость минерализации органического вещества (PR_{min}), которая соответствует её потенциальной биологической активности, или скорости базального дыхания небогатой почвой. Данный показатель позволяет корректно провести сравнительный анализ, как в пределах почвенного профиля, так и в зависимости от условий формирования почв [3].

Сведения о влиянии посевов многолетних трав и их травосмесей на варьирование показателей биологической активности и взаимосвязи с процессами гумусообразования в агроземногумусовых подбелах Приморского края весьма ограничены. Отсутствие достоверной информации не позволяет объективно оценить влияние фитомелиорантов на процессы гумусообразования с учетом доступности к разложению органического вещества почв микрофлорой.

Цель исследований - изучить влияние различных фитомелиорантов на процессы гумусообразования, каталазную активность, эмиссию CO₂ и потенциальную скорость минерализации органического вещества в агроземногумусовых подбелах Приморья.

Методика. Исследования проведены на почвах (агроземногумусовый подбел [Luvic Albic Stagnosol (Loamic, Agric)] полевых опытов с посевом многолетних трав и их травосмесей с бобовыми культурами, заложенных на опытных полях ФГБУН ФНЦ Агробиотехнологий ДВ им. А.К. Чайки по схеме: 1 – тимофеевка; 2 – тимофеевка + клевер; 3 – тимофеевка + люцерна; 4 – тимофеевка + клевер + люцерна. Контролем в вариантах с посевом многолетних трав была почва варианта опыта под тимофеевкой. Отбор почвенных образцов с исследуемых участков осуществляли методом конверта из пахотного горизонта (PU). Исследованные почвы имели следующее морфологическое строение профиля: PU (0-25 см) – Elnng (25-47 см) – BT (47-102 см) – C (102 см и ниже).

Содержание органического углерода определяли по методу Тюрина, подвижные формы калия и фосфора - по методу Кирсанова [1]. Оценку содержания и запасов гумуса осуществляли по грациям Д.С. Орлова с соавт. [6]. Каталазную активность почв определяли газометрическим методом [4]. При определении продуцирования CO₂ в условиях *in exp* использовали абсорбционный метод [11]. Потенциальную скорость минерализации органического вещества (PR_{min}) рассчитывали по формуле, приведенной в работе. [3].

Анализ каждого показателя в отдельном опытном образце осуществляли в трехкратной повторности. Математическую обработку данных проводили по общепринятым методикам с применением программы Microsoft Excel 2007. Различия считали статистически значимыми при $p \leq 0,05$.

Результаты и их обсуждение. Исследуемые почвы приурочены к Приморской юго-западной гидротермической провинции, для которой характерны высокие среднегодовые показатели выпадения осадков (до 800 мм), радиационного баланса (52,2 ккал/см² в год) и затрат энергии на почвообразование (44,9 ккал/см² в год) [7]. Неравномерное выпадение осадков в течение года

вызывает сильное переувлажнение почв летом и иссушение в осенне-зимний период. За период вегетации 2023 г. сумма активных температур свыше 10°C составила 2863°C, сумма осадков – 833,5 мм (ГТК=2,91 – избыточно-влажный). Количество осадков в июне - августе в 2,3-3,8 раза превысило средние многолетние нормы, увеличение средних многолетних норм температуры воздуха составило 1,1-1,4 раза (табл. 1).

1. Метеорологические условия 2023 г. по данным агрометеорологической станции «Тимирязевский»

Показатель	Апрель	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь
Температура воздуха, °C							
Средний за месяц	7,1	13,5	18,5	22,5	22,5	18,1	9,3
Средний многолетний	4,9	11,2	15,7	20,0	20,8	15,0	7,0
Осадки, мм							
Общий за месяц	53,0	24,1	194,0	147,5	461,7	6,2	7,4
Средний многолетний	35,0	63,0	84,0	93,0	121,0	106,0	54,0

* URL: http://www.primgidromet.ru/about/karta_seti/timiryazevskiy (дата обращения 18.11.2023)

Гумусообразование в почвах исследуемых вариантов опыта протекало в условиях слабокислой реакции среды. Актуальная кислотность (рН_{H2O}) в горизонте PU исследуемых почв варьировала от 5,87 до 6,07. Содержание подвижных форм фосфора в пахотном горизонте, согласно региональным грациям, изменялось от низкого (2,19 мг/100 г почвы) до среднего (3,59 мг/100 г почвы). По содержанию подвижных форм фосфора, почвы исследованных вариантов опыта формировали следующий убывающий ряд: тимофеевка + люцерна (3,59 мг/100 г почвы) > тимофеевка + клевер (2,81) > тимофеевка + клевер + люцерна (2,45) > тимофеевка (2,19 мг/100 г почвы). Пахотные горизонты исследуемых почв характеризовались очень высоким и высоким содержанием подвижных форм калия: тимофеевка - 22,26 мг/100 г почвы; тимофеевка + клевер - 23,1, тимофеевка + люцерна – 26,87, тимофеевка + клевер + люцерна - 22,12 мг/100 г почвы.

