

междунар. науч. конф., Минск, 20-21 мая 2010 г. / Министерство образования Республики Беларусь; редкол.: С.П. Кундас [и др.]. – Минск, 2010. – Ч. I. – 243 с.

6. *Сергеева, Т. П.* Видовой состав прямокрылых (Orthoptera) рекреационной зоны г. Минска / Т.П. Сергеева, С.М. Гальченя, Е.Т. Титова, А.С. Лазарь // Сахаровские чтения 2018 года: экологические проблемы XXI века: материалы 18-й междунар. науч. конф., 17-18 мая 2018 г., г. Минск, Республика Беларусь / под ред. С.А. Маскевича, С.С. Позняка. – Минск: МГЭИ им. А.Д. Сахарова БГУ, 2018. – Ч.2. – С. 171-173.

7. *Шейко, А. А.* Жалоносные перепончатокрылые (Aculeata) – посетители интродуцированных видов растений семейства яснотковые (Lamiaceae/Lindi.) в условиях г. Минска / А. А. Шейко, Д. О. Коротева // Итоги и перспективы энтомологии в Восточной Европе: материалы II Междунар. научн.-практ. конф. – Минск, 2017. – С. 431–442.

## МИГРАЦИОННО-АКТИВНЫЕ ФОРМЫ КАДМИЯ, СВИНЦА И УРАНА В УСЛОВИЯХ ПЕРЕУВЛАЖНЕНИЯ ПОЧВЫ

### MIGRATORY-ACTIVE FORMS OF CADMIUM, LEAD AND URANIUM IN THE CONDITIONS OF WATERLOGGING OF THE SOIL

*Г. А. Соколик, С. В. Овсянникова, М. В. Попеня, С. В. Середенко*  
*G. Sokolik, S. Ovsiannikova, M. Papenia, S. Seradzenka*

*Белорусский государственный университет,  
г. Минск, Республика Беларусь  
sokolikga@mail.ru*

*Belarusian State University, Minsk, Republic of Belarus*

Миграционно-активные формы Cd, Pb и U в почве концентрируются в почвенной поровой влаге. Установлен общий запас миграционно-активных Cd, Pb и U в дерново-подзолистой среднесуглинистой почве с уровнем влажности 100% от её полной влагоемкости после выдерживания при определенной температуре в диапазоне 15–40 °С. Обнаружено, что в водонасыщенных образцах почвы доли Cd, Pb и U в поровом растворе соотносятся следующим образом:  $a_{Cd} (0,2–0,3\%) \gg a_{Pb} (0,08–0,10\%) \geq a_U (0,03–0,08\%)$  от общего запаса соответствующего элемента в почве. Характер и степень влияния температуры на концентрацию и общий запас тяжелого металла (далее – ТМ) в почвенном растворе зависят от химической природы ТМ, типа почвы и температуры почвенной среды. Повышение температуры на 5 °С в диапазоне 15–40 °С привело к увеличению содержания Pb в поровом растворе почвы в среднем на 4,5%, а Cd и U – на 4,4 и 13% соответственно.

Migratory-active forms of Cd, Pb and U in the soil are concentrated in soil pore moisture. The total supply of migratory-active Cd, Pb and U in the sod-podzolic medium loamy soil with a moisture level of 100% of soil water capacity after its keeping at the definite temperature in the range of 15–40 °C was established. It was found that in the water saturated soil samples, portions of the Cd, Pb and U in the soil pore solution were correlated as follows:  $a_{Cd} (0.2–0.3\%) \gg a_{Pb} (0.08–0.10\%) \geq a_U (0.03–0.08\%)$  of its total supply in the soil. The character and extent to which temperature effects on concentration and total reserve of heavy metal (HM) in the soil solution depended on the chemical nature of the HM, the soil type and temperature of the soil medium. The 5 °C temperature increase in the range of 15–40 °C caused the content of Pb in the soil pore solution to increase an average of 4.5%, and Cd and U to decrease by 4.4 and 13%, respectively.

*Ключевые слова:* тяжелые металлы, кадмий, свинец, уран, почвенный поровый раствор, миграционно-активные формы тяжелых металлов в переувлажненной почве, температурный фактор.

