

А. М. МИКАИЛОВ

ТЕКУЩЕЕ СОСТОЯНИЕ ОПУСТЫНИВАНИЯ ЗИМНИХ ПАСТБИЩ В БАССЕЙНЕ КУРЫ

*Бакинский государственный университет
г. Баку, Азербайджанская Республика,
mikayilov84@list.ru*

Установлено, что полупустынные и сухие степные ландшафты области подвержены перегрузке в зимние месяцы года, а сельские пастбища - в течение всего года из-за их низкой устойчивости. В результате этого процесса в полупустынных и сухих степных ландшафтах с низкими природными восстановительными свойствами, эрозией-денудацией, развитием процессов засоления, изменением видового состава растений, физической фрагментацией поверхности, уплотнением почвы, уменьшением биопродуктивности растительности проявляются очаги опустынивания.

Ключевые слова: ландшафт, животноводство, выпас скота, нагрузка, почвенно-растительный комплекс, опустынивание.

УДК 579. 695; 546. 85; 502. 55; 661. 63

А. З. МИНДУБАЕВ¹, Е. К. БАДЕЕВА², Э. В. БАБЫНИН³

БИОЛОГИЧЕСКАЯ ДЕТОКСИКАЦИЯ ФОСФОРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ГРИБАМИ АСПЕРГИЛЛАМИ

¹ *Институт энергетики и перспективных технологий ФИЦ КазНЦ РАН,
г. Казань, Российская Федерация,
mindubaev-az@yandex.ru*

² *Институт органической и физической химии им. А. Е. Арбузова КазНЦ РАН,
г. Казань, Российская Федерация,
ybadeev.61@mail.ru*

³ *Татарский НИИАХП ФИЦ КазНЦ РАН,
г. Казань, Российская Федерация,
edward.b67@mail.ru*

На протяжении более 13 лет ведется работа по исследованию биodeградации элементного фосфора, а также фосфорсодержащих соединений. В перспективе они могут стать основой эффективных методов предотвращения и ликвидации загрязнений токсичными соединениями фосфора.

Ключевые слова: биodeградация, токсичные соединения фосфора, Aspergillus niger.

Биodeградация занимает почетное место среди методов обезвреживания токсичных загрязнений окружающей среды. При использовании биodeградации в окружающую среду не вносятся новые химические загрязнители, не используются жесткие физические факторы (температура, давление и прочее).

Включение нескольких токсичных ксенобиотиков (формальдегид, фенол и синильная кислота) (рисунок 1) в состав сахаров, жиров и протеиногенных аминокислот, является, пожалуй, наиболее показательным примером биodeградации. Это является весомым фундаментальным аргументом в пользу возможности биodeградации даже самых опасных веществ, таких, как объект нашего исследования элементный фосфор.

