

**Биотехнология и микробиология
анаэробной переработки органических
коммунальных отходов**

Под общей редакцией А.Н. Ножевниковой



2016
Москва
Университетская книга

УДК 504.06+574+663.1
ББК 579.66
Б63

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации, идентификационный номер RFMEFI60714X0024

Рекомендовано к опубликованию Научно-техническим советом
Института микробиологии им. С.Н. Виноградского ФИЦ Биотехнологии РАН

Рецензенты:

В.И. Панфилов, и.о. проректора по науке и инновационной деятельности
Российского химико-технологического университета им. Д.И. Менделеева,
заведующий кафедрой биотехнологии, профессор, доктор технических наук, г. Москва;

И.А. Архипченко, ведущий научный сотрудник Всероссийского
научно-исследовательского института сельскохозяйственной микробиологии РАН,
доктор биологических наук, профессор, г. Санкт-Петербург

Б63 Биотехнология и микробиология анаэробной переработки органических коммунальных отходов: коллективная монография / общая ред. и составл. А.Н. Ножевниковой, А.Ю. Каллистова, Ю.В. Литти, М.В. Кевбрина; . – М.: Университетская книга, 2016. – 320 с., ил.

ISBN 978-5-98699-166-5

Рассмотрены микробиологические, биотехнологические, экологические и коммерческие аспекты анаэробной переработки органических коммунальных отходов (твердых бытовых отходов и осадков сточных вод) с получением энергоносителя биогаза. Проанализирован состав и способы утилизации ТБО в России. Особое внимание уделено разложению отходов на полигонах ТБО и экологическим проблемам, связанным с этим способом утилизации. Описаны альтернативные способы переработки бытовых отходов, в том числе экологически безопасные микробные биотехнологии. Изложены фундаментальные основы анаэробного разложения органического вещества и функционирования метаногенных микробных сообществ, описаны группы микроорганизмов, участвующих в разложении органических отходов. Проведен анализ факторов, влияющих на микробную деградацию органической фракции ТБО, освещены различные типы промышленных, пилотных и лабораторных биогазовых реакторов, преимущества и недостатки систем анаэробной ферментации ОФ-ТБО. Обобщены данные о принципах анаэробной обработки первичного и вторичного осадков сточных вод (ОСВ). Проанализирован состав ОСВ, способы утилизации, факторы, влияющие на эффективность микробной ферментации (сбраживания) ОСВ, проиллюстрированы особенности конструкции промышленных метантенков.

Для научных работников и специалистов, разрабатывающих технологии и системы анаэробной переработки органических отходов. Может использоваться в учебном процессе при подготовке студентов и аспирантов в области прикладной микробиологии, а также современных биотехнологий и их применения для охраны окружающей среды. Представляет интерес для работников коммунальных служб и природоохранных организаций.

УДК 504.06+574+663.1
ББК 579.66

ISBN 978-5-98699-166-5

- © Институт микробиологии им. С.Н. Виноградского, Федеральный исследовательский центр «Фундаментальные основы биотехнологии» РАН, 2016
- © Ножевникова А.Н. (ред.), Каллистова А.Ю., Литти Ю.В., Кевбрина М.В., 2016
- © Университетская книга, 2016

ОГЛАВЛЕНИЕ

ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ	7
ПРЕДИСЛОВИЕ	10
ВВЕДЕНИЕ	13
Глава 1. ПРОДУКЦИЯ, СОСТАВ И УТИЛИЗАЦИЯ ТВЕРДЫХ БЫТОВЫХ ОТХОДОВ (ТБО) В РОССИИ	20
1.1. Продукция и состав ТБО	20
1.2. Утилизация ТБО	23
1.3. Организация полигонов ТБО	24
1.3.1. Общие сведения по организации полигонов ТБО	24
1.3.2. Полигоны ТБО Ростовской области	26
1.3.3. Полигоны ТБО Московской области	30
1.3.4. Полигоны ТБО Ханты-Мансийского округа	34
1.4. Микробные процессы разложения органического вещества отходов на полигонах ТБО	37
1.5. Влияние полигонов ТБО на окружающую среду	40
1.5.1. Эмиссия парниковых газов с поверхности полигонов ТБО	40
1.5.2. Снижение эмиссии метана аэробными метаноокисляющими бактериями	44
1.5.3. Фильтрационные воды (личаты) полигонов ТБО	49
Глава 2. АЛЬТЕРНАТИВНЫЕ СПОСОБЫ УТИЛИЗАЦИИ ТБО	52
2.1. Сепарация ТБО – необходимая ступень рациональной переработки ТБО	52
2.2. Термические методы переработки ТБО на мусоросжигательных заводах	54
2.3. Биотехнологические методы переработки ТБО	58
2.3.1. Общие сведения о биотехнологических методах переработки ТБО	58
2.3.2. Вермикомпостирование и вермикультивирование	60
2.3.3. Компостирование	64
2.3.4. Захоронение ОФ-ТБО на санитарных полигонах и полигонах-биореакторах	72
2.3.5. Анаэробная ферментация (метановое сбраживание) в биореакторах	76