*Keywords:* heavy metals, cadmium, lead, uranium, soil pore solution, migratory-active species of heavy metals in waterlogged soil, temperature effect.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2020-1-294-298>

Высокая токсичность при относительно низких концентрациях и способность к биоаккумуляции превращают ТМ в объект пристального внимания. Присутствующие в верхней корнеобитаемой части почвенного профиля ТМ усваиваются растениями, включаясь в процессы биологической миграции, и, в конечном счете, поступают по трофическим цепям в организм человека. Загрязнение почв ТМ отражается и на состоянии биологических систем в целом, понижая их устойчивость и биопродуктивность. В целом, загрязнение компонентов окружающей среды ТМ отражается на здоровье населения и приводит к экономическим потерям [1].

Наибольшее экологическое значение имеют соединения ТМ, сосредоточенные в почвенной поровой влаге (миграционно-активная форма) и обратимо связанные с компонентами твердой фазы почвы (обменная форма),

способные поступать в почвенную влагу. В формах, в которых ТМ присутствуют в почвенной влаге, осуществляется их миграция в почве, поступление в растительность, поверхностные и грунтовые воды. В основном из почвенных поровых растворов растения через свои корневые системы усваивают питательные элементы и вместе с ними ТМ [1]. Поэтому при оценке подвижности и биологической доступности ТМ информация об их содержании в почвенных поровых водах представляет особый интерес.

При изменении метеорологических условий меняются характеристики почвы (содержание и структура минеральных и органических компонентов, кислотность среды, окислительно-восстановительный потенциал, микробиологическая активность и другие показатели), что может приводить к трансформации форм нахождения ТМ, определяющих их подвижность и биологическую доступность [2, 3]. Температура и влажность почвенной среды относятся к числу важнейших параметров, от которых зависит состояние почвы и протекающие в ней процессы, влияющие на формы нахождения ТМ, их миграционные свойства, накопление в отдельных компонентах экосистем и, как следствие, – экологическое состояние окружающей среды.

Цель настоящей работы – установить в почве, находящейся в условиях переувлажнения, запас Cd, Pb и U в миграционно-активной форме и степень его изменения в зависимости от температуры.

Объектами изучения являлись образцы (0–20)- см слоя дерново-подзолистой среднесуглинистой почвы, содержащие Cd, Pb и U естественного и антропогенного происхождения, и миграционно-активные формы этих элементов, сосредоточенные в поровой влаге переувлажненной почвы. Почвы подобного типа широко распространены на территории Беларуси.

Образцы почвы были отобраны в 2018 г. в районе населенного пункта Анусино Минского района. После предварительной подготовки и изучения характеристик почву помещали в светонепроницаемые контейнеры из химически инертного материала и увлажняли дистиллированной водой до уровня 100% от полной влагоемкости (далее – ПВ). Контейнеры помещали в ротатор RRMini, вращающийся в различных плоскостях для равномерного распределения воды по всему объему почвы. В течение 3 недель образцы выдерживали в термостате при заданных температурах (15, 25 и 40 °С), после чего из них извлекали поровые воды. За время выдерживания искусственно увлажненных почвенных образцов достигалось квазиравновесное распределение ТМ между твердой и жидкой фазами почвы. Поровые воды получали методом высокоскоростного центрифугирования почвенных проб на установке SIGMA-4-10 и пропускали через мембранные фильтры с диаметром пор 450 нм. Полученные почвенные растворы практически соответствовали жидкой фазе почвы [1]. Все эксперименты проводили в двукратной повторности.

Содержание Cd и Pb в анализируемых пробах устанавливали методом атомно-абсорбционной спектрофотометрии с использованием установки ZEE nit 700. Содержание U определяли посредством радиохимического анализа с идентификацией радионуклидов альфа-спектрометром SOLOIST U0450 фирмы EG&G ORTEC, оснащенным детекторами 576 A-600 RV.

Массовая доля гранулометрической фракции с размером частиц менее  $1 \times 10^{-5}$  м (физическая глина) в исследуемой дерново-подзолистой почве составляла 37%, что позволило отнести ее к среднесуглинистым почвам. Остальные характеристики почвы приведены в таблице.