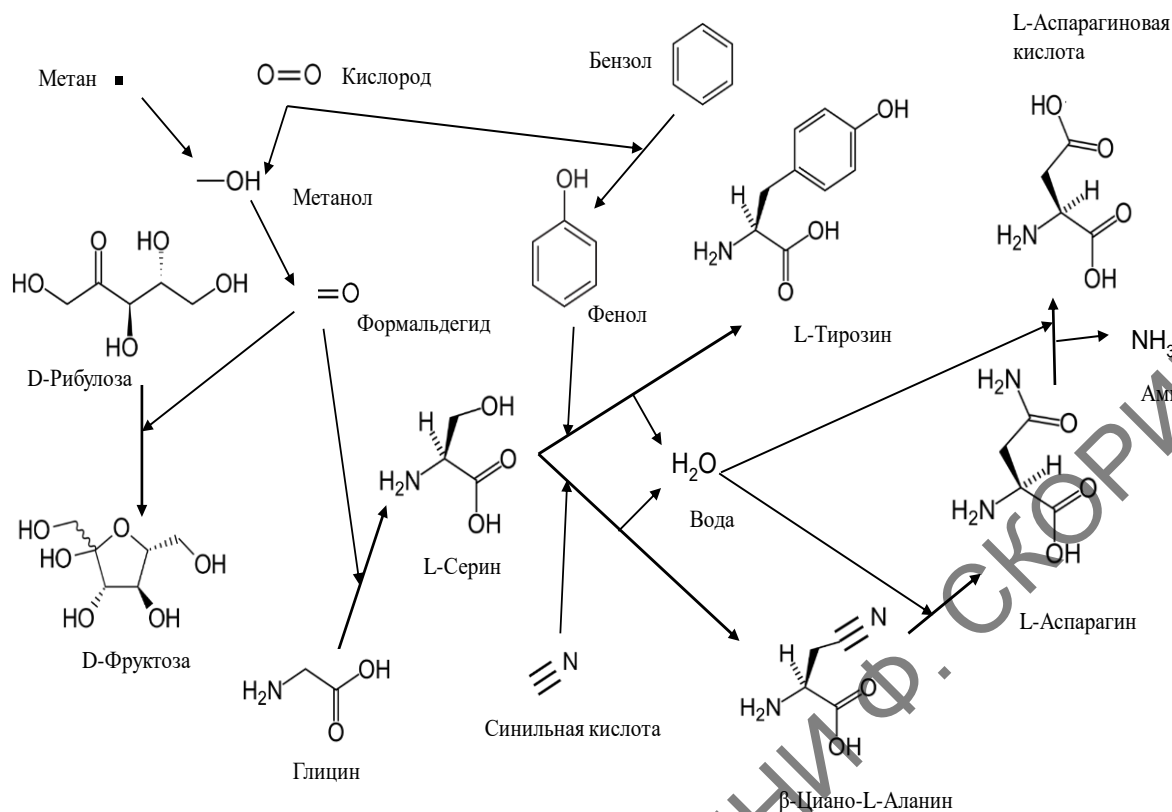


Рисунок 1 – Синтез метанола из метана

Синтез метанола из метана (рисунок 1) осуществляется метанотрофными бактериями (к примеру *Methylococcus capsulatus* (Bath)) [1], фруктозы из метанола гипертермофильными археями *Pyrococcus horikoshii* OT3 (у метилотрофных дрожжей *Candida boidinii* путь отличается – они присоединяют формальдегид к ксилулозе с образованием двух трехуглеродных сахаров, которые далее могут превращаться в глицерин, компонент жиров), серина из метанола – облигатными метилотрофными бактериями (например, *Methylomonas aminofaciens*) [2], фенола из бензола – цитохромом P450 в организме человека [3], тирозина из фенола – обратной реакцией с отщеплением воды, катализируемой тирозиназой кишечной бактерии *Citrobacter freundii* [4], β-цианоаланина из цианида – культурами фиолетовых хромобактерий *Chromobacterium violaceum* [5], аспарагина и аспарагиновой кислоты из β-цианоаланина – высшими растениями, такими, как ячмень обыкновенный *Hordeum vulgare* [6]. На схеме не показано, но растения (например, резуховидка Таля *Arabidopsis thaliana*) и микроорганизмы (гемофильная палочка *Haemophilus influenzae*) [7] способны аналогичным образом утилизировать сероводород, включая его в состав аминокислоты цистеин. Чрезвычайно токсичный селеноводород бактерии кишечные палочки (*Escherichia coli*) присоединяют к серину с образованием селеноцистеина – аминокислоты, входящей в активные центры ряда ферментов [8]. Бактерии, растения и грибы из индола и серина синтезируют триптофан [9]. Стрептомицет беловатый *Streptomyces albulus* PD-1 аналогичным образом утилизирует аммиак с образованием полидиаминопропионовой кислоты [10].

Среди соединений фосфора встречаются самые токсичные вещества, созданные человеком, включая ставшие известными «Новички». Но, несмотря на это, они применяются практически во всех сферах деятельности - в металлургии, производстве пиротехники, спичек, полупроводников, пестицидов, лекарств, боевых отравляющих веществ, пластмасс, фосфорной кислоты, моющих средств, удобрений. Следовательно, стоит задача создания методов обезвреживания как самого белого фосфора, так и производимых из него токсичных соединений фосфора.

Нами выделена и изучена культура *Aspergillus niger*, превращающая ряд токсичных соединений фосфора в фосфат, безвредный для окружающей среды [11]. Предлагаемый нами метод позволит производить очистку сточных вод предприятий и загрязненных территорий. Нам удалось подвергнуть биологической деструкции токсичные неорганические вещества – белый и красный фосфор, ряд солей кислот восстановленного фосфора. Биодegradацию элементарного фосфора мы наблюдали впервые в мире.

