

А.С. Березовский, Д.В. Сыщиков

АКТИВНОСТЬ УРЕАЗЫ ПОЧВ АНТРОПОГЕННЫХ ТЕРРИТОРИАЛЬНЫХ КОМПЛЕКСОВ ДОНЕЦКО-МАКЕЕВСКОЙ АГЛОМЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Донецкий ботанический сад»

Проведены исследования уреазной активности почв антропогенных территориальных комплексов Донецко-Макеевской промышленной агломерации. Анализ полученных данных показал приуроченность активности уреазы к нижележащим горизонтам. Проведенный экспериментальный посев растений на мониторинговых участках положительно сказался на процессах первичного почвообразования. Так, активность уреазы по сравнению с участками с естественным растительным покровом возрастала в диапазоне от 20 до 104 % при высевах растений семейства Fabaceae и поликомпонентной смеси. Наименьшая ферментативная активность была отмечена в техноземах с *Kitaibelia vitifolia* Willd., увеличение значений активности уреазы составило всего 10–35 % относительно участков с естественной растительностью.

Ключевые слова: уреазы, почва, ферменты, урбанизированные экосистемы, породные отвалы

Цитирование: Березовский А.С., Сыщиков Д.В. Активность уреазы почв антропогенных территориальных комплексов Донецко-Макеевской агломерации // Промышленная ботаника. 2023. Вып. 23, № 3. С. 42–51. DOI: 10.5281/zenodo.10442595

Введение

Ферментативная активность почвы является одним из основных показателей ее плодородия. Любая почва характеризуется определенным уровнем ферментативной активности, обусловленным многообразием и количественным содержанием ферментов [9]. Почвы, постоянно испытывающие значительное антропогенное воздействие, характеризуются измененным качественным и количественным составом микроорганизмов; имеют тенденцию к снижению биологической активности, что приводит к трансформации биогеохимических циклов биогенных элементов.

Рядом авторов показано, что ферментативная активность отражает направленность и интенсивность процессов биохимических превращений, протекающих в почве [12–14]. Важная роль ферментов заключается еще в том, что они

осуществляют функциональные связи между компонентами экосистемы и, таким образом, ферментативная активность почвы отражает текущее состояние ее живого населения [8, 10]. Известно также и непосредственное участие ферментов в ассимиляции растениями питательных веществ, в частности, участие фосфатаз в поглощении корнями фосфора и нитрогеназ микроорганизмов – при фиксации растениями атмосферного азота [9, 11].

Как известно, азот накапливается в почве преимущественно в органической форме, главным образом в виде белковых соединений. Содержание в почве доступного для растений азота связано с активностью протеолитических ферментов (протеаз). Минерализация азота осуществляется амидазами – ферментами, вызывающими гидролитическое расщепление связи меж-

ду азотом и углеродом (амидных связей) в молекулах органических веществ. Среди амидаз наибольшее распространение имеют уреазы и аспарагиназы [4].

Уреазы относятся к группе ферментов амидогидролаз, катализируют гидролиз мочевины, попадающей в почву в составе растительных остатков, органических и азотных удобрений, а также образующейся в самой почве в качестве продукта превращения азотистых органических соединений [1]. Образовавшийся в результате уреазной реакции катион аммония NH_4^+ является непосредственным источником азотного питания растений, поэтому активность уреазы выступает одним из важнейших показателей биологической активности и качества почв [5, 14].

Цель и задачи исследований

Целью настоящих исследований было выявление сезонной динамики активности уреазы почв антропогенно трансформированных экосистем Донецко-Макеевской промышленной агломерации. В задачи исследований входила оценка изменения уреазной активности почв антропогенно трансформированных экосистем и экосистем породных отвалов после посева фитомелиорантов.

Объекты и методики исследований

Для исследования уреазной активности почв были выбраны следующие модельные участки: отвалы шахт, выведенный из эксплуатации карьер, а также загрязненные бытовыми отходами территории. При выборе этих участков учитывались такие факторы как тип антропогенной трансформации и его распространенность в пределах района исследований, возможность восстановления биологической продуктивности и вовлечения в экономическую деятельность, потенциальный экологический эффект при экспериментальном посеве растений. Для оценки влияния моновидовых травянистых культур фитоценозов на протекание почвообразовательных процессов в эдафотопях мониторинговых участков был проведен посев семян *Kitaibelia vitifolia* Willd., *Onobrychis arenaria* (Kit.) DC. и растений семейства Poaceae (*Bromus inermis* Leyss., *Lolium multiflorum* Lam., *Elytrigia repens* (L.) Desv. ex Nevski) на площади 1 м² по отдельности на каждом из мониторинговых участков, предва-

рительно очищенных от естественной растительности.

Исследования проводили на протяжении 2021 г. (весна, лето, осень). Почвенные образцы отбирали по генетическим горизонтам [2] из локалитетов с естественным растительным покровом и в местах опытных посевов фиторекультивантов через год после высева. Описание почвенных разрезов проводилось согласно общепринятым методикам [7].