Таблица – Характеристики почвы

Почва	$pH_{KCl}$	$pH_{H_2O}$	ПВ, %	$OK_{II}$ , %	$[Ca_{подв}]$ , мг/кг	$[K_{подв}]$ , мг/кг	$[Cd]$ , мг/кг	$[Pb]$ , мг/кг	$[U]$ , Бк/кг
Дерново-подзолистая среднесуглинистая	6,9±0,1	7,9±0,1	48,0±1,6	4,0±0,1	490±72	71,0±4,6	0,84±0,06	9,5±0,6	31,0±1,5

Примечание:  $pH_{KCl}$  и  $pH_{H_2O}$  – pH почвенной суспензии в растворе 1 моль/дм<sup>3</sup> KCl и дистиллированной воде;  $OK_{II}$  – общее содержание органических компонентов; ПВ – полная влагоемкость;  $[Me]$  и  $[Me_{подв}]$  – общее содержание металла в почве и содержание металла в подвижной форме в расчете на абсолютно сухое вещество.

Результаты определения концентраций Cd, Pb и U в поровом растворе, выделенном из дерново-подзолистой среднесуглинистой почвы с уровнем влажности 100 % от ПВ после ее выдерживания при различных температурных условиях, приведены на рис. 1.

Концентрация Cd в почвенном поровом растворе при температуре от 15 до 40 °С варьировала в пределах 3,6–4,6 мкг/кг, Pb – 16–20 мкг/кг, U – 19,0–54,3 мБк/кг раствора. По мере повышения температуры концентрации кадмия и урана в почвенном растворе снижались, а концентрация свинца – увеличивалась.

Об изменении с температурой доли каждого из ТМ в составе почвенной поровой влаги от общего содержания соответствующего элемента в почве можно судить по данным, представленным на рис. 2.

В температурном диапазоне 15–40 °С доли рассмотренных ТМ в составе поровой влаги переувлажненной почвы соотносились следующим образом:  $\alpha_{Cd}$  (0,20–0,26%)  $\gg$   $\alpha_{Pb}$  (0,08–0,10%)  $\geq$   $\alpha_U$  (0,03–0,08%). При аналогичных условиях доля миграционно-активного Cd, сосредоточенного в почвенной поровой влаге, примерно в 2–3 раза превышала долю Pb и в 3–7 раз долю урана от общего содержания соответствующего элемента в почве. При температуре 15 °С доли свинца и урана в миграционно-активной форме были практически одинаковыми, при температуре 25 °С доля миграционно-активного Pb превышала соответствующую долю U примерно

в 1,4 раза, а при 40 °С – в 3,4 раза. В целом при повышении температуры на каждые 5 °С в диапазоне 15-40 °С содержание Pb в миграционно-активной форме увеличивалось в среднем на 4,5%, а Cd и U уменьшалось соответственно на 4,4 и 13%.

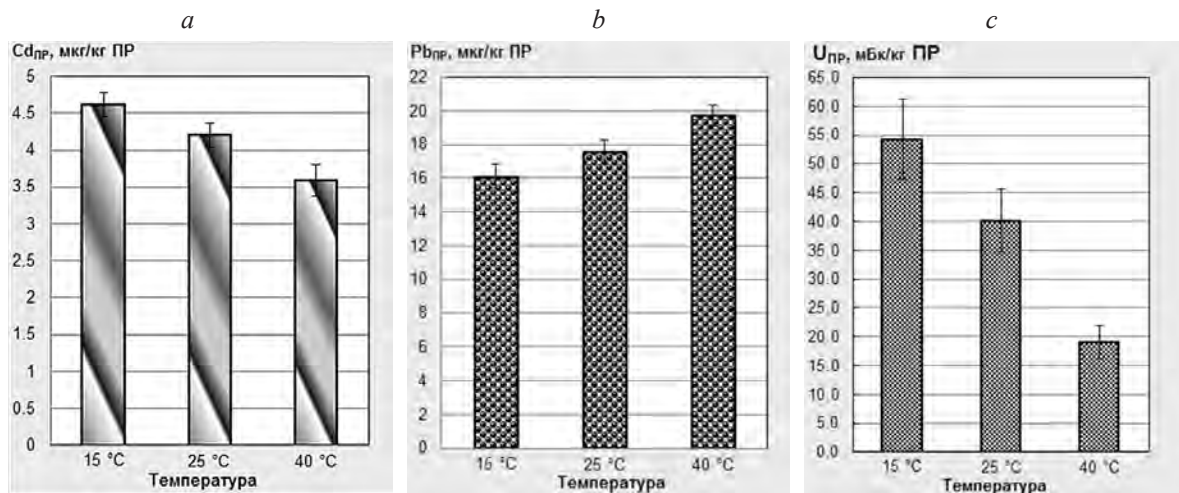


Рисунок 1 – Изменение концентрации ТМ в поровом растворе почвы ( $Me_{PP}$ ) с уровнем влажности 100% от ПВ в зависимости от температуры: а –  $Cd_{PP}$  б –  $Pb_{PP}$ ; с –  $U_{PP}$

