

УДК 631.618:633.2.031

ЦЕЛЛЮЛОЗОЛИТИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ ТЕХНОЗЕМОВ НА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОМ УЧАСТКЕ РЕКУЛЬТИВАЦИИ ЗЕМЕЛЬ, НАРУШЕННЫХ ГОРНОДОБЫВАЮЩЕЙ ПРОМЫШЛЕННОСТЬЮ

А.В. Жуков, И.В. Лядская,
Днепропетровский государственный аграрный университет

Процесс разложения органического вещества является составной частью круговорота питательных веществ и во многом определяет плодородие почв. Целлюлоза является важным компонентом органического вещества, поэтому скорость разложения целлюлозы влияет на скорость разложения органики в целом [1]. Скорость разложения целлюлозы предложено рассматривать как индекс (количественную меру) почвенного плодородия [2]. Предполагается, что стандартизированный тип чистой целлюлозы может рассматриваться как модельный субстрат для разложения, на фоне которого можно отделить действие факторов внешней среды от эффектов, связанных с качественными свойствами подстилки [3].

Апликационный метод определения целлюлозолитической активности почв («cotton strip assay») широко применяется в агроэкологических исследованиях. При изучении урожайности озимых зерновых культур в зависимости от основных агроприемов возделыванию было установлено, что наиболее высокий процент разложения целлюлозного субстрата был отмечен после сидерального пара, несколько ниже – после занятого пара и бобовых предшественников, минимальный – после овса. Применяемые минеральные удобрения усиливали целлюлозолитическую способность почвы [4]. Установлено, что применение агрохимических средств положительно влияет на развитие ценных в агрономическом отношении групп микроорганизмов (амонифицирующих, нитрифицирующих, азотфиксирующих, целлюлозоразлагающих) и их биологическую активность. Анализ суммарной биологической активности почвы апликационным методом показал, что комплексное использование всех изучаемых средств повышает мобильность азота на 55,2-68,0%, ускоряет степень разрушения клетчатки на 38,1-38,5% [5].

Было установлено, что скорость разложения целлюлозы и скорость роста растений позитивно и достоверно коррелированы в 76 исследованных почвах, однако этой связью описывается менее 35% дисперсии [2].

Изучение динамики деструкционного процесса апликационным методом при промышленном загрязнении почв позволило установить возрастание пространственной неоднородности целлюлозолитической активности в более загрязненных участках. В качестве механизмов увеличения пространственной неоднородности рассматриваются снижение продукции спор почвенными грибами и снижение численности почвенной фауны как возможных переносчиков грибов [6].

Целлюлозолитическая активность достоверно коррелирует с рядом физических и химических свойств почв. Скорость деструкции целлюлозы отрицательно коррелирует с содержанием органического вещества в почве и позитивно – с рН, общим фосфором, железом, экстрагируемым кальцием и калием [2].

Материал и методы. Исследование проведено на научно-исследовательском стационаре Днепропетровского государственного аграрного университета в г. Орджоникидзе. Экспериментальный участок по изучению оптимальных режимов рекультивации был создан в период с 1968 по 1970 гг.

Целлюлозолитическая активность была установлена с помощью апликационного метода. В качестве субстрата была выбрана фильтровальная бумага. Круги фильтровальной бумаги были помещены в верхний 10-см слой техноземов. Время экспозиции составило 30 суток, после чего бумага была взвешена. Убыль субстрата является мерой целлюлозолитической активности почвы.

Фитомасса растительных группировок была установлена на площадках размером 50×50 см. Площадки были закономерно расположены вдоль восьми трансект в направлении с запада на восток. Каждая трансекта состояла из 20 проб, расположенных с интервалом 15 м. Дистанция между трансектами также составила 15 м. Таким образом, данные о фитомассе и целлюлозолитической активности были собраны со 160 проб. Сбор материалов проводился по общепринятым методикам [1]. Данные собраны в июле 2009 г.

Результаты и обсуждение. Растительный покров на экспериментальном участке рекультивации земель в период исследований был представлен двумя основными ассоциациями: злаковой с преобладанием костреца безостого (*Bromopsis inermis* (Leyss.) Holub) и бобовой, представленной донником желтым (*Melilotus officinalis* (L.) Desr.). Преобладающей ассоциацией по покрытию является злаковая *Bromopsis inermis* (83,75% проб были заняты этой ассоциацией).

Результаты изучения целлюлозолитической активности техноземов представлены в таблице 1.

