

СТАТЬИ

УДК 631.461:631.412

**ВЛИЯНИЕ АГРОТЕХНИЧЕСКИХ ПРИЕМОМ ОБРАБОТКИ
НА БИОЛОГИЧЕСКУЮ АКТИВНОСТЬ АГРОТЕМНОГУМУСОВОЙ
ГЛЕЕВОЙ ПОЧВЫ С ПОСЕВОМ *CALEGA ORIENTALIS***

Пуртова Л.Н., Киселева И.В.

*ФНЦ Биоразнообразия наземной биоты Восточной Азии ДВО РАН,
Владивосток, e-mail: Purtova@biosoil.ru*

Проведены исследования физико-химических параметров и ферментативной активности почв в условиях полевого опыта с посевами козлятника восточного (*Calega orientalis*) при различных системах агротехнической обработки. Установлено неоднозначное влияние дискования и боронования почв на целлюлозоразлагающую активность. Степень обогащенности горизонта PU агротемногумусовых глеевых почв каталазой для большинства вариантов опыта оценивалась как низкая. Увеличение каталазной активности свойственно варианту с дискованием почв без удобрений и с применением более высоких доз минеральных удобрений при дисковании и бороновании (варианты $N_{90}P_{120}K_{120}$ + боронование, $N_{90}P_{120}K_{120}$ + дискование). Использование более высоких доз удобрений привело к активизации биологических процессов, что способствовало возрастанию каталазной и целлюлозоразлагающей активности. Это вызвало увеличение интегрального показателя биологического состояния почв. Между параметрами каталазой и актуальной целлюлозоразлагающей активностью установлен высокий коэффициент корреляции (r). На вариантах с боронованием $r = +0,82$, с дискованием $r = -0,82$. Различный характер связи между этими параметрами в агротемногумусовых глеевых почвах указывал на различия в протекании процессов трансформации органического вещества микрофлорой почв при различных системах обработки.

Ключевые слова: почва, гумус, физико-химические показатели почв, каталазная активность, целлюлозоразлагающая активность, агротехническая обработка

**INFLUENCE OF AGROTECHNICAL TREATMENT METHODS ON BIOLOGICAL
ACTIVITY OF AGROTHERMNOHUMUS GLEY SOIL WITH *CALEGA ORIENTALIS***

Purtova L.N., Kiseleva I.V.

*Federal scientific center of the East Asia Terrestrial Biodiversity FEB RAS,
Vladivostok, e-mail: Purtova@biosoil.ru*

Investigations of the physicochemical parameters and enzymatic activity of soils were carried out in a field experiment with crops of the eastern goat's rue (*Calega orientalis*) with a different system of agrotechnical processing. The controversial effect of disking and harrowing of soils on the cellulose-decomposing activity of soils has been established. The degree of enrichment of the PU horizon in agro-dark-humus gley soils with catalase was assessed as low for most of the experimental variants. An increase in catalase activity is characteristic of the variant with soil disking (without fertilizers) and with the use of higher doses of mineral fertilizers during disking and harrowing (variants $N_{90}P_{120}K_{120}$ + harrowing, $N_{90}P_{120}K_{120}$ + disking). The use of higher doses of fertilizers led to the activation of biological processes, which contributed to an increase in catalase and cellulose-decomposing activity. This caused an increase in the integral indicator of the biological state of soils. A high correlation coefficient (r) was established between the parameters of catalase and the actual cellulose-decomposing activity. On variants with harrowing $r = +0,82$; with disking $r = -0,82$. The different nature of the change in the relationship between these parameters in the PU horizon of agro-dark-humus gley soils indicated differences in the course of the transformation of organic matter by the soil microflora under different soil treatment systems.

Keywords: soil, humus, physical and chemical parameters of soils, catalase activity, cellulose-decomposing activity, agrotechnical treatment

Разработка технологических приемов повышения плодородия почв и продуктивности сельскохозяйственных культур в Приморье – важнейшие проблемы в обеспечении продовольственной безопасности региона. При этом первостепенное значение в решении этих проблем имеет изучение и целенаправленное регулирование биохимических процессов в почве с целью создания управляемых почвенных режимов, обеспечивающих оптимальные условия для роста и продуктивности культур [1]. Исследованиями многих ученых доказана тесная

взаимозависимость между численностью, составом почвенной микробиоты и интенсивностью биологических процессов.