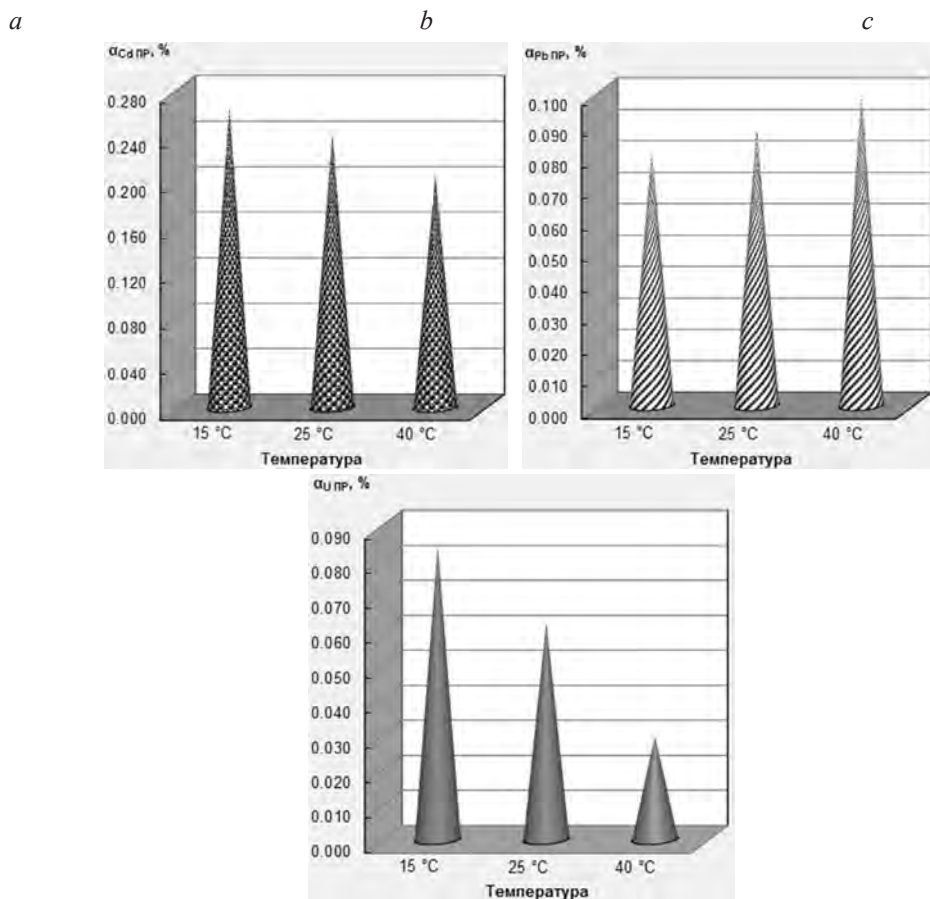


Рисунок 2 – Изменение доли ТМ в составе порового раствора почвы ( $a_{Me_{PP}}$  %) с уровнем влажности 100% от ПВ в зависимости от температуры: а –  $a_{Cd_{PP}}$  б –  $a_{Pb_{PP}}$ ; с –  $a_{U_{PP}}$

Наблюдавшееся с ростом температуры сокращение содержания Cd в почвенном растворе могло быть результатом увеличения степени гидролиза соединений Cd, протекавшего с образованием малорастворимых гидролизных продуктов, которые адсорбировались на компонентах твердой фазы почвенного комплекса. Увеличению степени гидролиза способствовало повышение pH почвенного раствора в результате уменьшения с температурой поглощения углекислого газа почвой.

