

УДК 591.5:631.4(075)

**ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ВЛИЯНИЯ
ТРОФО-МЕТАБОЛИЧЕСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ
ДОЖДЕВЫХ ЧЕРВЕЙ (LUMBRICIDAE, OLIGOCHAETA)
НА pH-БУФЕРНУЮ СПОСОБНОСТЬ РЕКУЛЬТИЗЕМОВ
В УСЛОВИЯХ СТЕПНОЙ ЗОНЫ УКРАИНЫ**

**Ю. Л. Кульбачко¹, О. А. Дидур¹, И. М. Лоза¹,
А. Е. Пахомов¹, О. В. Безроднова²**

¹ *Днепропетровский национальный университет им. О. Гончара
Украина, 49010, Днепропетровск, просп. Гагарина, 72*

² *Харьковский национальный университет им. В. Н. Каразина
Украина, 61022, Харьков, пл. Свободы, 4
E-mail: didur@ua.fm*

Поступила в редакцию 12.04.13 г.

Экологические аспекты влияния трофо-метаболической деятельности дождевых червей (Lumbricidae, Oligochaeta) на pH-буферную способность рекультивиземов в условиях степной зоны Украины. – Кульбачко Ю. Л., Дидур О. А., Лоза И. М., Пахомов А. Е., Безроднова О. В. – Рассматривается влияние трофо-метаболической деятельности отдельных представителей почвенных сапрофагов на pH-буферную способность рекультивиземов искусственных лесных насаждений в условиях степной зоны Украины. Экспериментально доказано, что копролиты дождевых червей (Lumbricidae) имеют более высокую кислотно-основную буферную емкость по сравнению с буферностью исходных почво-грунтов. Рекультивиземы, обогащенные копролитами дождевых червей, становятся более устойчивыми к негативному воздействию техногенеза. Таким образом, на участках лесной рекультивации деятельность дождевых червей положительно влияет на экологические свойства насыпных почво-грунтов, повышая их буферную способность.

Ключевые слова: лесная рекультивация, почвенные сапрофаги, трофо-метаболическая деятельность, дождевые черви, кислотно-основная буферность.

Environmental aspects of the earthworm (Lumbricidae, Oligochaeta) tropho-metabolic activity on the pH buffering capacity of remediated soils in the Ukrainian steppe zone. – Kulbachko Y. L., Didur O. A., Loza I. M., Pakhomov A. E., and Bezrodnova O. V. – The influence of the tropho-metabolic activity of soil saprophages on the pH-buffering capacity of remediated soils in the Ukraine is considered. Earthworm (Lumbricidae) casts have been experimentally proven to have a higher acid-base buffering capacity in comparison with that of the initial soil. Remediated soils enriched with earthworm casts become more resistant to man-caused effects. Thus, the activity of soil saprophages positively influences on the environmental properties of remediated soils on plots of forest remediation by increasing their buffer capacity.

Key words: forest remediation, soil saprophages, tropho-metabolic activity, earthworm, acid-base buffering capacity.

ВВЕДЕНИЕ

Охрана окружающей среды, рациональное использование природных ресурсов, обеспечение экологической безопасности жизнедеятельности человека – неотъемлемое условие устойчивого экономического и социального развития Украины. В связи с этим особенно актуально решение экологических проблем Западного

Донбасса – крупного центра по добыче каменного угля, расположенного в юго-восточной части Украины. Высокие темпы промышленного освоения этого региона связаны с просадкой территории, подъемом и выходом на дневную поверхность высокоминерализованных грунтовых вод, а также с образованием отвалов из шахтных пород. В результате угледобычи из использования изымаются земли хозяйственного назначения. На их месте формируются техногенные территории (Стеревська, 1977; Зверковский, 1999), для которых характерна олиготрофизация компонентов фитоценозов (Безроднова, 2000).