Одним из показателей микробиологической активности почв является её ферментативная активность, которая представляет собой многофункциональную характеристику, зависящую от свойств почвы, факторов среды, формирующих данную почву, от биологических свойств растительности и особенностей агротехники [2]. Микроорганизмы обладают мощным ферментативным аппаратом, способствующим их

участию в почвообразовании, в круговороте биогенных элементов и в поддержании плодородия почв [3–5]. Выявлена взаимосвязь между биологической активностью почв, определяющей жизнедеятельностью населяющих её микроорганизмов и продуктивностью многолетних трав [6, 7]. Комплексный показатель, характеризующий биологическую активность почв – целлюлозоразлагающая способность почвы. Скорость разложения целлюлозы влияет на скорость разложения органики в целом. При этом процесс разложения органического вещества является важным звеном мирового биогеохимического круговорота элементов и во многом определяет плодородие почв [3]. При исследовании целлюлозоразлагающей активности определяют актуальную, непосредственно в полевых условиях, и потенциальную, методом компостирования почвенных образцов в лабораторных условиях при температуре 28 °С и влажности 60% от полной влагоёмкости. В отличие от потенциальной целлюлозоразлагающей активности, актуальная активность характеризует функционирование почвенной биоты в реальных экологических условиях [8].

При изучении процессов гумусообразования важна оценка каталазной активности, поскольку в основе синтеза гумусовых компонентов почвы лежат окислительно-восстановительные процессы и по их активности можно судить о направленности процессов разложения и синтеза органических веществ [9].

На территории Приморского края, при исследовании влияния различных систем агротехнической обработки агротемногумусовых глеевых почв с внесением удобрений в посевах козлятника восточного (*Galega orientalis Lam.*) на процессы гумусообразования, основное внимание уделено активности ферментов из класса оксидоредуктаз (пероксидазы, полифенолоксидазы, каталазы), играющих важную роль в биогеохимии гумуса [3].

Однако исследований по изучению целлюлозоразлагающей активности при различных системах агротехнической обработки почв с посевами *Galega orientalis* на территории Приморского края не проводилось. Между тем целлюлозоразрушающие микроорганизмы осуществляют не только минерализацию органических остатков, но и принимают участие в гумификации органического вещества в почвах, что определяет уровень почвенного плодородия и продуктивности биоты. В связи с этим основной целью работы была оценка ферментативной (целлюлозоразлагающей и каталазной) активности агротемногумусо-

вых глеевых почв с посевом *Calega orientalis* в горизонте PU при различных способах обработки почв (боронование, дискование) с внесением минеральных удобрений.

В задачи исследований входило:

1. Исследование физико-химических и агрохимических показателей агротемногумусовых глеевых почв.

2. Изучение каталазной и целлюлозоразлагающей активности почв при разных системах агротехнической обработки.

3. Определение интегрального показателя биологического состояния почв.

Материалы и методы исследования

Объект исследований – агротемногумусовые глеевые почвы с генетическими горизонтами: PU – AU – G – Cg. Названия почв приведено согласно классификации 2004 г. [10]. Исследования проведены на опытных полях ФГБНУ «ФНЦ Агробиотехнологий Дальнего Востока им. А.К. Чайки», пос. Тимирязевский Уссурийского района Приморского края. Закладка опыта осуществлялась по схеме: 1) контроль; 2) боронование; 3) дискование; 4) $N_{45}P_{60}K_{60}$ без обработки; 5) $N_{45}P_{60}K_{60}$ + боронование; 6) $N_{45}P_{60}K_{60}$ + дискование; 7) $N_{90}P_{120}K_{120}$ без обработки; 8) $N_{90}P_{120}K_{120}$ + боронование; 9) $N_{90}P_{120}K_{120}$ + дискование.

Повторность опыта четырехкратная. Размер делянок: 10×10 м. Способ посева – сплошной беспокровный. Норма высева 20 кг/га всхожих семян. Глубина заделки семян 1–2 см. Сорт козлятника восточного Гале. Минеральные удобрения вносили весной до начала отрастания посевов, под боронование поперек посева, под дискование поперек рядков на глубину 8–10 см.