До посева трав содержание гумуса в горизонте PU находилось в интервале ниже среднего (тимофеевка, тимофеевка + клевер, тимофеевка + клевер + люцерна) и низких значений (тимофеевка + люцерна) (табл. 2).

2. Содержание, запасы гумуса и каталазная активность (Ка) в горизонте PU агроземногумусовых подбелов в весенний период до посева фитомелиорантов

Вариант опыта	Гумус, %	Запасы гумуса в слое 0-20 см, т/га	Ка, мг О ₂ /г почвы за мин
1. Тимофеевка	4,01±0,01	89,6±3,4	2,0±0,1
2. Тимофеевка + клевер	4,01±0,01	85,8±4,0	2,4±0,1
3. Тимофеевка + люцерна	3,91±0,14	95,4±4,3	1,0±0,0
4. Тимофеевка + клевер + люцерна	4,08±0,07	103,6±2,0	2,6±0,1

Запасы гумуса в 20 см слое почв были низкими, за исключением варианта 4. Для всех вариантов опыта свойственна бедная обогащенность почв каталазой.

Посевы многолетних трав и их травосмесей активизировали процессы образования и накопления гумуса в почвах (табл. 3).

3. Гумусонакопление, потенциальная минерализация органического вещества и биологическая активность в агротемногумусовых подбелах с посевами многолетних трав и их травосмесей

Вариант опыта	Гумус, %	Запасы гумуса, т/га	Ка, мл O ₂ /г почвы за мин	Эмиссия CO ₂ , C-CO ₂ г/(м ² ·сут)	PR _{min} , мг C/кг/сут
<i>Лето</i>					
1. Тимофеевка	4,25±0,11	95,2±4,0	3,0±0,1	2,36±0,04	12,9±0,30
2. Тимофеевка + клевер	4,26±0,12	91,2±3,6	1,4±0,04	1,96±0,02	10,5±0,22
3. Тимофеевка + люцерна	4,56±0,14	111,3±2,0	1,8±0,05	2,49±0,05	13,4±0,57
4. Тимофеевка + клевер + люцерна	4,56±0,14	115,8±2,5	2,7±0,1	2,49±0,01	13,4±0,40
<i>Осень</i>					
1. Тимофеевка	3,67±0,14	82,2±4,0	2,0±0,1	1,15±0,03	6,43±0,19
2. Тимофеевка + клевер	3,36±0,17	71,9±3,2	2,4±0,1	0,81±0,02	4,33±0,17
3. Тимофеевка + люцерна	4,38±0,21	106,8±3,1	2,1±0,1	0,91±0,01	6,42±0,26
4. Тимофеевка + клевер + люцерна	3,36±0,16	85,3±1,8	2,7±0,1	0,86±0,01	4,66±0,14
<i>Средние значения за полевой сезон</i>					
1. Тимофеевка	3,96±0,19	88,7±3,8	2,5±0,1	1,76±0,05	9,37±0,37
2. Тимофеевка + клевер	3,81±0,15	81,5±2,5	1,9±0,05	1,39±0,04	7,42±0,24
3. Тимофеевка + люцерна	4,47±0,21	109,5±4,5	2,0±0,1	1,70±0,05	9,91±0,38
4. Тимофеевка + клевер + люцерна	3,96±0,17	100,5±1,6	2,7±0,1	1,68±0,05	9,01±0,41

Содержание гумуса в летний период в почвах всех исследуемых вариантов опыта возросло, но оставалось ниже среднего.

Наибольшее увеличение содержания и запасов гумуса (до средних показателей) и более высокие параметры эмиссии CO₂ отмечены в почвах вариантов тимофеевка + люцерна и тимофеевка + клевер + люцерна, что свидетельствует о более высокой микробиологической активности почв. В почвах вариантов тимофеевка и тимофеевка + клевер запасы гумуса были низкими. Степень обогащенности каталазой горизонта PU всех исследуемых вариантов опыта была низкой. Значительное выпадение осадков с летним муссоном вызвало переувлажнение почв. Это привело к снижению физиологической активности микроорганизмов и уменьшению уровня каталазной активности, что дополнительно подтверждено результатами ряда исследований [15]. В осенний период, из-за недостатка влаги, и снижения температуры воздуха, уровень каталазной активности пахотного горизонта исследованных почв также оставался низким. Вероятно, снижение уровня обогащенности горизонта PU каталазой в этот период являлось результатом ограничения диффузии субстратов и ферментов в почвенной массе, вызванного недостатком влаги, что привело к снижению физиологической и метаболической активности микроорганизмов [14]. По сравнению с летним сезоном, в осенний период было отмечено снижение содержания гумуса и его запасов в почвах всех исследованных вариантов опыта. Об изменении скорости разложения растительных остатков в осенний период свидетельствует снижение потенциальной скорости минерализации органического вещества (PR_{min}). Это связано с замедлением процессов трансформации органического вещества и подтверждается более низкими параметрами эмиссии CO₂. Сезонное изменение уровня PR_{min} указывает на возникающие различия в процессах трансформации органического вещества в связи с изменением условий, в первую очередь, с недостатком или избытком влаги и варьированием температуры.