Глава 3. МИКРОБИОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПРОЦЕССА АНАЭРОБНОГО РАЗЛОЖЕНИЯ ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА ОТХОДОВ	81
3.1. Состав органических отходов	81
3.2. Стадии анаэробного микробного разложения органического вещества в природных и антропогенных экосистемах.....	84
3.3. Основные группы микроорганизмов, участвующих в разложении органических отходов.....	87
3.3.1. Гидролитические бактерии	88
3.3.2. Ферментативные бактерии	97
3.3.3. Синтрофные (протон-восстанавливающие) бактерии.....	99
3.3.4. Гомоацетатные бактерии	112
3.3.5. Метаногенные археи	113
Глава 4. БИОТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПРОЦЕССА АНАЭРОБНОЙ ФЕРМЕНТАЦИИ ОРГАНИЧЕСКИХ ОТХОДОВ	130
4.1. Жидкофазная и твердофазная анаэробная ферментация органических отходов.....	130
4.2. Выход биогаза при разложении органических отходов.....	131
4.3. Нагрузка по органическому веществу (OLR)	136
4.4. Время пребывания и процент распада беззольного вещества	139
4.5. Гидравлическое время пребывания (HRT) и время пребывания сухого вещества (SRT)	140
4.6. Общее содержание сухого вещества и размер частиц сырья	143
4.7. Температура	144
4.8. Соотношение C/N.....	146
4.9. Кислотность (pH) и щелочность среды	147
4.10. Ингибиторы процесса анаэробной ферментации.....	149
4.11. Микробное сообщество инокулята	155
Глава 5. КОММЕРЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ АНАЭРОБНОЙ ФЕРМЕНТАЦИИ ОРГАНИЧЕСКОЙ ФРАКЦИИ ТБО	158
5.1. Системы анаэробной ферментации отходов.....	158
5.2. Анаэробные реакторы, работающие в непрерывном режиме	159
5.2.1. Одностадийные системы жидкофазной ферментации (single-stage wet systems).....	159
5.2.2. Одностадийные системы твердофазной ферментации (single-stage dry systems)	161
5.2.3. Многостадийные реакторы (multi-stage digesters)	167
5.3. Анаэробные реакторы, работающие в периодическом режиме (batch digesters).....	171

5.4. Преимущества и недостатки различных систем анаэробной ферментации.....	177
5.5. Заключение по принципам и методам обработки органической фракции ТБО.....	181
Глава 6. ПРОДУКЦИЯ, СОСТАВ И УТИЛИЗАЦИЯ ОСАДКОВ СТОЧНЫХ ВОД (ОСВ) В РОССИИ	182
6.1. Продукция ОСВ.....	182
6.1.1. Количество и состав ОСВ.....	182
6.1.2. Канализационные очистные сооружения Новочеркасска и Ростова-на-Дону	183
6.1.3. Очистные сооружения Москвы	187
6.1.4. Канализационно-очистные сооружения Ханты-Мансийска.....	199
6.2. Состав ОСВ.....	202
6.3. Утилизация ОСВ.....	208
6.3.1. Общая характеристика методов обработки и утилизации ОСВ.....	208
6.3.2. Методы обезвоживания ОСВ.....	210
6.3.3. Уплотнение ОСВ на иловых площадках и компостирование	212
6.3.4. Термические методы утилизации ОСВ.....	214
6.3.5. Анаэробная ферментация (сбраживание) ОСВ.....	216
Глава 7. ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ АНАЭРОБНОГО СБРАЖИВАНИЯ (ФЕРМЕНТАЦИИ) ОСВ	218
7.1. Специфические характеристики осадков.....	218
7.2. Время пребывания сухого вещества (SRT) и гидравлическое время пребывания (HRT).....	219
7.3. Перемешивание сырья	222
7.4. Влияние света в видимом диапазоне волн	223
7.5. Ингибирование	224
Глава 8. ТЕХНОЛОГИИ АНАЭРОБНОГО СБРАЖИВАНИЯ ОСВ	226
8.1. Низкоинтенсивное (без подогрева и перемешивания) сбраживание ОСВ	226
8.2. Высокоинтенсивное сбраживание ОСВ	227
8.3. Сбраживание (высоко)уплотненных осадков	229
8.4. Мезофильное и термофильное сбраживание ОСВ.....	236
8.5. Двухступенчатое сбраживание ОСВ.....	238
8.6. Двухстадийное сбраживание ОСВ.....	239
8.7. Методы предобработки осадка.....	241