Мониторинговый участок № 1. Территория, прилегающая к южной части отвала шахты № 12 «Наклонная» (Пролетарский район, г. Донецк). Общее проективное покрытие (ОПП) 95–100 %. Доминируют *Elytrigia repens* и растущий группами *Vicia cracca* L. Рассеянно встречаются *Artemisia absinthium* L., *Verbascum lychnitis* L., *Achillea pannonica* Scheele, *Euphorbia virgata* Waldst. & Kit. Единично растут *Linaria vulgaris* L. и *Pilosella echinoides* (Lumn.) F. Schult. & Sch. Bip. Из эфемеров отмечены такие виды: довольно много *Holosteum umbellatum* L. и рассеянно *Lepidium perfoliatum* L.

Разрез № 1. Чернозем обыкновенный среднегумусированный.

A₁ – 0–47 см. Свежий, темно-бурый однородный, легкосуглинистый, среднезернистый, умеренно плотный. Новообразований и включений не отмечено. Много корней. Переход в горизонт A₂ ясный по цвету и структуре.

A₂ – 47–86 см. Свежий, светло-каштаново-коричневый, неоднородный, легкосуглинистый, среднезернистый, умеренно плотный. Новообразований и включений не отмечено. Редкие корни. Переход в горизонт В резкий по цвету и структуре.

В – 86–110 см. Суховатый, светло-каштановый, однородный, суглинистый, пластинчатый, умеренно плотный. Новообразований и включений не отмечено. Единичные корни. Переход в горизонт С языковатый по цвету.

С – глубже 110 см. Суховатый, коричневато-оранжевый, однородный, суглинистый, пластинчатый, плотный. Новообразований и включений не отмечено. Корни отсутствуют.

Данный участок рассматривается нами как условный контроль.

Мониторинговый участок № 2. Выведенный из эксплуатации карьер по добыче строительного камня (балка Калиновка, Горняцкий

район, г. Макеевка). Растительный покров с высокой мозаичностью, имеются пятна как сорно-рудеральных видов, так и видов степного цено-элемента. ОПП (за вычетом поверхности крупнообломочного камня) 70–80 %. В составе группировок имеются такие виды: *Echium vulgare* L., *Sideritis montana* L., *Stachys transsilvanica* Schur, *Anisantha tectorum* (L.) Nevski, *Calamagrostis epigeios* (L.) Roth, *Poa compressa* L., *P. bulbosa* L., *P. angustifolia* L., *Galium humifusum* M. Bieb., *Daucus carota* L., *Achillea pannonica*, *Artemisia absinthium*, *A. austriaca* Jacq., *Centaurea diffusa* Lam., *Senecio jacobaea* L., *S. vernalis* Waldst. & Kit., *Linaria maeotica* Klokov, *E. repens*, *Verbascum lychnitis*, *Cirsium acanthoides* L., *C. setosum* (Willd.) Besser, *Chondrilla juncea* L., *Lactuca tatarica* (L.) C.A. Mey., *Picris hieracioides* L., *Taraxacum officinale* Wigg., *Convolvulus arvensis* L., *Reseda lutea* L., *Euphorbia virgata*, *Berteroa incana* (L.) DC., *Hieracium virosum* Pall., *Melandrium album* (Mill.) Garcke, *Tragopogon dasyrhynchus* Artemcz., *Falcaria vulgaris* Bernh., *Phalacrolooma annuum* (L.) Dumort s.l., *Ambrosia artemisiifolia* L., *Medicago romanica* Prodán, *Tanacetum vulgare* L., *Tussilago farfara* L., *Hyoscyamus niger* L., *Oberna behen* (L.) Ikonn., *Camelina microcarpa* Andr.

Разрез № 2. Примитивные неразвитые почвы на песчанике.

А – 0–5 см. Черный, густо пронизан корнями растений. Структура мелкопорошистая, агрегаты 2 мм диаметром. Переход в горизонт С четкий по цвету, структуре и плотности. Отмечаются ходы зоогенной природы, выцветы солей (розоватые). Каменность – 5 %.

С – светло-коричневый, продукты метаморфизации песчаников. Каменность – 20 %, пронизан корнями растений. Прослежен до глубины 20 см.

Почвообразование по дерновому типу (выражен дерновый гумусо-аккумулятивный процесс).