Увеличение с ростом температуры содержания Pb в почвенном поровом растворе можно объяснить влиянием процесса комплексообразования катионов  $Pb^{2+}$  и  $PbOH^+$  с органическими компонентами почвенного раствора, дополнительно поступающими в раствор из твердой фазы почвы в результате повышения pH почвенной среды. Увеличение pH почвенного раствора способствовало также гидролизу соединений Pb, протекающему с образованием малорастворимых продуктов. Однако в рассматриваемых условиях процессы комплексообразования Pb с органическими компонентами почвенного раствора, способствовавшие переходу Pb из твердой фазы в поровую влагу почвы, вероятно, превалировали над осаждением продуктов гидролиза его соединений на компонентах твердой фазы почвы, ограничивавших переход Pb в почвенный раствор. Образованием комплексов свинца с органическими компонентами почвенного раствора можно объяснить противоположный по сравнению с Cd эффект влияния температуры на содержание Pb в почвенной влаге.

Сокращение с ростом температуры содержания U в почвенной поровой влаге могло быть связано как с увеличением степени гидролиза соединений U, протекавшего с образованием малорастворимых продуктов, так и с восстановлением U (VI) до U (IV) в результате изменения окислительно-восстановительных условий, вызванного сокращением содержания кислорода в почвенном растворе. Соединения четырехвалентного урана характеризуются меньшей растворимостью в природных водах, чем соединения шестивалентного урана [4], что могло привести к сокращению содержания U в почвенной влаге при повышении температуры. На состояние U в почвенном растворе могло повлиять и уменьшение с ростом температуры доли U в составе растворимых карбонатных комплексов в результате снижения поглощения углекислого газа в почве и его растворимости в водной фазе.

Изменением состояния окисления U и уменьшением доли U в составе растворимых карбонатных комплексов можно объяснить и более существенное по сравнению с Cd влияние температурного фактора на запас миграционно-активного U в почве.

Одной из причин изменения сорбционной способности почвы по отношению к ТМ может служить изменение состояния гидроксидов железа, о котором можно судить по содержанию железа в почвенной влаге. Экспериментальные данные по изменению содержания железа в почвенном поровом растворе ( $Fe_{пр}$ ) при тех же условиях, что и рассмотренные выше ТМ, приведены на рис. 3.

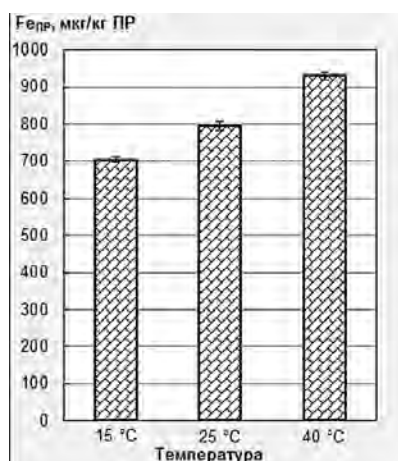


Рисунок 3 – Изменение концентрации железа в поровом растворе почвы ( $Fe_{пр}$ , мкг/кг ПР) с уровнем влажности 100% от ПВ в зависимости от температуры

С повышением температуры содержание железа в почвенном растворе возрастало, что могло быть вызвано изменением окислительно-восстановительных условий в результате уменьшения содержания кислорода в растворе и восстановлением Fe (III) до Fe (II). Из-за более высокой растворимости соединений двухвалентного железа по сравнению с соединениями трехвалентного железа [5] при повышении температуры содержание железа в почвенном растворе увеличивалось, что указывало на сокращение его содержания в твердой фазе почвенного комплекса в форме гидроксидов и соответственно на снижение их сорбционной способности. Среди рассмотренных ТМ лишь содержание Pb в почвенном растворе увеличивалось с ростом температуры. Это позволило заключить, что в условиях повышенной влажности почвы гидроксиды железа играют более существенную роль в закреплении Pb по сравнению с закреплением Cd и U.

На основании полученных результатов можно сделать следующие выводы:

1) В условиях переувлажнения запас кадмия, свинца и урана в миграционно-активной форме зависит от температуры почвы. Характер и степень изменения этого запаса в зависимости от температуры определяются химической природой элемента и особенностями почвы.

2) В температурном диапазоне от 15 до 40 °C в дерново-подзолистой среднесуглинистой почве доли рассмотренных ТМ в миграционно-активной форме соотносятся следующим образом:  $\alpha_{Cd} \gg \alpha_{Pb} \geq \alpha_U$ .

3) При повышении температуры переувлажненной почвы на 5 °C в диапазоне от 15 до 40 °C содержание миграционно-активного свинца возрастает в среднем на 4,5%, а содержание кадмия и урана сокращается соответственно на 4,4 и 13%.