На основе анализа средних значений показателей процесса гумусонакопления в почвах исследуемых вариантов опыта, установлено, что наиболее благоприятные условия для протекания процесса гумусообразования складывались в почвах вариантов тимофеевка + люцерна, тимофеевка + клевер + люцерна. Увеличение параметра PR_{min} в летний период в почвах этих вариантов опыта свидетельствует о нахождении значительного количества потенциально минерализуемого и быстро

оборачиваемого органического вещества, которое высвобождает элементы питания растений, в дальнейшем способствуя большему привносу органического вещества за счет нарастания корневой и надземной фитомассы растений, стимулируя развитие микрофлоры и процессы трансформации органического вещества [12].

В исследованных пахотных горизонтах установлена высокая корреляционная связь между содержанием гумуса (Г) и каталазной активностью (Ка). Очень тесный уровень связи отмечен для пары Г - Ка в почвах вариантов с посевом травосмесей многолетних культур: тимофеевка + клевер + люцерна (r + 0,95); тимофеевка + люцерна (r + 0,86), и тесный уровень связи отмечен для почв варианта с посевом тимофеевки (r + 0,81). Уровень корреляционной связи для пары Г - Ка в почвах варианта с посевом травосмеси тимофеевка + клевер имел отрицательные значения (r - 0,71). В летний период тесный статистически значимый уровень корреляционной связи установлен между PR_{min} и величинами запаса гумуса и эмиссией CO₂, а также между показателями эмиссии CO₂ и запасами гумуса (табл.4).

4. Коэффициенты корреляции между гумусонакоплением и биологической активностью в горизонте PU агротемногумусовых подбелов

Корреляционные пары	Лето	Осень
PR _{min} – гумус	+0,69	+0,79
PR _{min} – запасы гумуса	+0,79	+0,66
PR _{min} – Ка	+0,64	+0,35
PR _{min} – эмиссия CO ₂	+0,99	+0,76
Ка – эмиссия CO ₂	+0,60	-0,71
Эмиссия CO ₂ – гумус	+0,74	+0,20
Эмиссия CO ₂ – запасы гумуса	+0,83	-0,25

В осенний период отмечено усиление уровня связи между содержанием гумуса и PR_{min}. Это подтверждает ведущую роль гумусовых соединений в процессах, определяющих микробиологическую активность почв и потенциальную способность микробоценозов к разложению органического вещества.

Заключение. В пахотных горизонтах исследованных агротемногумусовых подбелов гумусообразование протекало в условиях слабокислой реакции среды, низкого и среднего содержания подвижных форм фосфора и очень высокого и высокого содержания подвижных форм калия. На основе анализа исследуемых параметров установлено, что использование фитомелиорантов активизировало процессы образования и накопления гумуса в почвах региона проведения исследований. Однако, согласно грациям российских оценочных шкал,

содержание гумуса в почвах оставалось на уровне ниже средних значений, даже в период наибольшей интенсивности проявления гумусообразовательных процессов. В пахотных горизонтах почв с посевами многолетних трав установлена общая тенденция к снижению содержания и запасов гумуса, эмиссии CO₂ и потенциальной скорости минерализации органического вещества в осенний период. Исключение составляли почвы варианта с посевом травосмеси тимофеевка + люцерна, в которых запасы гумуса оставались на среднем уровне. Почвы всех исследованных вариантов опыта характеризовались низкой степенью обогащенности каталазой, что вызвано спецификой климатических изменений в период проведения исследований. Между уровнем каталазной активности и содержанием гумуса установлены высокие значения коэффициентов корреляции. Анализ изменений корреляционной связи между показателями эмиссии CO₂, потенциальной скорости минерализации органического вещества и запасами гумуса в летний и осенний периоды отражает ведущую роль уровня содержания гумуса в процессах микробиологической трансформации органического вещества в почвах. Наиболее позитивное влияние на протекание процессов гумусообразования в агрономогумусовых подбелах оказывал посев травосмесей тимофеевка + люцерна и тимофеевка + клевер + люцерна в результате увеличения объема потенциально минерализуемого органического вещества и активизации микробиологической деятельности в почвах.