8.8. Биodeградебельность полимерных флокулянтов и их влияние на процесс сбраживания ОСВ	245
Глава 9. ПРИНЦИПИАЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ ПРОМЫШЛЕННЫХ АНАЭРОБНЫХ РЕАКТОРОВ ДЛЯ СБРАЖИВАНИЯ ОСВ.....	250
9.1. Конструктивные особенности реакторов высокоинтенсивного сбраживания ОСВ	250
9.2. Форма корпуса	250
9.3. Крыша реактора	253
9.4. Перемешивание осадка	255
9.5. Система подогрева.....	257
9.6. Пуск промышленного реактора.....	259
9.7. Оптимизация параметров работы эксплуатируемых метантенков	263
9.8. Методы контроля и стабилизации метанового сбраживания ОСВ	266
Глава 10. СОВМЕСТНОЕ СБРАЖИВАНИЕ ОСВ И ОФ-ТБО	273
10.1. Совместное сбраживание ОСВ и ОФ-ТБО в лабораторных реакторах.....	273
10.2. Совместное сбраживание ОСВ и ОФ-ТБО в промышленных реакторах.....	285
10.3. Сравнительный анализ и заключение по методу совместного сбраживания ОСВ и ОФ-ТБО	287
ЗАКЛЮЧЕНИЕ. Экономический аспект развития и внедрения новых технологий переработки городских органических отходов	290
ЛИТЕРАТУРА	

288. Syntrophic degradation of proteinaceous materials by the thermophilic strains *Coprothermobacter proteolyticus* and *Methanothermobacter thermautotrophicus* / K. Sasaki, M. Morita, D. Sasaki [et al.] // Biosci. Bioeng. 2011. V. 112.
289. *Schafer P., Farrell J.* Turn up the heat // Water Environ. Technol. 2000.
290. Advanced anaerobic digestion performance comparisons / P.L. Schafer, J.B. Farrell, G. Newman [et al.] // Proceedings of the Water Environment Federation, WEFTEC 2002: Session 41 through Session 50.
291. *Schink B., Stams A.J.M.* Syntrophism among prokaryotes / The Prokaryotes: an Evolving Electronic Resource for the Microbiological Community; eds. M. Dworkin, S. Falkow, E. Rosenberg, K.-H. Schleifer, E. Stackebrandt. New York: Springer-Verlag, 2006.
292. *Schnurer A., Schink B., Svensson B.H.* *Clostridium ultunense* sp. nov., a mesophilic bacterium oxidizing acetate in syntrophic association with a hydrogenotrophic methanogenic bacterium // Int. J. Syst. Bacteriol. 1996. V. 46. No. 4.
293. *Schnurer A., Jarvis A.* Microbiological handbook for biogas plants // Swedish Waste Management U2009:03, Swedish Gas Centre Report 207. 2010.
294. Comparative oxidation and net emission of methane and selected non-methane organic compounds in landfill cover soils / C. Schuetz, J. Bogner, J. Chanton [et al.] // Environ. Sci. Technol. 2003. V. 37.
295. *Syntrophothermus lipocalidus* gen. nov., sp. nov., a novel thermophilic, syntrophic, fatty-acid-oxidizing anaerobe which utilizes isobutyrate / Y. Sekiguchi, Y. Kamagata, K. Nakamura [et al.] // Int. J. Syst. Evol. Microbiol. 2000. V. 50.
296. *Tepidanaerobacter syntrophicus* gen. nov., sp. nov., an anaerobic, moderately thermophilic, syntrophic alcohol- and lactate-degrading bacterium isolated from thermophilic digested sludges / Y. Sekiguchi, H. Imachi, A. Susilorukmi [et al.] // Int. J. Syst. Evol. Microbiol. 2006. V. 56.
297. *Semrau J.D.* Current knowledge of microbial community structures in landfills and its cover soils // Appl. Microbiol. Biotechnol. 2011. V. 89.
298. Microbial ecology of anaerobic digesters: The key players of anaerobiosis / F.A. Shah, Q. Mahmood, M.M. Shah [et al.] // The Scientific World Journal. 2014. V. 2014.
299. *Solid Waste Management* // United Nations Environment Programme (UNEP). 2005. V. 1.
300. *Sosnowski P., Wieczorek A., Ledakowicz S.* Anaerobic co-digestion of sewage sludge and organic fraction of municipal solid wastes // Adv. Environ. Res. 2003. V. 7.