Таблиця 1

Статистические характеристики целлюлозолитической активности почв на экспериментальном участке по рекультивации земель (5 июля – 5 августа 2009 г., в %)

Ассоциация	Средняя	Доверительный интервал		Число проб	Ст. отклонение	Стан. ошибка	Коэффициент вариации (в %)
		-95.0%	+95.0%				
<i>Bromopsis inermis</i>	46.87	42.42	51.31	134.00	26.02	2.25	55.53
<i>Melilotus officinalis</i>	33.27	25.29	41.25	26.00	19.75	3.87	59.37
В целом по участку	44.66	40.67	48.65	160.00	25.56	2.02	57.23

В целом по участку за период экспозиции активность составила 44,66%. Коэффициент вариации этого показателя находится на уровне 57,23%.

Целлюлозолитическая активность почв в ассоциациях *Bromopsis inermis* выше, чем в ассоциациях *Melilotus officinalis* (46,87 и 33,27% соответственно, $F=6,37$, $p=0,01$). Уровень варьирования этих признаков практически одинаков в обеих ассоциациях растительности (55,53 и 59,37% соответственно).

Вариабельность целлюлозолитической активности может быть описана гамма-распределением (тест Колмогорова-Смирнова $d = 0.095$, $p < 0.20$ для ассоциации *Bromopsis inermis* и $d = 0.077$, $p = n.s.$ для *Melilotus officinalis*) (рис. 1).

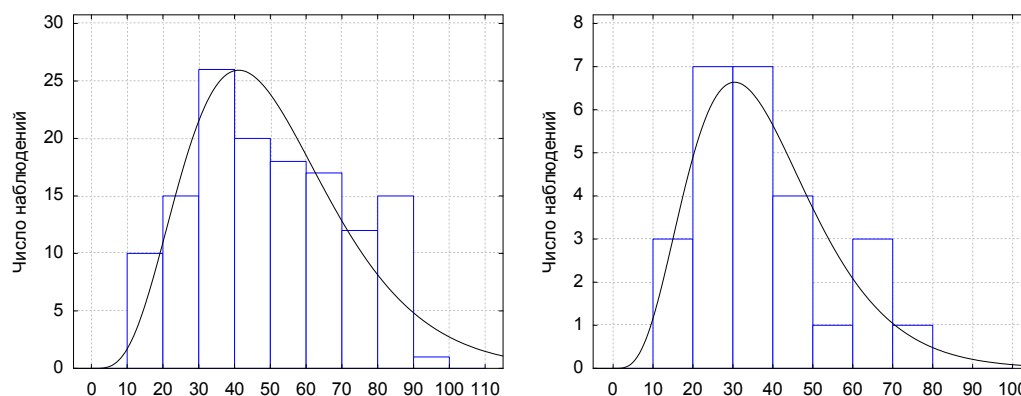


Рис. 1. Гистограмма распределения целлюлозолитической активности почв. Слева – ассоциация *Bromopsis inermis*; справа – *Melilotus officinalis*

Пространственное распределение целлюлозолитической активности почв показано на рисунке 2.

Основная часть территории участка (36,05%) характеризуется целлюлозолитической активностью, равной 40–50% разложившегося субстрата за период экспозиции 30 суток (рис. 3). Несколько меньшая площадь (28,14%) характеризуется активностью 50–60%. Встречаются участки почвы с очень высокой (80–100%), или очень низкой (0–30%) целлюлозолитической активностью, но они имеют очень малую площадь (0,85 и 2,89% соответственно).

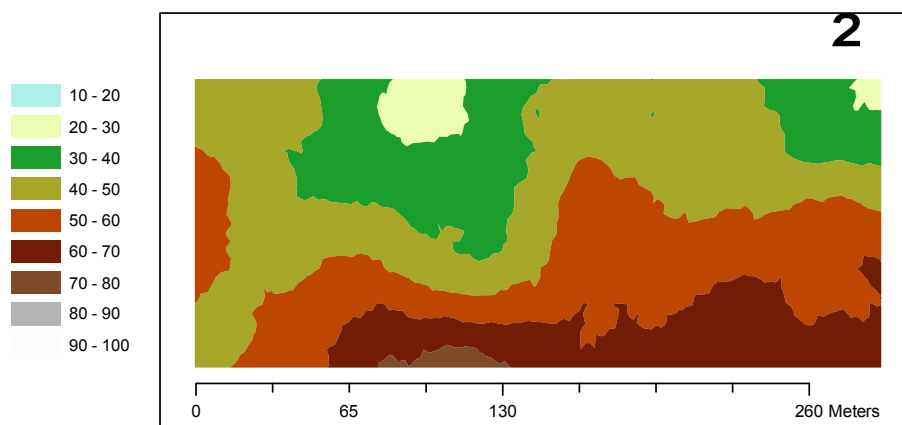


Рис. 2. Пространственное распределение целлюлозолитической активности почв в пределах экспериментального участка (в %)

В ассоциациях *Melilotus officinalis* наблюдается обратная зависимость между целлюлозолитической активностью почвы и фитомассой ($r=-0.49, p=0.01$) (рис. 4). Она может быть описана уравнением вида:

$$CelAct = 55.98 - 0.07 * FM$$

где *CelAct* – целлюлозолитическая активность; *FM* – фитомасса.