Агрохимические и физико-химические показатели почв определяли по общепринятым методам в почвоведении [11]. Оценка содержания и запасов гумуса проведена по грациям, предложенным Д.С. Орловым с соавт. [12], физико-химических параметров почв – по Н.М. Костенкову, В.И. Ознобихину [13].

Из показателей биологической активности почв исследована активная и потенциальная целлюлазная активность почв аппликационным методом по методу Захарченко. Целлюлозоразлагающую активность почв выражали в процентах убыли целлюлозы от исходного веса. Каталазную активность почв изучали газометрическим методом по Галстяну [9]. На основе ферментативной активности рассчитан интегральный показатель биологического состояния почв (ИПБС). Для расчета ИПБС использован подход, предложенный Р.Ф. Хасановой с соавторами [5].

**Результаты исследования
и их обсуждение**

Для горизонта PU агротемногумусовых глеевых почв, в условиях полевого опыта с посевами козлятника, свойственна в основном слабокислая реакция среды (табл. 1). Обменная кислотность (рНс) изменялась от слабокислой до кислой. В связи с активизацией процесса гумусонакопления (табл. 2) прослеживалась закономерность к снижению параметров рНв и рНс во всех вариантах опыта. Гидролитическая кислотность (Нг) была низкой.

Для горизонта PU агротемногумусовых глеевых почв характерна повышенная и высокая обеспеченность подвижными формами фосфора и калия, что связано с применением минеральных удобрений.

Содержание гумуса в горизонте PU исследуемых почв согласно оценочным гра-

дациям Д.С. Орлова с соавт. [12] находилось на уровне ниже средних (варианты 1–6, 8 и 9) и средних (вариант 7) значений. Запасы гумуса в слое 0–20 см были средними во всех вариантах опыта. Наибольшее увеличение содержания гумуса по сравнению с контролем зафиксировано на варианте 7 (N₉₀P₁₂₀K₁₂₀ без обработки), для которого свойственны и более высокие параметры активной и потенциальной целлюлозоразлагающей активности (табл. 3).

Потенциальная целлюлозоразлагающая активность была повышенной на вариантах с внесением высоких доз удобрений как без обработки почвы, так и при дисковании и бороновании, что соответствовало уровню сильной интенсивности разложения целлюлозы. Снижение этого показателя зафиксировано на варианте с дискованием, а также с внесением удобрений в дозе N₄₅P₆₀K₆₀ как при бороновании, так и при дисковании.

Таблица 1

Показатели физико-химических и агрохимических свойств агротемногумусовых глеевых почв (горизонт PU) с посевами козлятника восточного при разных системах агротехнической обработки

| Вариант | рНв | рНс | Гидролитическая кислотность, мг/экв на 100 г почвы | P ₂ O ₅ и K ₂ O | |
|--|-------------|-------------|--|--|--------------|
| | | | | мг/100 г почвы | |
| 1. Контроль | 6,25 ± 0,09 | 5,4 ± 0,06 | 5,56 ± 0,39 | 9,74 ± 1,87 | 21,6 ± 5,66 |
| 2. Боронование | 6,42 ± 0,13 | 5,27 ± 0,22 | 4,27 ± 0,37 | 5,80 ± 0,4 | 13,33 ± 1,52 |
| 3. Дискование | 6,51 ± 0,19 | 5,3 ± 0,17 | 3,95 ± 0,20 | 7,50 ± 1,44 | 13,89 ± 0,18 |
| 4. N ₄₅ P ₆₀ K ₆₀ | 6,49 ± 0,22 | 5,7 ± 0,29 | 5,25 ± 0,58 | 11,62 ± 1,37 | 19,84 ± 0,66 |
| 5. N ₄₅ P ₆₀ K ₆₀ + боронование | 6,45 ± 0,26 | 5,53 ± 0,25 | 3,84 ± 0,88 | 12,65 ± 0,78 | 14,78 ± 0,13 |
| 6. N ₄₅ P ₆₀ K ₆₀ + дискование | 6,56 ± 0,15 | 5,56 ± 0,21 | 3,50 ± 0,64 | 11,55 ± 0,89 | 13,65 ± 0,61 |
| 7. N ₉₀ P ₁₂₀ K ₁₂₀ без обработки | 6,49 ± 0,22 | 5,70 ± 0,29 | 3,84 ± 0,88 | 15,07 ± 3,37 | 31,90 ± 6,64 |
| 8. N ₉₀ P ₁₂₀ K ₁₂₀ + боронование | 6,61 ± 0,12 | 5,71 ± 0,17 | 3,35 ± 0,45 | 15,53 ± 3,16 | 13,70 ± 0,75 |
| 9. N ₉₀ P ₁₂₀ K ₁₂₀ + дискование | 6,66 ± 0,09 | 5,71 ± 0,12 | 3,21 ± 0,20 | 15,50 ± 3,16 | 15,50 ± 0,35 |