При воздействии белого фосфора наблюдается изменение толщины клеточной стенки. Также значительно увеличивается число митохондрий в клетках гиф. Кроме того, на поверхности клеточной стенки появляется дополнительный волокнистый слой, состоящий из протеогликанов – поверхность гифов становится ворсистой, чего не наблюдается в контроле. Данные признаки наверняка связаны с защитой от внешних воздействий – клеточная стенка служит барьером, а митохондрии осуществляют энергетический обмен, поддерживают метаболическую активность.

Исследования протеома, описанные в работе, продемонстрировали четкие различия белкового профиля при росте аспергилла в отсутствие и в присутствии белого фосфора. Белковый профиль в свою очередь определяется экспрессией генов, следовательно, есть основания говорить об ответе на загрязнение белым фосфором на этом уровне [12].

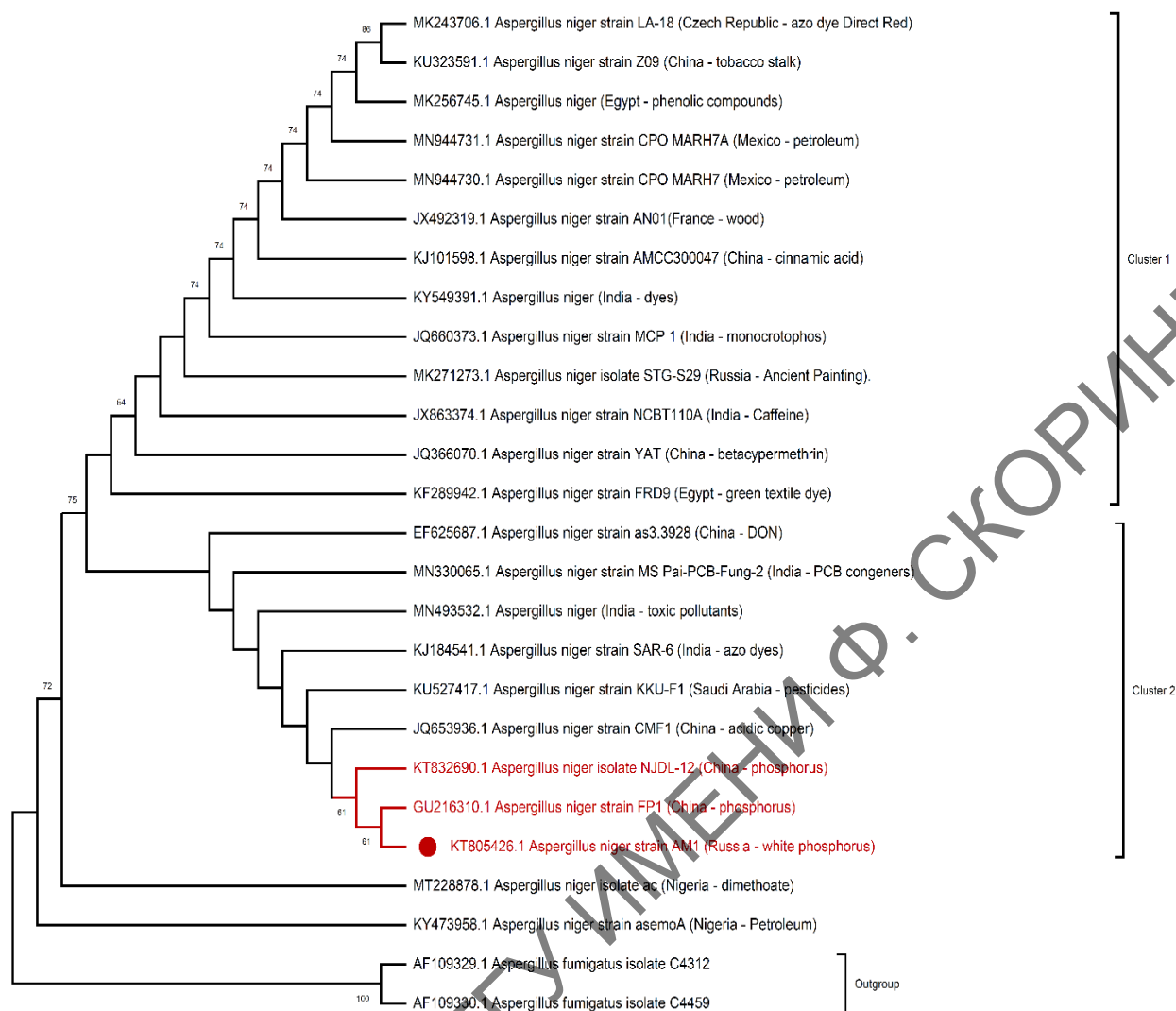
Эволюционная история выделенного из технического белого фосфора штамма *Aspergillus niger* воспроизведена с построением филогенетического дерева. Для сравнения использовались штаммы *A. niger*, выделенные в разных странах мира и представленные в базе *National Center for Biotechnology Information* (NCBI). Результат сравнения свидетельствует о следующем. В наибольшем родстве со штаммом AM1 состоят штаммы *A. niger* NJDL-12 и *A. niger* FP1 из Китая (почва с соевого поля в районе Нанкина), которые способны к растворению малорастворимых в воде почвенных фосфатных минералов при помощи органических кислот, которые они продуцируют [13]. Указанные штаммы выделены из ризосферы растений сои (*Glycine max*) и, по всей видимости, повышают эффективность снабжения растений фосфором, вступая с ними в симбиотические отношения. Они имеют 64 % сходства по гену ITS с объектом нашего исследования – *A. niger* AM1 (рисунок 2).