Литература

1. Аринушкина Е. В. Руководство по химическому анализу почв. - М: МГУ, 1970. - 487 с.
2. Косолапов В.М., Трофимов И.А., Трофимова Л.С., Яковлева Е.П. Глобальные проблемы рационального природопользования // Фундаментальные исследования. - 2014. - № 5 (Ч. 1). - С. 93-97.
3. Курганова И.Н., Лопес де Гереню В.О., Галлардо Ланчо Х.Ф., Ем К.Т. Оценка скорости минерализации органического вещества почв в лесных экосистемах внутриконтинентального умеренного, средиземноморского и тропического муссонного климата // Почвоведение. - 2012. - № 1. - С. 82-94.
4. Методы почвенной микробиологии и биохимии / Под ред. Д.Г. Звягинцева. - М.: Изд-во МГУ, 1991. - 303 с.
5. Нарушева Е.А. Биологические и биохимические основы плодородия почв: краткий курс лекций для аспирантов направления подготовки 35.01.06 Сельское хозяйство. - Саратов: ФГБОУ ВПО «Саратовский ГАУ», 2014. - 78 с.
6. Орлов Д.С., Бирюкова О.Н., Розанова М.С. Дополнительные показатели гумусного состояния почв и их генетических горизонтов // Почвоведение. - 2004. - № 8. - С. 918-926.
7. Пуртова Л.Н., Костенков Н.М. Содержание органического углерода и энергозапасы в почвах природных и агрогенных ландшафтов юга Дальнего Востока России. - Владивосток: Дальнаука, 2009. - 124 с.
8. Семенов В.М., Иванникова Л.А., Кузнецова Т.В., Семенова Н.А., Тулина А.С. Минерализуемость органического вещества и углерод-секвестрирующая емкость почв зонального ряда // Почвоведение. - 2008. - № 7. - С. 819-832.
9. Семенов В.М., Лебедева Т.Н., Лопес де Гереню В.О., Овсепян Л.А., Семенов М.В., Курганова И.Н. Пулы и фракции органического углерода в почве: структура, функции и методы определения // Почвы и окружающая среда. - 2023. - № 1. - Т. 6. - С. 1-16.
10. Цыбулько Н.Н. Углерод-секвестрирующая способность и минерализуемость органического вещества разных почв Беларуси // Журнал Белорусского государственного университета. Экология. - 2018. - № 3. - С. 110-117.
11. Шарков И.Н. Сравнительная характеристика двух модификаций абсорбционного метода определения дыхания почв // Почвоведение. - 1987. - № 10. - С. 153-157.
12. Janzen H.H. The soil carbon dilemma: Shall we hoard it or use it? // Soil. Biol. Biochem. - 2006. - V. 38. № 3. - P. 419-424.
13. Larionova A.A., Yevdokimov I.V., Bykhovets S.S. Temperature response of soil respiration is dependent on readily decomposable C // Biogeosciences. - 2007. - V. 4. - P. 1073-1081.
14. Schimel J.P. Life in dry soils. Effects of drought on soil microbial communities and processes // Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematic. - 2018. - V. 49. - P. 409-432.
15. Sierra C.A., Malghani S., Loescher H.W. Interactions among temperature, moisture, and oxygen concentration rates in a boreal forest soil // Biogeosciences. - 2017. - V. 14. - P. 703-710.

THE HUMUS CONTENT, RESERVE OF HUMUS AND BIOLOGICAL ACTIVITY OF PLANOSOLS FROM PRIMORSKII REGION UNDER THE PHYTOMELIORATIVE EXPERIMENT

**L.N. Purtova, Doctor of Biological Sciences, Ya.O. Timofeeva, Ph.D.,
Federal Scientific Center of the East Asia Terrestrial Biodiversity, Far
Eastern Branch of Russian Academy of Sciences
690022 Vladivostok, avenue 100-letiya Vladivostoka, 159, e-mail: timofeeva@biosoil.ru**

The influence of sowing perennial grasses and their grass mixtures with legumes on the formation and reserves of humus, enrichment by catalase, CO₂ emission and the potential rate of organic matter mineralization in Planosols from Primorye was studied. Methods generally accepted in soil science were used in this work. Based on the assessment of the studied indicators, alternations in the seasonal dynamics of humus accumulation processes and biological activity of soils were established. In the autumn period, a general tendency was noted for a decrease in the content and reserves of humus, CO₂ emission and the potential rate of mineralization of organic matter in the soils of all studied experimental variants. The use of grass mixtures with legumes (timothy+alfalfa, timothy+clover+alfalfa) was accompanied by increased formation of potentially mineralizable organic matter and created the most favorable conditions for the process of humus formation in the Planosols from studied region.

Key words: Planosols, phytomelioration, organic matter, humus, humus reserves, catalase activity, CO₂ emission.