Нарушенные территории, образованные в процессе угледобычи, могут быть частично восстановлены путем рекультивации (Стеревська, 1977; Узбек и др., 2010). Начальным этапом рекультивации служит технический этап, при котором проводится корректировка ландшафта и осуществляется нанесение плодородного слоя почвы. Одними из основных индикаторов, определяющих продуктивность рекультивированных земель и степень их пригодности для существования биоты, являются величина актуальной кислотности (pH) и степень их засоленности. Токсичные шахтные породы Западного Донбасса, на которые наносят почво-грунты, представляют собой смесь аргиллитов, алевролитов и углистых сланцев. Высокие значения плотности, бесструктурность и большая минерализация их водных вытяжек обуславливают чрезвычайно низкую пригодность таких субстратов для существования биоты (Волох и др., 1996). Поэтому их перекрывают рекультивационным слоем, состоящим из мелкозернистого нетоксичного материала. Для этого используют незасоленные лессовидные суглинки, иногда глины. Следующим этапом восстановительных работ является нанесение плодородного слоя почвы, например гумусированной массы чернозёма обыкновенного. Принимая во внимание его дефицит, могут применять бесчернозёмные варианты насыпок (Волох и др., 1996; Зверковский, 1999).

Заключительным этапом восстановления нарушенных земель является биологический этап рекультивации. Одна из ее разновидностей – лесная рекультивация, направленная на формирование экологически сбалансированных ландшафтов, на которых воссоздается лесная экосистема (Травлеев и др., 1988; Цветкова, 1992). Среди биоты важную роль в создании механизмов устойчивости лесных насаждений играет почвенная мезофауна, в частности, представители ее сапротрофного комплекса – дождевые черви, энхитреиды, двупарноногие многоножки, мокрицы и др. Эти животные в результате своей трофо-метаболической деятельности вносят значительный экологический вклад в преобразование почвенных свойств. Их называют «экосистемными инженерами» – организмами, способными посредством своей активности оказывать влияние на среду обитания и почвенные сообщества биоты, а также способные вызывать сукцессии экосистем (Тиунов, 2007; Eisenhauer, 2010 и др.). Изучение видов-средопреобразователей или «экосистемных инженеров» в настоящее время приобретает все большее значение (Осипов, 2011). Оценка степени их воздействия на среду, в частности влияния трофо-метаболической активности дождевых червей на буферную способность рекультивированных почв, представляет научный и практический интерес.

Буферной способностью почвы называется процесс поддержания своего химического состояния на неизменном уровне при воздействии потока химических веществ. Чаще под буферностью понимают способность почвы противостоять изменению ее актуальной реакции под воздействием различных факторов. Это так называемая кислотно-основная буферность, или рН-буферность (Трускавецкий, 2003; Орлов, 2005). Подавляющее число работ, посвященных изучению буферной способности почв, имеет сельскохозяйственную направленность (Трускавецкий, 2003; Hamkalo, 2004), либо они посвящены изучению буферной способности различных генетических типов почв и не связаны с почвенно-зоологической составляющей (Позняк, Гамкало, 2001; Гамкало, 2005; Hamkalo, 2004). Полностью отсутствуют сведения об участии почвенных сапрофагов в формировании и поддержании буферных свойств рекультивированных под лесными насаждениями. Поэтому целью представленной работы было определение почвенно-экологической эффективности вклада дождевых червей в формирование кислотно-основной (рН-буферной) способности насыпных почв на участках лесной рекультивации.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Полевой материал собран авторами на участке лесной рекультивации на территории Западного Донбасса (Украина, Днепропетровская область). Образцы почв, взятые с глубины 0 – 10 см, и свежие копролиты дождевых червей *Aporrectodea caliginosa* (Savigny, 1826) отобраны на поверхности почво-грунта на участке рекультивации в насаждениях клёна остролистного (2-й и 3-й варианты насыпки). Верхний отобранный для анализа слой второго варианта насыпки представлен негумусированным лессовидным суглинком; а верхний слой третьего варианта – насыпным гумусированным слоем чернозёма обыкновенного. Представителя *A. caliginosa* относят к эндогеям почвенным червям. Это сапрофаг, вторичный деструктор, нитролиберант, гумификатор (Перель, 1979; Стриганова, 1980).