Мониторинговый участок № 3. Зона выполаживания склона южной экспозиции у основания отвала шахты им. Ленина (Горняцкий район, г. Макеевка). Фитоценоз представлен *Echium vulgare*, *Sideritis montana*, *Stachys transsilvanica*, *Anisantha tectorum*, *Calamagrostis epigeios*, *Poa compressa*, *P. bulbosa* L., *Galium humifusum*., *Daucus carota*, *Achillea pannonica*, *Artemisia absinthium*, *A. austriaca* Jacq., *Centaurea diffusa*, *Senecio vernalis*, *Linaria maeotica*, *Phragmites*

australis (Cav.) Trin. ex Steud., ОПП составляет 50–60 %, имеются не заросшие прогалины, доминирование отдельных видов не выражено, из древесных растений кроме рекультиванта *Robinia pseudoacacia* L. на этом участке присутствует самосев *Fraxinus pennsylvanica* Marsh., *Acer negundo* L., *Ulmus pumila* L., *Juglans regia* L.

Разрез № 3. Примитивные седиментационные неразвитые почвы.

А – 0–10 см. Коричневый, относительно уплотненный, мелкозернистый, суховатый. Каменность – 5 %. Густо пронизан корнями растений.

С – темно-серый, метаморфизированный сланец, пластинчатый, сухой, пронизан корнями растений. Каменность – 30 %. Прослежен до глубины 30 см.

Мониторинговый участок № 4. Склон отвала шахты им. Ленина южной экспозиции (Горняцкий район, г. Макеевка). Доминирует *E. vulgare*, также представлены *Picris hieracioides*, *Senecio vernalis*, *Linaria maeotica*, *Reseda lutea*, *Oberna behen*, из древесных растений в окружении участка и единично на пробной площади встречаются *Robinia pseudoacacia*, *Acer negundo*, *Juglans regia*.

Разрез № 4. Субстрат с признаками почвообразования.

А – 0–15 см. Коричневый, рыхлый, мелкозернистый, суховатый. Каменность – 5 %. Переход в горизонт С – постепенный, по цвету – затеками.

С – палевый, прослежен до глубины 30 см. Каменность – 15 %. Присутствуют выцветы солей и продукты метаморфизации сланцев.

Мониторинговый участок № 5. Склон отвала шахты № 12 «Наклонная» восточной экспозиции (Пролетарский район, г. Донецк). Моновидовая группировка *Oberna behen*. ОПП 10–15 %.

Разрез № 5. Примитивные неразвитые фрагментарные почвы.

А – 0–27 см. Сухой, темно-серый, однородный, бесструктурный, порошистый, рыхлый. Новообразований не отмечено, каменность 10 %. Переход в горизонт С неясный по цвету.

С – сухой, темно-коричневый, однородный, бесструктурный, порошистый, рыхлый. Новообразований не отмечено, каменность 50 %. Единичные корни. Прослежен до глубины 60 см.

В профиле наблюдается первичное агрегатобразование по корням растений, накопление гумуса не имеет морфологического выражения

вследствие слабого развития глинистой составляющей. Имеющийся гумус «замаскирован» серым цветом измельченной породы.

Мониторинговый участок № 6. Склон отвала шахты № 12 «Наклонная» северной экспозиции (Пролетарский район, г. Донецк). ОПП 25–30 %. Довольно много *Echium vulgare*, *Oenothera biennis* L. Рассеянно произрастают *Ambrosia artemisiifolia*, *Artemisia absinthium*, *Daucus carota*, *Centaurea diffusa*, *Linaria genistifolia* (L.) Mill., *Holosteum umbellatum* и *Senecio vernalis*, единично встречаются *Rumex crispus* L. и однолетние всходы *Acer negundo*. В нижней части участка добавляются *Achillea pannonica* и *Chondrilla juncea*.

Разрез № 6. Примитивные неразвитые почвы.

А – 0–20 см. Свежий, темно-бурый, однородный, бесструктурный, порошистый, рыхлый. Новообразований не отмечено, каменистость 25 %. Густо пронизан корнями растений. Переход в горизонт С ясный по цвету.

С – суховатый, темно-серый, однородный, бесструктурный, порошистый, рыхлый. Новообразований не отмечено, каменистость 40 %. Единичные корни. Прослежен до глубины 45 см.

Мониторинговый участок № 7. Свалка твердых бытовых отходов (Пролетарский район, г. Донецк). В фитоценозе доминируют *Festuca valesiaca* Gaudin и *Tanacetum millefolium* (L.) Tzvelev. Довольно много *Medicago romana* Prodán, *Artemisia marschalliana* Spreng и *A. austriaca* (группами). Рассеянно представлены *Eryngium campestre* L., *Plantago urvillei* Opiz, *Salvia tesquicola* Klovov & Pobed, *Marrubium praecox* Janka, *Stachys transsilvanica*, *Holosteum umbellatum*, *Euphorbia stepposa* Zoz ex Prokh., *E. seguieriana* Neck., *Senecio jacobaea*, *Otites sibirica* (L.) Raf., *Ononis arvensis* L., *Thesium arvense* Horv., *Nonea rossica* Steven, *Thymus marschallianus* Willd., в нескольких экземплярах встречены *Hesperidium triste* (L.) G. Beck и единичной группой *Agropyron pectinatum* (M. Bieb.) P. Beauv. ОПП 80 %.