Роль контролей выполняют внешние группы – штаммы других видов: аспергилл атласный *A. bombycis* и аспергилл дымящийся *Aspergillus fumigatus*. Штаммы из одного кластера, состоящие в близком родстве друг с другом, должны быть сходны по характеристикам. Такие свойства черных аспергиллов, как патогенность или накопление микотоксинов, четко связаны с принадлежностью штамма к определенным кластерам. А оно имеет прямое отношение к практическому применению культур микроорганизмов. Чем больше мы знаем об этих плесневых грибах, тем лучше будем понимать результаты данного анализа. Это делает филогенетический анализ столь важным.

Таким образом, можно предполагать, что штамм AM1 относится к кластеру, эволюционно возникшему в Южной Азии и специализировавшемуся на биодеструкции фосфорных соединений. Возможно, белый фосфор, из которого он выделен, был доставлен в нашу страну из Китая – крупнейшего производителя этого сырья – и штамм завезен вместе с ним.

Для того, чтобы подтвердить родство с известными солубилизаторами фосфатов, мы исследовали способность *Aspergillus niger* AM1 метаболизировать ортофосфат кальция $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ – наиболее распространенную форму фосфора в природе, но при этом малодоступную для живых организмов. Оказалось, что штамм потребляет нерастворимый фосфат так же легко, как растворимые фосфаты, входящие в состав культуральных сред. То есть, действительно является солубилизатором фосфата, как следует из теоретических результатов анализа базы NCBI.

Элемент фосфор в виде простых веществ и восстановленных соединений является опаснейшим загрязнителем окружающей среды. Однако, полностью окисленная форма фосфора – фосфат – является незаменимым компонентом любого живого организма.



**Рисунок 2 – Филогенетическое дерево *Aspergillus niger*.
Представлены штаммы из базы NCBI, способные к биодegradации**

Поэтому, для фосфорных соединений велики перспективы биодegradации. Для фосфорорганических соединений биодegradация уже применяется [14]. Нами создано ООО Интехтокс, которое вошло в реестр участников проекта «Сколково» (рисунок 3).

ИнТехТокс
InTechTox

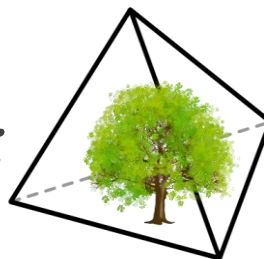


Рисунок 3 – Логотип ООО Интехтокс

Для элементного (белого и красного) фосфора она стала известна из наших работ. Планируется создание и вывод на рынок коммерческих биопрепаратов на основе наших культур микроорганизмов. Это было изначальной целью работы.