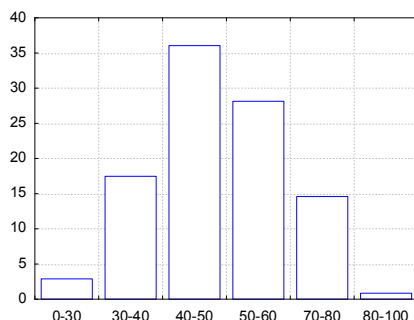


Рис. 3. Распределение целлюлозолитической активности почв по занимаемой площади
Условные обозначения: ось абсцисс – классы активности (в % от исходного количества субстрата); ось ординат – занимаемая доля площади (в % от всей поверхности участка)

Между фитомассой и целлюлозолитической активностью в ассоциации *Bromopsis inermis* линейной связи не установлено ($r=0.0047, p=0.96$).

Для более детального исследования характера взаимосвязи между изученными показателями, был проведен многомерный факторный анализ. Вероятно, что линейные взаимодействия не являются единственно возможными, которые могут быть использованы для описания поведения изучаемой системы. Для учета нелинейных эффектов были учтены вторые и третьи степени исходных переменных. Новая переменная, которая получена путем возведения исходной во вторую степень, может быть содержательно интерпретирована как оценка самовлияния переменной (конкуренция либо облегчение). Переменные, полученные путем произведения исходных переменных, отражают характер взаимосвязи между ними. Так, произведение фитомассы и целлюлозолитической активности – $Mass * Cell$ – описывает взаимодействие между ними. Если предположить, что характер взаимодействия признака (например, $MASS^2$), изменяется в зависимости от уровня фитомассы, то возникают эффекты третьей степени ($MASS^2 * MASS = MASS^3$). Аналогично, переменная вида $Mass * Cell^2$ может быть интерпретирована как влияние фитомассы (*Mass*) на взаимодействие целлюлозолитической активности ($Mass * Cell^2$). Смысл переменной $Grass * Mass * Cell$ состоит в количественном описании влияния типа растительной ассоциации (*Grass*) на взаимодействие между фитомассой и целлюлозолитической активностью почвы ($Mass * Cell$). Результаты факторного анализа приведены в таблице 2.

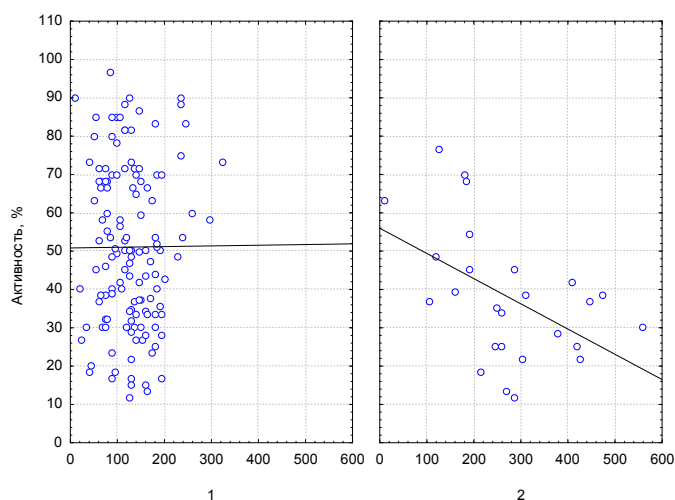


Рис. 4. Зависимость между целлюлозолитической активностью и фитомассой растительных группировок
Условные обозначения: по оси абсцисс – фитомасса, $г/м^2$, по оси ординат – целлюлозолитическая активность, % разложения субстрата за 30 суток. Слева – ассоциация *Bromopsis inermis*; справа – *Melilotus officinalis*.

Переменная, которая отражает количество опада, в анализе была использована только в натуральном виде, так как она отражает состояние системы в период после того, когда были оценены показатели фитомассы и целлюлозолитической активности почвы. Таким образом, опад не мог участвовать во взаимодействиях между показателями, но мог быть его результирующей функцией.