Разрез № 7. Примитивные неразвитые почвы на песчанике.

А – 0–18 см. Суховатый, темно-серый, однородный, супесчаный, мелкозернистый, слабо уплотненный. Новообразований и включений не отмечено. Много корней. Переход в горизонт С резкий, волнистый по цвету и структуре.

С – сухой, белесовато-темно-каштановый, неоднородный, песчаный, мелкокомковатый, рыхлый. Новообразований и включений не отмечено. Единичные корни. Прослежен до глубины 40 см.

Мониторинговый участок № 8. Территория, загрязненная строительными отходами, прилегающая к реке Богодуховая (Буденновский район, г. Донецк). Имеются разреженные древесные растения различного возраста на площадке над склоном: *Padellus mahaleb* (L.) Vassilcz., *Elaeagnus angustifolia* L., *Fraxinus pennsylvanica*, *Acer negundo*. На выположенных участках в травянистом покрове доминируют *Elytrigia repens* и *Poa angustifolia*, а на склонах *Marrubium praecox*, *Centaurea diffusa*, *Salvia tesquicola*. Также представлены *Festuca valesiaca*, *Diplotaxis tenuifolia* (L.) DC., *Berteroa incana*, *Artemisia austriaca*, *A. absinthium*, *Carduus acanthoides* L., *Ambrosia artemisiifolia*, *Echium vulgare*, *Achillea pannonica*, *Euphorbia virgata*, *Stachys transsilvanica*, *Medicago romanica*, *Gallium humifusum*, *Linaria vulgaris*, *Melilotus officinalis* (L.) Pall., *Securigera varia* (L.) Lassen, *Senecio vernalis*, *Rumex crispus*, *Reseda lutea* и *Melica transsilvanica* Schur. ОПП 70%.

Разрез № 8. Примитивные неразвитые фрагментарные почвы.

А – 0–34 см. Сухой, светло-серый, однородный, бесструктурный, порошистый, рыхлый. Новообразований не отмечено, каменистость 7 % от мелкообломочной фракции. Пронизан корнями растений. Переход в горизонт С постепенный по цвету.

С – сухой, коричневатый, однородный, бесструктурный, порошистый, рыхлый. Новообразований не отмечено, каменистость 20 %. Единичные корни. Прослежен до глубины 70 см.

Определение уреазной активности проводили согласно К.Ш. Казееву [3]. Статистическую обработку экспериментальных данных проводили по общепринятым методам параметрической статистики на 5 % уровне значимости [6].

Результаты исследований и их обсуждение

Анализ уреазной активности в эдафотопях антропогенно трансформированных экосистем в весенний период исследований показал неоднозначную картину ее распределения по почвенному профилю. Так, в генетических горизонтах склона отвала шахты им. Ленина (участ-

ки № 3–4) активность уреазы в материнской породе в 1,5–3 раза превышала аналогичные показатели гумусо-аккумулятивного горизонта (табл. 1). В техноземах остальных мониторинговых участков преимущественной тенденцией была интенсификация ферментативных процессов накопления аммония в пределах верхнего горизонта, приводящая в некоторых случаях к достижению значений ферментативной активности зональной почвы. Этот факт может быть объяснен крайне слабым развитием верхнего почвенного горизонта, степенью сформированности фитоценоза и микробоценоза, а также особенностями пород, формирующих данные техногенные элементы. Укороченность почвенного профиля и сравнительно высокая биологическая активность нижележащего слоя также обуславливает превышение активности уреазы в горизонте С большинства мониторинговых участков в 3–6 раз по сравнению с аналогичными показателями зональной почвы (табл. 1).

Посев на мониторинговых участках различных культур положительно сказался на процессах трансформации соединений азота, о чем, в частности, можно судить по уровню ферментативной активности. Так, использование в эксперименте *Onobrychis arenaria* приводило к интенсификации функционирования уреазы весной на 29–40 % по сравнению с аналогичными генетическими горизонтами участков с естественной растительностью (табл. 1). Установленный факт может быть связан с тем, что бобовые культуры имеют эффективно функционирующий ризосферный симбиоз с клубеньковыми бактериями, активно усваивающими атмосферный азот. Это способствовало увеличению уреазной активности на 8–12 % в горизонте А и 523–588 % в горизонте С относительно показателей зональной почвы. Значительное превышение контрольного уровня в горизонте С может быть объяснено тем, что примитивные почвы исследованных мониторинговых участков имеют недостаточно развитый почвенный профиль малой мощности, слабо дифференцированный на горизонты. При использовании в качестве фитомелиоранта *Kitaibelia vitifolia* степень выраженности ее позитивного эффекта на функционирование исследуемого фермента была менее выраженной, составляя 10–35 % по сравнению с участками с естественным растительным покровом. Наряду с

этим, распределение уреазной активности по почвенным горизонтам мониторинговых участков практически не отличалось от вариантов опыта на участках без посева растений (табл. 1).