Определение кислотно-основной буферности почвы и ее новообразований – копролитов червей – основано на установлении изменения величины их рН вследствие добавления к ним растворов кислот или щелочей. Для определения буферной способности копролитов дождевых червей и почво-грунтов был использован метод Аррениуса (Физико-химические методы..., 1980). По результатам измерений величины актуальной кислотности строят график, на котором по оси абсцисс указывают количество миллилитров добавленной кислоты (или щёлочи), а по оси ординат – соответствующие им величины рН. Полученные кривые графика позволяют оценить буферность почво-грунтов по «площади буферности» в области кислотного и щелочного интервалов, которую определяют как площадь между кривыми титрования почвы (образец) и песка (эталоны) (Надточий, 1993) и выражают в условных квадратных сантиметрах. Для расчета площадей использовали метод численного интегрирования. Задачу решали с использованием формулы Симпсона (Маркушевич, 1979; Надточий, 1993). Измерение актуальной кислотности (рН) контрольных и опытных образцов проводили в трехкратной повторности. Рассчитывали среднее арифметическое, его стандартную ошибку и достоверную разницу средних (Лакин, 1990).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Для второго варианта насыпки изменения pH исследуемых образцов в кислотном диапазоне приведены в табл. 1. Отметим, что лессовидный суглинок имеет естественную условно-нейтральную реакцию, а копролиты – нейтральную. При добавлении даже небольшого количества кислоты (3 мл) реакция суглинка переходит из условно-нейтральной (6.60) в кислую (5.07), в то время как копролиты, имея исходную нейтральную реакцию (7.16), приобрели условно-нейтральную (6.55), сохраняя ее даже при добавлении больших количеств кислоты.

Таблица 1

Результаты измерения буферности в кислотном и щелочном диапазонах для второго варианта насыпки (лессовидный суглинок, копролиты дождевых червей) и песка (контроль)

№ пробы	Объем добавленного реагента, мл	Кислотность, pH		
		Песок	Лессовидный суглинок	Копролиты
Кислотный интервал (реагент 0.1 М НСl)				
1	0	6.95±0.05	6.60±0.05	7.16±0.06
2	1.5	3.25±0.10	6.09±0.07	6.78±0.08
3	3.0	2.80±0.05	5.07±0.09	6.55±0.05
4	4.5	2.52±0.04	4.64±0.07	6.42±0.07
5	6.0	2.45±0.05	4.43±0.08	6.33±0.11
6	7.5	2.36±0.06	3.93±0.11	6.24±0.09
7	9.0	2.29±0.04	3.73±0.08	6.10±0.08
Щелочной интервал (реагент 0.1 М NaOH)				
1	0	6.95±0.05	6.60±0.05	7.16±0.06
2	1.5	11.45±0.05	6.78±0.08	7.43±0.07
3	3.0	11.65±0.10	7.20±0.10	8.01±0.06
4	4.5	11.72±0.07	7.72±0.07	8.55±0.05
5	6.0	11.87±0.06	8.25±0.10	8.87±0.07
6	7.5	12.05±0.05	8.75±0.05	9.01±0.10
7	9.0	12.05±0.10	9.35±0.07	9.20±0.07

Примечание. Здесь и далее приведены среднее арифметическое и его стандартная ошибка.

При добавлении небольшого количества раствора щелочи (1.5 мл) реакция суглинка остается условно-нейтральной (6.70), а копролиты при этом из исходной нейтральной реакции (7.16) приобретают явную слабощелочную (7.43) (см. табл. 1). При добавлении большего количества щелочи (6 мл) реакция суглинка и копролитов становится щелочной (8.25 и 8.87 соответственно), а при максимальном добавлении (9 мл) развивается сильнощелочная реакция у обоих образцов.