Примечание. М – среднее значение; ±m – ошибка среднего.

Таблица 2

Содержание и запасы гумуса в горизонте PU агротемногумусовых глеевых почв с посевами козлятника восточного при разных системах агротехнической обработки

| Вариант | Содержание гумуса, % | Запасы гумуса, т/га в слое 20 см |
|--|----------------------|----------------------------------|
| 1. Контроль | 5,60 ± 0,20 | 130 ± 11,8 |
| 2. Боронование | 4,52 ± 0,04 | 101 ± 1,9 |
| 3. Дискование | 4,68 ± 0,16 | 114 ± 4,79 |
| 4. N ₄₅ P ₆₀ K ₆₀ (без обработки) | 5,75 ± 0,20 | 122 ± 2,65 |
| 5. N ₄₅ P ₆₀ K ₆₀ + боронование | 5,69 ± 0,05 | 122 ± 5,4 |
| 6. N ₄₅ P ₆₀ K ₆₀ + дискование | 5,04 ± 0,25 | 118 ± 1,55 |
| 7. N ₉₀ P ₁₂₀ K ₁₂₀ без обработки | 6,15 ± 0,58 | 105 ± 0,40 |
| 8. N ₉₀ P ₁₂₀ K ₁₂₀ + боронование | 5,31 ± 0,48 | 119 ± 10,9 |
| 9. N ₉₀ P ₁₂₀ K ₁₂₀ + дискование | 4,98 ± 0,06 | 108 ± 0,23 |

Таблица 3

Актуальная (А), потенциальная (П) целлюлозоразрушающая и каталазная активность (Ка) в горизонте PU агротемногумусовых глеевых почв

| Варианты опыта | M ± m | | |
|--|-------------|------------|---|
| | А, % | П, % | Ка, см ³ O ₂ / г почвы за 1 мин |
| 1. Контроль | 13,6 ± 4,3 | 55,2 ± 6,0 | 2,55 ± 0,03 |
| 2. Боронование | 10,1 ± 2,7 | 60,5 ± 3,1 | 1,05 ± 0,03 |
| 3. Дискование | 35,0 ± 8,9 | 48,4 ± 8,3 | 3,40 ± 0,00 |
| 4. N ₄₅ P ₆₀ K ₆₀ без обработки | 10,8 ± 2,2 | 55,9 ± 1,1 | 2,15 ± 0,02 |
| 5. N ₄₅ P ₆₀ K ₆₀ + боронование | 3,4 ± 0,0 | 38,0 ± 5,2 | 2,45 ± 0,01 |
| 6. N ₄₅ P ₆₀ K ₆₀ + дискование | 47,9 ± 15,9 | 44,7 ± 3,0 | 2,70 ± 0,00 |
| 7. N ₉₀ P ₁₂₀ K ₁₂₀ без обработки | 53,1 ± 1,6 | 76,0 ± 2,1 | 2,90 ± 0,00 |
| 8. N ₉₀ P ₁₂₀ K ₁₂₀ + боронование | 60,4 ± 14,5 | 73,5 ± 0,4 | 3,35 ± 0,03 |
| 9. N ₉₀ P ₁₂₀ K ₁₂₀ + дискование | 17,3 ± 1,1 | 64,2 ± 1,1 | 3,40 ± 0,01 |

Примечание. М – среднее значение; +m – ошибка среднего.

Актуальная целлюлозоразлагающая активность, характеризующая функционирование почвенной биоты в реальных экологических условиях, была высокой на варианте с внесением высоких доз удобрений без обработки почвы и с обработкой боронованием (варианты 7, 8).