Летом нами отмечено статистически достоверное снижение активности уреазы по сравнению со значениями, полученными в весенний период. Так, на участках с естественной растительностью уреазная активность снизилась на 12–82 % в горизонте А и на 26–89 % в горизонте С (табл. 2). Аналогичная тенденция отмечена и в генетических горизонтах модельных участков, на которых проводился экспериментальный посев растений. По нашему мнению, полученные данные могут быть объяснены не только более жесткими эдафо-климатическими условиями в данный период исследований, но и снижением активности микробиологической трансформации органического вещества с выделением азотсодержащих соединений и активным их поглощением растениями в процессе вегетации.

Наивысший фиторекультивационный эффект отмечен на мониторинговых участках с посевом *Onobrychis arenaria* и поликомпонентной смеси растений, что выражалось в увеличении активности уреазы на 20–40 % по отношению к участкам с естественным растительным покровом. Наряду с этим, при использовании *Kitaibelia vitifolia* зафиксировано не только минимальное позитивное влияние на ферментативную активность (возрастание на 9–20 %), но и уменьшение его относительных значений в аналогичных вариантах опытов по сравнению с весенним периодом.

В осенний период исследований в генетических горизонтах почв практически всех исследованных мониторинговых участков зафиксировано восстановление значений активности уреазы до уровня, отмеченного при весеннем отборе проб (табл. 3). Однако, в почвах участка № 6 отмеченная тенденция была выражена не так ярко, что, по нашему мнению, обусловлено жесткими гидротермическими условиями и неразвитостью растительных сообществ (моновидовая группировка *Oberna behen*).

Проведенный посев фитомелиорантов благоприятно сказался на изменении активности уреазы почв практически всех генетических горизонтов мониторинговых участков. Максимальные значения ферментативной активности,

Таблица 1. Активность уреазы (мг $\text{NH}_3/10$ г почвы за сутки) в почвах мониторинговых участков в весенний период

Участок, горизонт	Нерекультивируемые		Рекультивируемые	
	М±m	%	М±m	%
№ 2 Ап	1,90±0,03*	89,6	2,28±0,07*	107,5
№ 2 Сп	2,00±0,05*	625,0	2,19±0,09*	684,4
№ 2 Аэ	1,90±0,03*	89,6	2,66±0,05*	125,5
№ 2 Сэ	2,00±0,05*	625,0	2,62±0,10*	818,8
№ 2 Ак	1,90±0,03*	89,6	2,11±0,14	99,5
№ 2 Ск	2,00±0,05*	625,0	2,01±0,08*	628,1
№ 3 Ап	0,65±0,09*	30,7	0,78±0,07*	36,8
№ 3 Сп	1,98±0,08*	618,8	2,37±0,05*	740,6
№ 3 Аэ	0,65±0,09*	30,7	0,89±0,06*	42,0
№ 3 Сэ	1,98±0,08*	618,8	2,63±0,03*	821,9
№ 3 Ак	0,65±0,09*	30,7	0,74±0,04*	34,9
№ 3 Ск	1,98±0,08*	618,8	2,21±0,03*	690,6
№ 4 Ап	0,68±0,09*	32,1	0,83±0,04*	39,2
№ 4 Сп	1,04±0,23*	325,0	1,24±0,09*	387,5
№ 4 Аэ	0,68±0,09*	32,1	0,88±0,07*	41,5
№ 4 Сэ	1,04±0,23*	325,0	1,39±0,06*	434,4
№ 4 Ак	0,68±0,09*	32,1	0,77±0,05*	36,3
№ 4 Ск	1,04±0,23*	325,0	1,15±0,06*	359,4
№ 5 Ап	0,45±0,06*	21,2	0,55±0,05*	25,9
№ 5 Сп	0,24±0,05	75,0	0,29±0,03	90,6
№ 5 Аэ	0,45±0,06*	21,2	0,61±0,05*	28,8
№ 5 Сэ	0,24±0,05	75,0	0,31±0,07	96,9
№ 5 Ак	0,45±0,06*	21,2	0,52±0,05*	24,5
№ 5 Ск	0,24±0,05	75,0	0,27±0,08	84,4
№ 6 Ап	1,90±0,04*	89,6	2,35±0,14	110,8
№ 6 Сп	1,90±0,10*	593,8	2,39±0,09*	746,9
№ 6 Аэ	1,90±0,04*	89,6	2,56±0,03*	120,8
№ 6 Сэ	1,90±0,10*	593,8	2,43±0,08*	759,4
№ 6 Ак	1,90±0,04*	89,6	2,18±0,11	102,8
№ 6 Ск	1,90±0,10*	593,8	2,15±0,09*	671,9
№ 7 Ап	2,11±0,07	99,5	2,59±0,12*	122,2
№ 7 Сп	0,98±0,14*	306,3	1,19±0,05*	371,9
№ 7 Аэ	2,11±0,07	99,5	2,85±0,13*	134,4
№ 7 Сэ	0,98±0,14*	306,3	1,32±0,08*	412,5
№ 7 Ак	2,11±0,07	99,5	2,47±0,09*	116,5
№ 7 Ск	0,98±0,14*	306,3	1,15±0,05*	359,4
№ 8 Ап	0,53±0,02*	25,0	0,68±0,05*	32,1
№ 8 Сп	0,39±0,02	121,9	0,51±0,06*	159,4
№ 8 Аэ	0,53±0,02*	25,0	0,74±0,03*	34,9
№ 8 Сэ	0,39±0,02	121,9	0,51±0,04*	159,4
№ 8 Ак	0,53±0,02*	25,0	0,62±0,03*	29,2
№ 8 Ск	0,39±0,02	121,9	0,44±0,02*	137,5
№1 А	2,12±0,03			
№ 1 С	0,32±0,03			