Кривые буферности в кислотном диапазоне для второго варианта насыпки (лессовидный суглинок, копролиты дождевых червей) и песка представлены на рис. 1. Площадь буферности почво-грунта заключена между кривой титрования от песка и кривой титрования от насыпной почвы; площадь буферности копролитов заключена между кривой титрования от песка и кривой титрования от копролитов.

Расположение кривых титрования исследуемых образцов в этом интервале свидетельствует о том, что площадь буферности копролитов значительно больше, чем

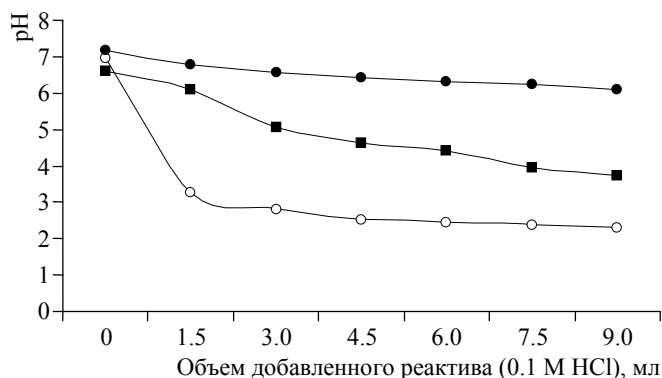


Рис. 1. Кривые буферности (кислотное плечо) для второго варианта насыпки (лессовидный суглинок, копролиты дождевых червей) и песка: ○ – песок, ■ – лессовидный суглинок, ● – копролиты

В табл. 2 приведены значения площадей буферности лессовидного суглинка и копролитов дождевых червей, их статистическая оценка. Суммарная площадь буферности копролитов статистически достоверно больше на 17.9%, чем общая

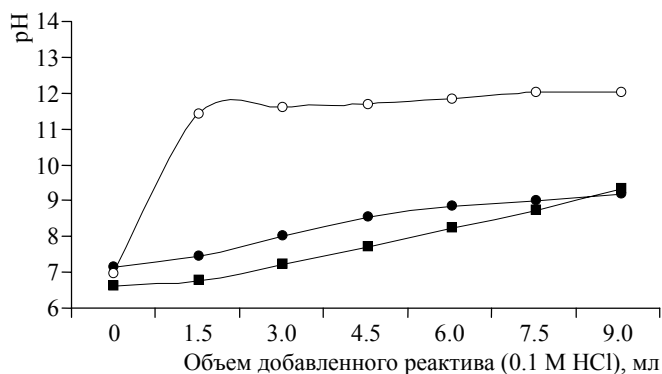


Рис. 2. Кривые буферности (щелочное плечо) для второго варианта насыпки (лессовидный суглинок, копролиты дождевых червей) и песка: ○ – песок, ■ – лессовидный суглинок, ● – копролиты

площадь буферности лессовидного суглинка. На рис. 2 представлены кривые буферности в щелочном диапазоне для второго варианта насыпки (лессовидный суглинок), копролитов дождевых червей и песка. Расположение кривых титрования исследуемых образцов свидетельствует о том, что площадь буферности копролитов меньше, чем лессовидного суглинка. Большой вклад при этом вносится за счет площади буферности копролитов в кислотном интервале.

Для третьего – чернозёмного – варианта насыпки изменения pH исследуемых образцов в кислотном диапазоне приведены в табл. 3. Чернозём имеет исходную естественную условно-нейтральную реакцию, а копролиты – нейтральную. При добавлении небольшого количества кислоты (1.5 мл) реакция чернозёма переходит из условно-нейтральной реакции почвенного раствора (6.82) в слабокислую (5.86), в то время как копролиты, имея исходную нейтральную реакцию (7.16), приобрели явную условно-нейтральную (6.33). При добавлении больших количеств кислоты (от 4.5 до 9.0 мл) реакция почвенного раствора чернозёма и копролитов качественно одинакова – кислая.