Список литературы

1 Hwang, I. Y. Biocatalytic Conversion of Methane to Methanol as a Key Step for Development of Methane-Based Biorefineries / I. Y. Hwang, S. H. Lee, Y. S. Choi, S. J. Park, J. G. Na, I. S. Chang, C. Kim, H. C. Kim, Y. H. Kim, J. W. Lee, E. Y. Lee // *J. Microbiol. Biotechnol.* – 2014. – Vol. 24. No. 12. – P. 1597–1605. DOI:10. 4014/jmb. 1407. 07070

2 Yurimoto, H. Assimilation, Dissimilation, and Detoxification of Formaldehyde, a Central Metabolic Intermediate of Methylotrophic Metabolism / H. Yurimoto, N. Kato, Y. Sakai // *The Chemical Record.* – 2005. – Vol. 5. – No. 6. – P. 367–375. DOI: 10. 1002/tcr. 20056.

3 Компьютерный прогноз путей метаболизма ксенобиотиков в организме человека / В. М. Беженцев [и др.] // *Успехи химии.* – 2016. – Т. 85 № 8. – С. 854–879. DOI: 10. 1070/RCR4614?locatt=label:RUSSIAN

4 Fuganti, C. Stereochemical course of the enzymic synthesis of L-tyrosine from phenol and L-serine catalysed by tyrosine phenol lyase from *Escherichia intermedia* / C. Fuganti, D. Ghiringhelli, D. Giangrosso, P. Grasselli // *J. Chem. Soc., Chem. Commun.* – 1974. – No. 18. – P. 726–727. DOI:10. 1039/C39740000726

5 Brysk, M. M. β -Cyanoalanine Formation by *Chromobacterium violaceum* / M. M. Brysk, W. A. Corpe, L. V. Hanks. . *J. Bacteriol.* – 1969. – Vol. 97. – No. 1. – P. 322–327.

6 Machingura, M. The β -cyanoalanine synthase pathway : beyond cyanide detoxification / M. Machingura, E. Salomon, J. M. Jez, S. D. Ebbs // *Plant, Cell and Environment.* 2016. – Vol. 39. – No. 10. – P. 2329–2341. DOI: 10. 1111/pce. 12755

7 Jez, J. M. The cysteine regulatory complex from plants and microbes: what was old is new again / J. M. Jez, S. Dey // *Current Opinion in Structural Biology.* – 2013. – Vol. 23. – No. 2. – P. 302–310. DOI: 10. 1016/j. sbi. 2013. 02. 011

8 Turanov, A. A. Biosynthesis of Selenocysteine, the 21st Amino Acid in the Genetic Code, and a Novel Pathway for Cysteine Biosynthesis / A. A. Turanov, X.-M. Xu, B. A. Carlson, M.-H. Yoo, V. N. Gladyshev, D. L. Hatfield // *Adv. Nutr.* 2011. – Vol. 2. – P. 122–128. DOI: 10. 3945/an. 110. 000265

9 Buller, A. R. Tryptophan Synthase Uses an Atypical Mechanism To Achieve Substrate Specificity / A. R. Buller, P. van Roye, J. Murciano-Calles, F. H. Arnold // *Biochemistry.* – 2016. – Vol. 55. – No. – P. 7043–7046. DOI: 10. 1021/acs. biochem. 6b01127

10 Xu, Z. Systematic unravelling of the biosynthesis of poly (L-diaminopropionic acid) in *Streptomyces albulus* PD-1 / Z. Xu, Z. Sun, S. Li, Z. Xu, C. Cao, Z. Xu, X. Feng, H. Xu // *Sci. Rep.* – 2015. – Vol. 5. – No. 17400. – P. 1–10. DOI: 10. 1038/srep17400

11 Mindubaev, A. Z. The biological detoxication of yellow (white) phosphorus / A. Z. Mindubaev, E. V. Babynin, E. K. Badeeva, A. D. Voloshina, S. T. Minzanova, Y. A. Akosah // Сборник статей V Международной научно-практической конференции «Трансграничное сотрудничество в области экологической безопасности и охраны окружающей среды», Гомель, Беларусь, 4–5 июня 2020 г. – С. 424–428. [In English]

12 Mindubaev, A. Z. Effect of White Phosphorus on the Survival, Cellular Morphology, and Proteome of *Aspergillus niger* / A. Z. Mindubaev, S. V. Kuznetsova, V. G. Evtugin, A. G. Daminova, T. V. Grigoryeva, Y. D. Romanova, V. A. Romanova, V. M. Babaev, D. N. Buzyurova, E. V. Babynin, E. K. Badeeva, S. T. Minzanova, L. G. Mironova // *Applied Biochemistry and Microbiology.* – 2020. – Vol. 56. – No. 2. – P. 194–201.