Очень слабая и слабая актуальная целлюлозоразлагающая активность зафиксирована на контроле (1), а также на варианте с боронованием без удобрений (2) и с внесением удобрений в дозе N₄₅P₆₀K₆₀ (4, 5).

На наш взгляд, это связано с меньшим поступлением растительных остатков в предшествующем году, вызванным разреживанием посевов козлятника на данных вариантах опыта в связи с неблагоприятными климатическими условиями и переувлажнением почв. По мнению авторов [7, 14], целлюлозоразлагающая активность прямо пропорциональна количеству поступающего растительного материала, а положительное влияние продолжается в течение всего следующего вегетационного периода. Недостаток растительного материала – одна из причин снижения целлюлозоразлагающей активности.

Были установлены более высокие показатели варибельности (V) для актуальной целлюлозоразлагающей активности. Наиболее высокие параметры V свойственны вариантам: 1 (54,4%); 2 (45,9%); 6 (57,8%); 8 (41,6%). Показатель V потенциальной целлюлозоразлагающей активности изменялся незначительно (от 3,0% до 18,8%). Исключение составил вариант 3 с дискованием (V = 29,8%). Более низкие параметры V, на наш взгляд, связаны с создающимися более однородными условиями среды (влажностью и температурой), при опреде-

лении потенциальной целлюлозоразлагающей активности в лабораторных условиях. При этом актуальная целлюлозоразлагающая активность горизонта PU агротемногумусовых глеевых почв ниже потенциальной. Это согласуется с данными других авторов, проводящих исследования на естественных дерново-подзолистых почвах [8].

Являясь отражением деструкционных и минерализационных процессов, протекание которых связано не только с гидротермическими и физико-химическими свойствами почв, целлюлозоразлагающая активность определяется и активностью ферментов, в том числе и окислительно-восстановительных. В нашей работе наряду с целлюлозоразлагающей активностью изучена каталазная активность почв. Степень обогащенности горизонта PU агротемногумусовых глеевых почв с посевами козлятника восточного оценивалась в большинстве вариантов опыта как бедная (табл. 3). Увеличение каталазной активности (до средней) установлено на вариантах 3 (дискование), 8 (N₉₀P₁₂₀K₁₂₀ + боронование) 9 (N₉₀P₁₂₀K₁₂₀ + дискование).

Между параметрами каталазной и актуальной целлюлозоразлагающей активности установлен высокий коэффициент корреляции (r). На вариантах с боронованием r = +0,82; с дискованием r = -0,82. Таким образом, различный характер связи между этими параметрами в агротемногумусовых глеевых почвах указывал на различия в протекании процессов трансформации органического вещества микрофлорой почв при различных системах ее обработки.

На основе параметров потенциальной, актуальной целлюлозоразлагающей актив-

ности и каталазной активности рассчитан интегральный показатель биологического состояния почв (ИПБС). Для расчета ИПБС использован метод, предложенный Р.П. Хасановой с соавт. [5]. Более высокие интегральные показатели биологического состояния почв свойственны вариантам с применением более высоких доз минеральных удобрений. ИПБС составил на варианте 7 ($N_{90}P_{120}K_{120}$ без обработки) 91%, 8 ($N_{90}P_{120}K_{120}$ + боронование) – 98,4%. Это связано с повышенной микробиологической активностью почв из-за применения удобрений и интенсификации разложения целлюлозы, что согласуется с полученными ранее данными ИПБС, рассчитанными на основе оксидоредуктазной ферментативной активности (пероксидазы, полифенолоксидазы, каталазы) [4]. Вероятно, это обусловлено усилением жизнедеятельности почвенных организмов, в том числе разлагающих клетчатку [1].

При дисковании почв ИПБС составил 73,3%. Высокие показатели ИПБС свойственны также вариантам 6 ($N_{45}P_{60}K_{60}$ + дискование – 72,5%); 9 ($N_{90}P_{120}K_{120}$ + дискование – 71%). При бороновании почв показатели ИПБС на варианте 2 (без обработки – 42,4%) и варианте 5 ($N_{45}P_{60}K_{60}$ + боронование – 42,6%) были более низкими по сравнению с контролем (57,4%). Связано это с меньшей целлюлозоразлагающей активностью на данных вариантах опыта.