Примечание. Здесь и в таблицах 2–3: э – посадки *Onobrychis arenaria*, к – посадки *Kitaibelia vitifolia*, п – поликомпонентная злаковая смесь, % – процент превышения значений по отношению к аналогичным почвенным горизонтам участка № 1, * – различия статистически достоверны при $p < 0,05$

Таблица 2. Активность уреазы (мг $\text{NH}_3/10$ г почвы за сутки) в почвах мониторинговых участков в летний период

Участок, горизонт	Нерекультивируемые		Рекультивируемые	
	M±m	%	M±m	%
№ 2 Ап	1,30±0,13	80,7	1,57±0,05	97,5
№ 2 Сп	1,41±0,03*	150,0	1,77±0,04*	188,3
№ 2 Аэ	1,30±0,13	80,7	1,82±0,09	113,0
№ 2Сэ	1,41±0,03*	150,0	1,87±0,05*	198,9
№ 2 Ак	1,30±0,13	80,7	1,55±0,02	96,3
№ 2Ск	1,41±0,03*	150,0	1,58±0,04*	168,1
№ 3Ап	0,37±0,03*	23,0	0,45±0,05*	28,0
№ 3Сп	0,43±0,07*	45,7	0,52±0,03*	55,3
№ 3Аэ	0,37±0,03*	23,0	0,49±0,05*	30,4
№ 3 Сэ	0,43±0,07*	45,7	0,57±0,06*	60,6
№ 3 Ак	0,37±0,03*	23,0	0,42±0,05*	26,1
№ 3Ск	0,43±0,07*	45,7	0,47±0,05*	50,0
№ 4Ап	0,56±0,03*	34,8	0,68±0,04*	42,2
№ 4Сп	0,63±0,05*	67,0	0,80±0,05	85,1
№ 4Аэ	0,56±0,03*	34,8	0,77±0,08*	47,8
№ 4 Сэ	0,63±0,05*	67,0	0,81±0,05	86,2
№ 4 Ак	0,56±0,03*	34,8	0,64±0,03*	39,8
№ 4Ск	0,63±0,05*	67,0	0,69±0,04*	73,4
№ 5Ап	0,40±0,04*	24,8	0,55±0,06*	34,2
№ 5Сп	0,30±0,05*	31,9	0,39±0,04*	41,5
№ 5Аэ	0,40±0,04*	24,8	0,53±0,03*	32,9
№ 5Сэ	0,30±0,05*	31,9	0,39±0,03*	41,5
№ 5Ак	0,40±0,04*	24,8	0,46±0,05*	28,6
№ 5Ск	0,30±0,05*	31,9	0,33±0,05*	35,1
№ 6Ап	0,33±0,04*	20,5	0,46±0,08*	28,6
№ 6Сп	0,20±0,03*	21,3	0,33±0,05*	35,1
№ 6Аэ	0,33±0,04*	20,5	0,42±0,03*	26,1
№ 6Сэ	0,20±0,03*	21,3	0,26±0,04*	27,7
№ 6Ак	0,33±0,04*	20,5	0,37±0,03*	23,0
№ 6Ск	0,20±0,03*	21,3	0,23±0,02*	24,5
№ 7Ап	1,50±0,08	93,2	1,82±0,11	113,0
№ 7Сп	0,65±0,05*	69,1	0,79±0,03	84,0
№ 7Аэ	1,50±0,08	93,2	2,05±0,12*	127,3
№ 7 Сэ	0,65±0,05*	69,1	0,85±0,08	90,4
№ 7 Ак	1,50±0,08	93,2	1,72±0,11	106,8
№ 7Ск	0,65±0,05*	69,1	0,74±0,09	78,7
№ 8Ап	0,45±0,03*	28,0	0,56±0,09*	34,8
№ 8Сп	0,29±0,07*	30,9	0,35±0,08*	37,2
№ 8 Аэ	0,45±0,03*	28,0	0,59±0,05*	36,6
№ 8 Сэ	0,29±0,07*	30,9	0,38±0,05*	40,4
№ 8Ак	0,45±0,03*	28,0	0,52±0,07*	32,3
№ 8 Ск	0,29±0,07*	30,9	0,34±0,04*	36,2
№ 1 А	1,61±0,08			
№ 1 С	0,94±0,07			