301. *Stams A.J.M., Plugge C.M.* Electron transfer in syntrophic communities of anaerobic bacteria and archaea // *Nat. Rev. Microbiol.* 2009. V. 7.
302. Role of syntrophic microbial communities in high-rate methanogenic bioreactors / A.J.M. Stams, D.Z. Sousa, R. Kleerebezem [et al.] // *Wat. Sci. Technol.* 2012. V. 66.
303. Optimization of diagnostic microarray for application in analyzing landfill methanotroph communities under different plant covers / N. Stralis-Pavese, A. Sessitsch, A. Weilharter [et al.] // *Environ. Microbiol.* 2004. V. 6.
304. Anaerobic co-digestion of municipal solid waste and biosolids under various mixing conditions / P.G. Stroot, K.D. McMahon, R.I. Mackie [et al.] // *Wat. Res.* 2001. V. 35.
305. *Sung S., Liu T.* Ammonia inhibition on thermophilic anaerobic digestion // *Chemosphere.* 2003. V. 53.
306. *Tada C., Sawayama S.* Photoenhancement of biogas production from thermophilic anaerobic digestion // *Biosci. Bioeng.* 2004. V. 98.
307. *Tada C., Tsukahara K., Sawayama S.* Illumination enhances methane production from thermophilic anaerobic digestion // *Appl. Microbiol. Biotechnol.* 2006. V. 71.
308. *Tanaka K., Nakamura K., Mikami E.* Fermentation of cinnamate by a mesophilic strict anaerobe, *Acetivibrio multivorans* sp. nov. // *Arch. Microbiol.* 1991. V. 155.
309. *Caloramator proteoclasticus* sp. nov., a new moderately thermophilic anaerobic proteolytic bacterium / S. Tarlera, L. Muxi, M. Soubes [et al.] // *Int. J. Syst. Bacteriol.* 1997. V. 47.
310. *Tchobanoglous G., Burton F.L., Stensel H.D., Metcalf & Eddy Inc.* Wastewater engineering: treatment and reuse. 4th Edition. Boston: McGraw-Hill Co., 2003.
311. *Thauer R.K., Jungermann K., Decker K.* Energy conservation in chemotrophic anaerobic bacteria // *Bacteriol. Rev.* 1977. V. 41.
312. Ultrasonic waste activated sludge disintegration for improving anaerobic stabilization / A. Tiehm, K. Nickel, M. Zellhorn [et al.] // *Water Res.* 2001. V. 35.
313. *Turovskiy I.S., Mathai P.K.* Wastewater sludge processing. New York: Wiley, 2006.
314. *Bacteroides paurosaccharolyticus* sp. nov., isolated from a methanogenic reactor treating waste from cattle farms / A. Ueki, K. Abe, Y. Ohtaki [et al.] // *Int. J. Syst. Evol. Microbiol.* 2011. V. 61.