Таблица 2

Оценка показателей буферной способности для второго варианта насыпки
(лессовидный суглинок, копролиты дождевых червей)

Интервал	Площадь буферности, см ²	
	Лессовидный суглинок	Копролиты
Кислотный	18.1±0.51	32.5±0.52**
Щелочной	33.8±0.43	28.7±0.06*
Кислотно-щелочной (суммарный)	51.9±0.60	61.1±0.53***

Примечание. Достоверная разница средних с уровнем значимости: * – ≤ 0.05 ; ** – ≤ 0.01 ; *** – ≤ 0.001 .

Для этого же варианта насыпки изменения pH исследуемых образцов при добавлении небольшого количества раствора щелочи (1.5 мл) реакция чернозёма и копролитов меняется на слабощелочную (7.68 и 7.50 соответственно) (см. табл. 3). При прибавлении в дальнейшем объема щелочи почва и копролиты развивают щелочную и сильнощелочную реакцию. При этом реакция раствора из копролитов менее щелочная по сравнению с соответствующей реакцией образцов почвы (чернозёма).

Таблица 3

Результаты измерения буферности в кислотном диапазоне для третьего варианта насыпки
(верхний гумусированный слой чернозёма обыкновенного, копролиты дождевых червей) и песка (контроль)

№ пробы	Объем добавленного реагента, мл	Кислотность (pH)		
		Песок	Чернозём обыкновенный	Копролиты
Кислотный интервал (реагент 0.1 М HCl)				
1	0	6.95±0.05	6.82±0.12	7.16±0.04
2	1.5	3.25±0.10	5.86±0.11	6.33±0.07
3	3.0	2.80±0.05	5.37±0.10	5.77±0.07
4	4.5	2.52±0.04	4.86±0.09	5.34±0.08
5	6.0	2.45±0.05	4.38±0.08	4.97±0.07
6	7.5	2.36±0.06	4.12±0.12	4.65±0.10
7	9.0	2.29±0.04	4.00±0.10	4.43±0.08
Щелочной интервал (реагент 0.1 М NaOH)				
1	0	6.95±0.05	6.82±0.12	7.16±0.04
2	1.5	11.45±0.05	7.68±0.08	7.50±0.06
3	3.0	11.65±0.10	8.67±0.12	8.23±0.09
4	4.5	11.72±0.07	9.42±0.09	8.90±0.10
5	6.0	11.87±0.06	9.94±0.08	9.32±0.07
6	7.5	12.05±0.05	10.31±0.05	9.56±0.08
7	9.0	12.05±0.10	10.46±0.13	9.90±0.05

На рис. 3 представлены кривые буферности в кислотном диапазоне для третьего варианта насыпки (чернозём обыкновенный), копролитов дождевых червей и песка. Напомним, что площадь буферности почвы заключена между кривой титрования от песка и кривой титрования от почвы; площадь буферности копроли-

тов заключена между кривой титрования от песка и кривой титрования от копролитов. Расположение кривых титрования исследуемых образцов в этом диапазоне свидетельствует о том, что площадь буферности копролитов больше, чем площадь

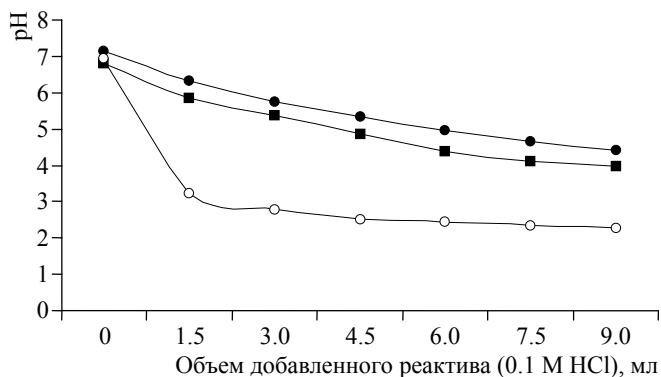


Рис. 3. Кривые буферности (кислотное плечо) для третьего варианта насыпки (чернозём обыкновенный, копролиты дождевых червей) и песка: ○ – песок, ■ – гумусированный слой чернозёма обыкновенного, ● – копролиты

буферности копролитов превышает площадь буферности чернозёма обыкновенного.