Таблица 3. Активность уреазы (мг $\text{NH}_3/10$ г почвы за сутки) в почвах мониторинговых участков в осенний период

Участок, горизонт	Нерекультивируемые		Рекультивируемые	
	М±m	%	М±m	%
№ 2 Ап	1,81±0,05*	91,4	2,17±0,09	109,6
№ 2 Сп	1,93±0,07*	350,9	2,00±0,05*	363,6
№ 2 Аэ	1,81±0,05*	91,4	2,57±0,04*	129,8
№ 2 Сэ	1,93±0,07*	350,9	2,49±0,08*	452,7
№ 2 Ак	1,81±0,05*	91,4	2,05±0,04	103,5
№ 2 Ск	1,93±0,07*	350,9	1,95±0,06*	354,5
№ 3 Ап	0,60±0,05*	30,3	0,68±0,07*	34,3
№ 3 Сп	1,89±0,09*	343,6	1,89±0,05*	343,6
№ 3 Аэ	0,60±0,05*	30,3	0,71±0,06*	35,9
№ 3 Сэ	1,89±0,09*	343,6	2,00±0,03*	363,6
№ 3 Ак	0,60±0,05*	30,3	0,55±0,04*	27,8
№ 3 Ск	1,89±0,09*	343,6	2,05±0,03*	372,7
№ 4 Ап	0,63±0,03*	31,8	0,57±0,04*	28,8
№ 4 Сп	0,95±0,11*	172,7	1,03±0,09*	187,3
№ 4 Аэ	0,63±0,03*	31,8	0,59±0,07*	29,8
№ 4 Сэ	0,95±0,11*	172,7	1,13±0,06*	205,5
№ 4 Ак	0,63±0,03*	31,8	0,77±0,05*	38,9
№ 4 Ск	0,95±0,11*	172,7	1,15±0,06*	209,1
№ 5 Ап	0,43±0,03*	21,7	0,55±0,05*	27,8
№ 5 Сп	0,31±0,07*	56,4	0,29±0,03*	52,7
№ 5 Аэ	0,43±0,03*	21,7	0,61±0,05*	30,8
№ 5 Сэ	0,31±0,07*	56,4	0,31±0,07*	56,4
№ 5 Ак	0,43±0,03*	21,7	0,52±0,05*	26,3
№ 5 Ск	0,31±0,07*	56,4	0,27±0,08*	49,1
№ 6 Ап	0,85±0,07*	42,9	1,35±0,14*	118,7
№ 6 Сп	0,70±0,13	127,3	1,39±0,09*	434,5
№ 6 Аэ	0,85±0,05*	42,9	1,56±0,03*	129,3
№ 6 Сэ	0,70±0,13	127,3	1,43±0,08*	441,9
№ 6 Ак	0,85±0,05*	42,9	1,18±0,11	110,1
№ 6 Ск	0,70±0,13	127,3	1,15±0,09*	390,9
№ 7 Ап	1,97±0,09	99,5	2,50±0,10*	126,3
№ 7 Сп	0,87±0,11*	158,2	1,10±0,03*	200,0
№ 7 Аэ	1,97±0,09	99,5	2,68±0,08*	135,4
№ 7 Сэ	0,87±0,11*	158,2	1,25±0,06*	227,3
№ 7 Ак	1,97±0,09	99,5	2,33±0,05*	117,7
№ 7 Ск	0,87±0,11*	158,2	1,07±0,07*	194,5
№ 8 Ап	0,45±0,04*	22,7	0,59±0,07*	29,8
№ 8 Сп	0,31±0,06*	56,4	0,43±0,03	78,2
№ 8 Аэ	0,45±0,04*	22,7	0,67±0,05*	33,8
№ 8 Сэ	0,31±0,06*	56,4	0,40±0,09	72,7
№ 8 Ак	0,45±0,04*	22,7	0,55±0,04*	27,8
№ 8 Ск	0,31±0,06*	56,4	0,37±0,04	67,3
№1 А	1,98±0,05			
№1 С	0,55±0,09			

превышающие аналогичные значения участков с естественным растительным покровом на 20–104 %, отмечены в вариантах опытов с использованием *Onobrychis arenaria* и поликомпонентной смеси.

Выводы

Анализ полученных данных показал приуроченность уреазы к нижележащим генетическим горизонтам, что объясняется укороченностью почвенного профиля и вымыванием растворимых солей аммония из верхних горизонтов. Изучение сезонной динамики интенсивности функционирования фермента показало параболический характер изменения ферментативной активности с минимумом в летний период исследований и максимумом весной, в период обогащения почвы органическими остатками прошлого вегетационного сезона. Посев растений на мониторинговых участках положительно сказался на процессах инициального почвообразования. Так, при использовании поликомпонентной злаковой смеси и *Onobrychis arenaria* активность уреазы в среднем возросла на 20–104 % ввиду фиксации атмосферного азота бобовыми культурами, тогда как в вариантах опытов с использованием *Kitaibelia vitifolia* ее активность повысилась всего на 10–35 %.