13 Mindubaev, A. Z. Biological Degradation of Yellow (White) Phosphorus, a Compound of First Class Hazard / A. Z. Mindubaev, E. V. Babynin, E. K. Bedeeva, S. T. Minzanova, L. G. Mironova, Y. A. Akosah // *Russian Journal of Inorganic Chemistry.* – 2021. – Vol. 66. – No. 8. – P. 1239–1244. DOI: 10. 1134/S0036023621080155

14 Singh, B. K. Microbial degradation of organophosphorus compounds / B. K. Singh, A. Walker // *FEMS Microbiology Reviews.* – 2006. – Vol. 30. – No. 3. – P. 428–471. DOI: 10. 1111/j. 1574-6976. 2006. 00018. x

A. Z. Mindubaev¹, E. K. Badeeva², E. V. Babynin³

PHOSPHORUS COMPOUNDS BIOLOGICAL DETOXIFICATION BY ASPERGILLS FUNGI

¹ Institute of Power Engineering and Advanced Technologies,
Kazan Scientific Center, Russian Academy of Sciences,
Kazan, Russia,
mindubaev-az@yandex.ru

²A. E. Arbutov Institute of Organic and Physical Chemistry,
Kazan Scientific Center of Russian Academy of Sciences,
Kazan, Russia,
ybadeev.61@mail.ru

³Tatar Research Institute of Agricultural Chemistry and Soil,
Kazan Scientific Center of Russian Academy of Sciences,
Kazan, Russia,
edward.b67@mail.ru

Abstract. For more than 13 years, work has been carried out on the biodegradation of elemental phosphorus as well as phosphorus-containing compounds. In the long term, they can form the basis for effective methods of preventing and eliminating pollution by toxic phosphorus compounds.

Keywords: biodegradation, detoxication, Aspergillus niger.

УДК 551.4

А. В. НАУМЕНКО, Н. В. ГАГИНА

МЕТОДИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ К ОЦЕНКЕ ОБРАЩЕНИЯ С РТУТЬСОДЕРЖАЩИМИ ОТХОДАМИ

Белорусский государственный университет,
г. Минск, Республика Беларусь,
naumenko.aleksa@list.ru, Nahina@bsu.by

В статье рассмотрены основные методические подходы к оценке обращения со ртутьсодержащими отходами, предложен алгоритм их геоэкологической оценки для Республики Беларусь, рассмотрены примеры визуализации информации, и характеристики выявленных типов обращения с ртутьсодержащими отходами в Республике Беларусь.

Ключевые слова: ртутьсодержащие отходы, обращение с отходами, геоэкологическая оценка, комплексный подход, направления оптимизации.

Одной из наиболее важных проблем в настоящее время является проблема обращения со ртутьсодержащими отходами. Это связано с тем, что ртуть является высокотоксичным химическим веществом и наносит необратимые нарушения как здоровью населения, так и окружающей среде. В настоящее время наблюдается активный рост отходов, содержащих ртуть, что связано с неудовлетворительным регулированием в данной области и, как следствие, происходит усиление негативного воздействия ртути на окружающую среду и организм человека.

Основными международными актами, которые регулируют обращение со ртутьсодержащими отходами, являются Базельская конвенция о контроле за трансграничной перевозкой опасных отходов и Минаматская конвенция, которая ограничивает производство, использование и экспорт ртутьсодержащих товаров.

Обращение с ртутьсодержащими отходами в Республике Беларусь регулируется Законом «Об обращении с отходами» и нормативно-правовыми актами, которые регулируют вопросы обращения с отходами, охраны окружающей среды и здоровья населения [1].