В табл. 4 приведены значения площадей буферности гумусированной массы чернозёма обыкновенного и копролитов дождевых червей для третьего варианта насыпки насаждения клёна остролистного, дана их статистическая оценка. Была найдена статистически достоверная разница для каждого интервала воздействия.

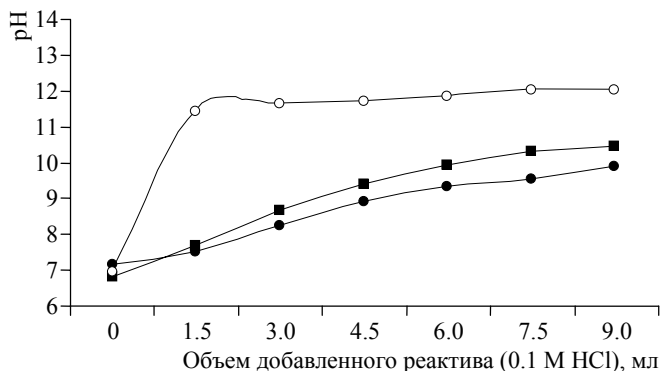


Рис. 4. Кривые буферности (щелочное плечо) для третьего варианта насыпки (чернозём обыкновенный, копролиты дождевых червей) и песка: ○ – песок, ■ – верхний гумусированный слой чернозёма обыкновенного, ● – копролиты

чернозёма на 20.8%. Большой вклад при этом вносится за счет площади буферности копролитов как в кислотном, так и щелочном интервалах.

буферности чернозёма.

На рис. 4 представлены кривые буферности в щелочном диапазоне для третьего варианта насыпки (чернозём обыкновенный), копролитов дождевых червей и песка. Расположение кривых титрования исследуемых образцов (кривая буферности копролитов находится ниже, чем кривая буферности почвы) свидетельствует о том, что площадь бу-

Так, копролиты данного варианта насыпки имеют большую площадь буферности кислотного и щелочного диапазонов по сравнению с исходным почвогрунтом – насыпным слоем чернозёма обыкновенного. Установлено, что суммарная площадь буферности копролитов третьего варианта насыпки статистически достоверно больше, чем общая площадь буферности

Таблица 4

Оценка показателей буферной способности для третьего варианта насыпки
(чернозём обыкновенный, копролиты дождевых червей)

Интервал внешнего воздействия	Площадь буферности, см ²	
	Чернозём	Копролиты
Кислотный	18.9±0.38	23,3±0.52 (*)
Щелочной	21.6±0.54	25.7±0.45*
Кислотно-щелочной (суммарный)	40.5±0.57	49.0±0.62***

Примечание. Достоверная разница средних с уровнем значимости: * – ≤ 0.07 ; * – ≤ 0.05 ; *** – ≤ 0.001 .