4) Повышение температуры переувлажненной почвы способствует снижению сорбционной способности гидроксидов железа по отношению к свинцу и другим ТМ, поведение которых существенно зависит от состояния гидроксидов железа в почве.

Данные, полученные в результате исследования, показывают, что при анализе поведения ТМ в наземных экосистемах следует учитывать влияние условий увлажнения и температуры окружающей среды на формы их нахождения в почве, определяющие подвижность и биологическую доступность металлов.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Соколик, Г. А., Овсянникова, С. В., Попеня, М. В., Иванова, Т. Г. Поведение радионуклидов урана и радия в почвенно-растительном комплексе агроценозов вне зоны чернобыльского загрязнения Беларуси / Г. А. Соколик, С. В. Овсянникова, М. В. Попеня, Т. Г. Иванова // Весті НАН Беларусі. Сер. хім. навук. – 2013. – № 1. – С. 102–110.
2. Черных, Н. А. Трансформация соединений свинца и кадмия в разных типах почв / Н. А. Черных, Прасанна Джагат // Вестн. РУДН. Сер. Экология и безопасность жизнедеятельности. – 2000. – № 4. – С. 82-88.
3. Минкина, Т. М. Состав соединений тяжелых металлов в почвах / Т. М. Минкина, Г. М. Мотузова, О. Г. Назаренко. – Ростов-на-Дону: Эверест, 2009. – 208 с.
4. Химия актиноидов: в 3 т. : пер. с англ. / Под ред. Дж. Каца [и др.]. – М.: Мир, 1991. – Т. 3. – 525 с.
5. Greenwood, N. N. Chemistry of the Elements / N. N. Greenwood, A. Earnshaw. – Oxford: Butterworth, 1997. – 1600 p.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ МИКРОБИОЛОГИЧЕСКОЙ ДОБАВКИ НА ПРОЦЕСС КОМПСТИРОВАНИЯ RESEARCH OF THE INFLUENCE OF MICROBIOLOGICAL ADDITIVES ON THE COMPOSTING PROCESS

**В. И. Солокова, Г. В. Крусир**  
**V. Sokolova, G. Krusir**

*Одесская национальная академия пищевых технологий, г. Одесса, Украина*  
*valeria.by.valeria@gmail.com*

*Odessa National Academy of Food Technologies, Odeessa, Ukraine*

Исследование процесса компостирования является весьма актуальной задачей. Быстрый рост производства пищевых продуктов приводит к образованию отходов, которые целесообразно и безопасно утилизировать естественным способом - компостированием. Компостирование растительной составляющей пищевых отходов позволяет значительно уменьшить количество отходов, накапливаемых на полигонах, и утилизировать пищевые отходы предприятий гостинично-ресторанной отрасли.

Дополнительное обогащение смеси, содержащей пищевые отходы микробиологической добавкой «Байкал ЭМ» ускоряет процесс созревания и усиливает эффективность готового компоста, который не содержит жизнеспособных семян сорняков и патогенной микрофлоры. Исследуемые образцы имеют достаточный уровень индекса прорастания, и не являются фитотоксичными. Готовый компост может применяться, в качестве удобрения в сельском хозяйстве при выращивании агрокультур.

The study of the composting process is a very urgent task. The rapid growth in food production leads to the formation of waste, which one expediently and safely utilized in a natural way - composting. Composting the plant component of food waste can significantly reduce the amount of waste accumulated at landfills and utilize food waste from hotel and restaurant enterprises.

Additional enrichment of the mixture containing food waste with the Baikal EM microbiological additive accelerates the ripening process and enhances the effectiveness of the finished compost, which does not contain viable weed seeds and pathogenic microflora. The studied samples have a sufficient level of germination index, and are not phytotoxic. Ready-made compost can be used as a fertilizer in agriculture for growing crops.

*Ключевые слова:* компостирование, пищевые отходы, фитотоксичность, Байкал ЭМ.

*Key words:* composting, food waste, phytotoxicity, Baikal EM.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2020-1-298-301>

Ежедневно человечество сталкивается с проблемой переработки отходов, значительную часть которых составляют именно пищевые отходы. Один среднестатистический украинец производит примерно 1 - 1,5 кг отходов в день, где около 40-70% составляют пищевые отходы или их упаковка.