Таблица 2

Многомерный факторный анализ изменчивости продуктивности растительного покрова и целлюлозолитической активности (варимакс-вращение, показаны факторные нагрузки, превышающие по модулю 0,3)

Переменные	Фактор 1	Фактор 2	Фактор 3
Опад	0,58	–	0,37
Фитомасса, MASS	0,94	–	–
MASS ²	0,93	–	–
MASS ³	0,87	–	–
Ассоциация (Grass)	0,53	–	–0,74
Целлюлозолитическая активность, Cell	–	0,97	–
Cell ²	–	0,98	–
Cell ³	–	0,95	–
Mass*Cell	0,78	0,54	–
Mass ² *Cell	0,97	–	–
Mass*Cell ²	0,49	0,78	–
Grass*Mass	–	–0,43	–0,34
Grass*Cell	–	0,86	–0,40
Grass*Mass*Cell	0,89	0,31	–
Доля от общей дисперсии	0,42	0,35	0,09

Условные обозначения: Ассоциация – *Bromopsis inermis* – 1; *Melilotus officinalis* – 2

В результате анализа выделены три фактора (критерий отбора факторов – собственное число превышает 1). Фактор 1 (42% суммарной дисперсии) отражает изменчивость фитомассы растительных группировок. С этим фактором в явном виде не связана целлюлозолитическая активность, что есть свидетельством некоторой независимости этих показателей. Переменные, которые отражают взаимодействие фитомассы и целлюлозолитической активности (Mass*Cell, Mass²*Cell, Mass*Cell²), характеризуются высокими весами на фактор 1. Тип растительной ассоциации также влияет на продуктивность сообщества, однако это влияние не является решающим (вес – 0,53).

Можно предположить, что температура почвы (технозема) является важным фактором, который влияет на общий уровень деструкционных процессов, в том числе и целлюлозолитическую активность. Напочвенная фитомасса оказывает мощное пертинентное (средопреобразующее) воздействие, в результате чего трансформируется микроклимат растительных группировок. Снижение температуры почвы под пологом растительности можно рассматривать как механизм, который приводит к уменьшению целлюлозолитической активности в почве при увеличении фитомассы.

Выводы. Целлюлозолитическая активность является важным показателем интенсивности деструкционных процессов в почве. Это свойство определяется типом техноземов. Растительность оказывает регулирующее воздействие на интенсивность протекания разложения целлюлозы.

РЕЗЮМЕ

У роботі показано, що целюлозолітична активність є важливим показником інтенсивності деструкційних процесів у ґрунті. Цей показник визначається типом техноземів. Рослинність впливає на інтенсивність протікання розкладання целюлози.

SUMMARY

Cellulositic activity is shown to be important index of the destruction processes in the soil. This index is determined by the technosoil type. Plants influence on the intensity of the cellulose destruction.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Swift M.J. Decomposition in terrestrial ecosystems / M.J.Swift, O.W.Heal, J.M.Anderson. – Oxford: Blackwell Scientific. – 1979. – 420 p.

2. Latter, P.M.; Harrison, A.F. Decomposition of cellulose in relation to soil properties and plant growth // Harrison, A. F.; Latter, P.M.; Walton, D. W.H., (eds.) Cotton strip assay: an index of decomposition in soils. Grange-over-Sands, NERC/ITE. – 1988. – P. 68-71.
3. Berg, B., Karenlampi, L & Veum, A.K. Comparisons of decomposition rates measured by means of cellulose // Fennoscandian tundra ecosystems. Part 1. Plants and microorganisms, edited by F.E. Wielgolaski. – Berlin: Springer. – 1975. – P. 261-267.
4. Смелый А.Н. Урожайности озимых зерновых культур в зависимости от основных агроприемов возделывание в условиях юго-запада ЦЧР – Автореф. дисс. на соиск. уч. ст. канд. с.-хоз. наук по спец. 06.01.09 – растениеводство. – Воронеж. – 2009. – 24 с.
5. Супрун С.В. Влияние антропогенных факторов на плодородие почвы, урожайность и качество корнеплодов сахарной свеклы – Автореф. дисс. на соиск. уч. ст. канд. с.-хоз. наук по спец. 06.04.01 – агрохимия. – Москва. – 2008. – 23 с.
6. Воробейчик Е.Л. Изменение пространственной структуры деструкционного процесса в условиях атмосферного загрязнения лесных экосистем / Е.Л.Воробейчик // Известия АН. – Сер. биол. – 2002. – №3. – С. 368-379.
7. Родин Л.Е. Методические указания к изучению динамики и биологического круговорота в фитоценозах / Л.Е.Родин, Н.П.Ремезов, Н.И.Базилевич. – Л.: Наука, 1968. – 143 с.

Надійшла до редакції 14.10.2009 р.