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

При изучении экологического влияния трофо-метаболической деятельности сапрофагов на рекультивизёмы установлено, что копролиты дождевых червей как продукты их экскреторной деятельности могут изменять буферные свойств насыпных почво-грунтов участков лесной рекультивации на территории Западного Донбасса (Украина). Результаты проведенного нами эксперимента показывают, что кислотно-основная буферная емкость копролитов дождевых червей статистически достоверно выше, чем исходных изученных почво-грунтов на 17.9 и 20.8%, что может способствовать позитивным изменениям почвенно-экологического состояния рекультивированных почв. Таким образом, эффективность восстановления рекультивизёмов при обогащении их копролитами дождевых червей возрастает, качество насыпных почво-грунтов улучшается.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Безроднова О. В. Антропогенна трансформація трав'яної рослинності долини р. Самари в межах Західного Донбасу : автореф. дис. ... канд. біол. наук. Дніпропетровськ, 2000. 20 с.
- Волох П. В., Кулинич В. В., Масюк Н. Т., Новиков В. П., Новикова А. И., Оберняк И. Н., Фененко В. И. Временные методические рекомендации по оценке рекультивированных земель / Днепропетр. обл. управление по земельным ресурсам. Днепропетровск, 1996. 42 с.
- Гамкало З. Г. Роль органічного добрива в оптимізації кислотно-основних властивостей сірого лісового ґрунту західного Лісостепу України // Агрохімія і ґрунтознавство. 2005. № 66. С. 53 – 58.
- Стеревська Л. В. Рекультивація земель. Київ : Урожай, 1977. 128 с.
- Зверковский В. Н. Биогеоэкологическое обоснование лесной рекультивации земель, нарушенных угольной промышленностью в степной зоне Украины : дис. ... д-ра биол. наук. Днепропетровск, 1999. 566 с.
- Лакин Г. Ф. Биометрия. М. : Высш. шк., 1990. 352 с.
- Маркушевич А. И. Площади и логарифмы. М. : Наука, 1979. 64 с.
- Надточий П. П. Определение кислотно-основной буферности почв // Почвоведение. 1993. № 4. С. 34 – 39.
- Орлов Д. С., Садовникова Л. К., Суханова Л. И. Химия почв. М. : Высш. шк., 2005. 558 с.
- Осипов В. В. Влияние средообразующей деятельности речного бобра *Castor fiber* L. на рыбные ассоциации малых рек заповедника «Приволжская Лесостепь» // Поволж. экол. журн. 2011. № 3. С. 378 – 385.

Ю. Л. Кульбачко, О. А. Дидур, И. М. Лоза, А. Е. Пахомов, О. В. Безроднова

Перель Т. С. Распространение и закономерности распространения дождевых червей фауны СССР. М. : Наука, 1979. 272 с.

Позняк С. П., Гамкало М. З. Кислотно-основная буферность буроземов Украинских Карпат // Почвоведение. 2001. № 6. С. 660 – 669.

Стриганова Б. Р. Питание почвенных сапрофагов. М. : Наука, 1980. 244 с.

Тиунов А. В. Метабиоз в почвенной системе : влияние дождевых червей на структуру и функционирование почвенной биоты : автореф. дис. ... д-ра биол. наук / Ин-т проблем экологии и эволюции им. А. Н. Северцова РАН. М., 2007. 44 с.

Травлев А. П., Овчинников В. А., Зверковский В. Н., Цветкова Н. Н., Лындя А. Г. Биогеоценотический покров Западного Донбасса, его техногенная динамика и оптимизация : учеб. пособие. Днепропетровск : Изд-во Днепропетр. гос. ун-та, 1988. 72 с.

Трускавецький Р. С. Буферна здатність ґрунтів та їх основні функції. Харків : Нове слово, 2003. 225 с.

Узбек И. Х., Кобец А. С., Волох П. В., Дырда В. И., Демидов А. А. Рекультивация нарушенных земель как устойчивое развитие сложных техноэкосистем / под ред. И. Х. Узбека. Днепропетровск : Пороги, 2010. 263 с.

Физико-химические методы исследования почв / под ред. Н. Г. Зырина, Д. С. Орлова. М. : Изд-во МГУ, 1980. 382 с.

Цветкова Н. Н. Особенности миграции органо-минеральных веществ и микроэлементов в лесных биогеоценозах степной Украины. Днепропетровск : Изд-во Днепропетр. гос. ун-та, 1992. 238 с.

Hamkalo Z. Differential acid-base buffering of soil as yardstick of ecological efficiency of an organic component of fertilizings of agrophytocenoses // Ґрунтознавство. 2004. Т. 5, № 3 – 4. С. 43 – 46.

Eisenhauer N. The action of an animal ecosystem engineer : identification of the main mechanisms of earthworm impacts on soil microarthropods // Pedobiologia. 2010. Vol. 53, iss. 6. P. 343 – 352.