Работа выполнена в рамках госзадания ФГБНУ «Донецкий ботанический сад» по теме FREG-2023-0002 «Качественные и функциональные характеристики почв сельскохозяйственных угодий в степной зоне и пути восстановления их биологической продуктивности», № 1023020800023-9-1.6.19

1. Дроздова Н.И., Свириденко В.Г., Хаданович А.В., Панфиленко О.А. Исследование ферментативной активности дерново-подзолистых почв // Известия Гомельского государственного университета имени Ф. Скорины. 2010. N 3 (60). С. 84–88.
2. Звягинцев Д.Г. Методы почвенной микробиологии и биохимии. М.: Изд-во МГУ, 1991. 304 с.
3. Казеев К.Ш., Колесников С.И., Вальков В.Ф. Биологическая диагностика и индикация почв: методология и методы исследований. Ростов-на-Дону: Изд-во РГУ, 2003. 216 с.
4. Кудеяров В.Н. Цикл азота в почве и эффективность удобрений. М.: Наука, 1989. 214 с.
5. Поволоцкая Ю.С. Общее представление о почвенных ферментах // International Journal of Humanities and Natural Sciences. 2020. Vol. 1-1(40). P. 21–23.
6. Приседський Ю.Г. Статистична обробка результатів біологічних експериментів: навчальний посібник. Донецьк: Касіопія, 1999. 210 с.
7. Розанов Б.Г. Морфология почв. М.: Изд-во МГУ, 1983. 320 с.
8. Хазиев Ф.Х. Функциональная роль ферментов в почвенных процессах // Вестник Академии наук Республики Башкортостан. 2015. T. 20, N 2(78). С. 14–24.
9. Швакова Э.В. Изменение активности уреазы при повышенных содержаниях тяжелых металлов (Pb, Zn, Cu) в почве // Вестник Северного (Арктического) федерального университета. 2013. N 2. С. 61–66.
10. Щербакова Т.А. Ферментативная активность почв и трансформация органического вещества. Минск, 1983. 222 с.
11. Corstanje R., Mercer T.G., Rickson J.R., Deeks L.K., Newell-Price P., Holman I., Kechavarsi C., Waine T.W. Physical soil quality indicators for monitoring British soils // Solid Earth. 2017. N 8. P. 1003–1016.
12. Holik L., Hlisnikovsky L., Honzik R., Trogl J., Burdova H., Popelka J. Soil Microbial Communities and Enzyme Activities after Long-Term Application of Inorganic and Organic Fertilizers at Different Depths of the Soil Profile // Sustainability. 2019. N 11. P. 1–14.
13. Wang R., Dorodnikov M., Yang Sh., Zhang Y., Filley T., Turco R., Zhang Yu., Xu Zh., Li H., Jiang Y. Responses of enzymatic activities within soil aggregates to 9-year nitrogen and water addition in a semi-arid grassland // Soil Biology & Biochemistry. 2015. N 81. P. 159–167.
14. Utoho E.B., Tewari L. Soil enzymes as bioindicators of soil ecosystem status // Applied Ecology and Environmental Research. 2015. Vol. 13, N 1. P. 147–169.

Поступила в редакцию: 23.08.2023

**UREASE ACTIVITY IN SOILS OF ANTHROPOGENIC TERRITORIAL COMPLEXES OF
THE DONETSK-MAKEYEVKA AGGLOMERATION**

A.S. Berezovskiy, D.V. Syshchykov

Federal State Budgetary Scientific Institution «Donetsk botanical garden»

Investigations of urease activity of soils of anthropogenous territorial complexes of the Donetsk-Makeyevka industrial agglomeration have been carried out. An analysis of the data obtained showed that urease activity was confined to the underlying horizons. The reclamation activities carried out at the monitoring sites had a positive impact on the processes of primary soil formation. Thus, urease activity increased by 20–104 % compared to areas with natural vegetation when sowing plants of the Fabaceae family and a polycomponent plant mixture. The least enzymatic activity was noted in technogenically disturbed soils with *Kitaibelia vitifolia* Willd.; the increase in relation to the areas where phytomeliorants were not sown was only 10–35 %.

Key words: urease, soil, enzymes, urbanized ecosystems, rock dumps

Citation: Berezovskiy A.S., Syshchykov D.V. Urease activity in soils of anthropogenic territorial complexes of the Donetsk-Makeyevka agglomeration // Industrial Botany. 2023. Vol. 23, № 3. P. 42–51. DOI: 10.5281/zenodo.10442595