Выводы

1. Проведенными исследованиями установлено: для горизонта PU агротемногумусовых глеевых почв с посевом козлятника восточного при различных системах агротехнической обработки свойственна слабокислая реакция среды, низкая гидролитическая кислотность, высокая обеспеченность фосфором и калием. Содержание гумуса находилось в основном на уровне ниже средних значений, реже – средних (вариант без обработки с повышенной дозой удобрений). Запасы гумуса были средними во всех вариантах опыта.

2. Дискование и боронование почв оказывали неоднозначное влияние на целлюлозоразлагающую активность почв. Использование более высоких доз удобрений привело к активизации биологических процессов и возрастанию как активной, так и потенциальной целлюлозоразлагающей активности. Это вызвало увеличение интегрального показателя биологического состояния почв.

3. Степень обогащенности горизонта PU агротемногумусовых глеевых почв каталазой для большинства вариантов опыта

оценивалась как низкая. Увеличение каталазной активности свойственно вариантам с дискованием почв и с применением более высоких доз минеральных удобрений при дисковании и бороновании.

4. Установлены высокие значения коэффициента корреляции (r) между параметрами целлюлозоразлагающей и каталазной активности. Различный характер связи между ними (при бороновании $r = +0,82$, дисковании $r = -0,82$) свидетельствовал о различиях в протекании процессов трансформации органического вещества микрофлорой почв при различных системах агротехнической обработки.

Список литературы

- Новиков В.М. Влияние агротехнологических приемов и погодных условий на биологическую активность темно-серой лесной почвы при возделывании зернобобовых и крупяных культур // Зернобобовые и крупяные культуры. № 4 (20). 2016. С. 116–120.
- Мецуков С.Д., Титовская А.И., Акинчин А.В., Сегидин А.Н. Микробиологическая активность почв при различных системах земледелия // Вестник Курской ГСА. 2013. № 8. С. 57–60.
- Пряженникова О.Е. Целлюлозолитическая активность почв в условиях городской среды // Вестник КемГУ. № 3 (47). 2011. С. 10–13.
- Пуртова Л.Н., Емельянов А.Н. Показатели физико-химических свойств и биологическая активность агрогенных почв при различных приемах агротехнической обработки // Международный научно-исследовательский журнал. 2019. № 8 (6). С. 51–56.
- Хасанова Р.В., Суюндуков Я.Т., Семенова И.Н. Оценка экологического состояния почв степных агроэкосистем по показателям биологической активности // Вестник НВГУ. 2017. № 1. С. 103–107.
- Киреева Н.А., Багаутдинова Г.Г., Нурмухаметов Н.М. Урожайность яровой пшеницы и биологическая активность чернозема выщелоченного при обработке биопрепаратом // Проблемы агрохимии и экологии. 2017. № 1. С. 103–107.
- Li Xiao, Yimei Huang, Quanchao Zeng, Junying Zhou. Soil enzyme activities and microbial biomass response to crop types on the terraces of the Loess Plateau, China. *Journal of Soil and Sediment*. 2018. № 18. P. 1971–1980.
- Безкоровайная И.Н., Антонов Г.И., Иванов В.В., Семенкин Д.А. Биологическая активность почв после сплошных рубок в сосняках Красноярской лесостепи // Хвойные бореальной зоны. XXVII. 2010. № 3–4. С. 238–242.
- Хазиев Ф.Х. Методы почвенной энзимологии. М.: Наука, 2005. 252 с.
- Классификация и диагностика почв России. Смоленск: Ойкумено, 2004. 341 с.
- Пансю М., Гегира Ж. Анализ почвы. СПб.: Профессия, 2014. 800 с.
- Орлов Д.С., Бирюкова О.Н., Розанова М.С. Дополнительные показатели оценки гумусного состояния почв и их генетических горизонтов // Почвоведение. 2004. № 4. С. 918–926.
- Костенков Н.М., Ознобихин В.И. Научное обоснование снятия и использования плодородного слоя почв при открытых разработках полезных ископаемых // Аграрная наука – сельскохозяйственному производству Дальнего Востока. К 75-летию образования Россельхозакадемии // Сб. науч. трудов ДВНМЦ РАСХН. Владивосток: Дальнаука, 2005. С. 199–200.
- Валько В.П., Щур А.В. Особенности биотехнологического земледелия. Минск: БГАУ, 2011. 196 с.