315. Characterization of methanogenic and methanotrophic assemblages in landfill samples / I. Uz, M.E. Rasche, T. Townsend [et al.] // *The Royal Society Biology Letters*. 2003. V. 270.
316. *Van Haandel A., Van der Lubbe J.* Handbook Biological Waste Water Treatment. Quist Publishing, 2007.
317. Anaerobic thermophilic digestion of sewage sludge with a thickened sludge recycle / A.Ya. Vanyushina, Yu.A. Nikolaev [et al.] // *Water Sci. Technol.* 2012. V. 65.
318. *Vavilin V.A., Angelidaki I.* Anaerobic degradation of solid material: importance of initiation centers for methanogenesis, mixing intensity, and 2D distributed model // *Biotechnol. Bioeng.* 2005. V. 89.
319. Modelling MSW decomposition under landfill conditions considering hydrolytic and methanogenic inhibition / V.A. Vavilin, S. Jonsson, J. Ejlertsson [et al.] // *Biodegradation*. 2006. V. 17.
320. Hydrolysis kinetics in anaerobic degradation of particulate organic material: An overview / V.A. Vavilin, B. Fernandez, J. Palatsi [et al.] // *Waste Manage.* 2008. V. 28.
321. Similar evolution in $\delta^{13}\text{CH}_4$ and model-predicted relative rate of acetlastic methanogenesis during mesophilic methanization of municipal solid wastes / V.A. Vavilin, X. Qu, L. Mazéas [et al.] // *Water Sci. Technol.* 2009. V. 60.
322. *Vavilin V.A.* Estimating evolution of $\delta^{13}\text{CH}_4$ during methanization of cellulosic waste based on stoichiometric chemical reactions, microbial dynamics and stable carbon isotope fractionation // *Bioresour. Technol.* 2012. V. 110.
323. *Walley P.* Optimizing thermal hydrolysis for reliable high digester solids: loading and performance // 12th European Biosolids & Organic Resources Conference, 12–14 November 2007, Manchester, UK.
324. *Wallrabenstein C., Hauschild E., Schink B.* Syntrophobacter pfennigii sp. nov., new syntrophically propionate-oxidizing anaerobe growing in pure culture with propionate and sulfate // *Arch. Microbiol.* 1995. V. 164.
325. Development of microbial populations in the anaerobic hydrolysis of grass silage for methane production / H. Wang, M. Vuorela, A.-L. Keränen [et al.] // *FEMS Microbiol. Ecol.* 2010. V. 72.
326. *Ward R.S., Williams G.M., Hills C.C.* Changes in major and trace components of landfill gas during subsurface migration // *Waste Manage. Res.* 1996. V. 14.
327. *Warith M.* Bioreactor landfills: experimental and field results // *Waste Manage.* 2002. V. 22.

328. Wastewater treatment plant design / ed. P.A. Vesilind. London: IWA Publishing, 2003.

329. *Water Environment Federation (WEF)*. Operation of Municipal Wastewater Treatment Plants: Manual of Practice No. 11, Sixth Edition. New York: WEF Press, 2008.

330. Diversity of the resident microbiota in a thermophilic municipal biogas plant / A. Weiss, V. Jérôme, R. Freitag [et al.] // *Appl. Microbiol. Biotechnol.* 2008. V. 81.

331. *Westerholm M., Roos S., Schnürer A.* Syntrophaceticus schinkii gen. nov., sp. nov., an anaerobic, syntrophic acetate-oxidizing bacterium isolated from a mesophilic anaerobic filter // *FEMS Microbiol. Lett.* 2010. V. 309.

332. *Westerholm M., Roos S., Schnürer A.* Tepidanaerobacter acetatoxydans sp. nov., an anaerobic, syntrophic acetate-oxidizing bacterium isolated from two ammonium-enriched mesophilic methanogenic processes // *Syst. Appl. Microbiol.* 2011. V. 34.

333. Quantification of syntrophic acetate oxidizing microbial communities in biogas processes / M. Westerholm, J. Dolfing, A. Sherry [et al.] // *Environ. Microbiol. Rep.* 2011. V. 3.

334. *Ethanoligenens harbinense* gen. nov., sp. nov., isolated from molasses waste water / D. Xing, N. Ren, Q. Li [et al.] // *Int. J. Syst. Evol. Microbiol.* 2006. V. 56.

335. *Xu C., Lancaster J.* Treatment of secondary pulp and paper sludge for energy recovery / In: *Energy Recovery*; eds. E. DuBois, A. Nercier. New York: Nova Science Publishers, Inc., 2009.

336. Optimization of illumination time for the production of methane using carbon felt fluidized bed bioreactor in thermophilic anaerobic digestion / Y.N. Yang, K. Tsukahara, Z.Y. Zhang [et al.] // *Biochem. Eng.* 2009. V. 44.

337. Enhancement on biodegradation and anaerobic digestion efficiency of activated sludge using a dual irradiation process / Y.N. Yang, K. Tsukahara, R. Yang [et al.] // *Bioresour. Technol.*, 2011. V. 102.

338. *Anaerofilum pentosovorans* gen. nov., sp. nov., and *Anaerofilum agile* sp. nov., two new, strictly anaerobic, mesophilic, acidogenic bacteria from anaerobic bioreactors / G. Zellner, E. Stackebrandt, D. Nagel [et al.] // *Int. J. Syst. Bacteriol.* 1996. V. 46.

339. *Zhang C., Liu X., Dong X.* Syntrophomonas curvata sp. nov., an anaerobe that degrades fatty acids in co-culture with methanogens // *Int. J. Syst. Evol. Microbiol.* 2004. V. 54.

340. Zhang C., Liu X., Dong X. *Syntrophomonas erecta* sp. nov., a novel anaerobe that syntrophically degrades short-chain fatty acids // Int. J. Syst. Evol. Microbiol. 2005. V. 55.
341. Zhang D.Q., Tan S.K., Gersberg R.M. Municipal solid waste management in China: Status, problems and challenges // J. Environ. Manage. 2010. V. 91.
342. Zinder S.H., Sowers K.R., Ferry J.G. *Methanosarcina thermophila* sp. nov. a thermophilic, acetotrophic, methane-producing bacterium // Int. J. Syst. Bacteriol. 1985. V. 35.
343. Zinder S.H. Physiological ecology of methanogens / In: Methanogenesis: Ecology, Physiology, Biochemistry & Genetics. Ed. J.G. Ferry. New York: Chapman & Hall, Inc., 1993.
344. Zupančič G.D., Uranjek-Ževart N., Roš M. Full-scale anaerobic co-digestion of organic waste and municipal sludge // Biomass and Bioenergy. 2008. V. 32.
345. <http://eco-firm.ru/poligony-i-karery-moskovskoj-oblasti-tbo.shtml> (дата обращения: 18.11.2015)
346. <http://engineeringsystems.ru/> (дата обращения: 18.11.2015)
347. <http://hantimansiysk.bezformata.ru/listnews/vospolzuyutsya-zhiteli-hanti-mansijska/35504801/> (дата обращения: 18.11.2015)
348. <http://promvtor-met.narod.ru/index/0-23> (дата обращения: 18.11.2015)
349. <http://ria.ru/documents/20100521/236964290.html> (дата обращения: 18.11.2015)
350. <http://ria.ru/mo/20140218/995554765.html> (дата обращения: 18.11.2015)
351. <http://rostov.dk.ru/wiki/poligon-tbo> (дата обращения: 18.11.2015)
352. <http://rostovnadonu.bezformata.ru/listnews/musor-nachnut-s-novo-cherkasska/8472395> (дата обращения: 18.11.2015)
353. <http://www.donland.ru> (дата обращения: 18.11.2015)
354. <http://www.ecos.ru/> (дата обращения: 18.11.2015)
355. <http://www.mosvodokanal.ru/> (дата обращения: 18.11.2015)
356. <http://www.sulzer.com/> (дата обращения: 18.11.2015)
357. <http://www.sweco.cz/cs/Czech-Republic/> (дата обращения: 18.11.2015)
358. <http://www.vodahm.ru/> (дата обращения: 18.11.2015)

Научное издание

**Алла Николаевна Ножевникова (ред.)
 Анна Юрьевна Каллистова
 Юрий Владимирович Литти
 Марина Владимировна Кевбрина**

Биотехнология и микробиология анаэробной переработки органических коммунальных отходов

Монография

Редактор *Н.Г. Герцеништейн*
 Корректор *А.А. Нотик*
 Верстка *Т.В. Клейменовой*
 Дизайн *А.М. Моисеева*

Литературное агентство «Университетская книга»

Юридический адрес: 105120, Москва,
 ул. Нижняя Сыромятническая, д. 5/7, стр. 8.

Почтовый адрес: 111024, г. Москва, ул. Авиамоторная,
 д. 55, корп. 31. (495) 981-51-12, 221-50-16.

Подписано в печать 25.01.2016. Формат 60×90/16.

Печать офсетная. Бумага офсетная. 20 печ. л.

Тираж 700 экз. Заказ №

Отпечатано в типографии ООО «Паблит»
 127282, Москва, ул. Полярная, д. 31В, стр. 1. Тел.: (495) 685-93-18

По вопросам приобретения и издания литературы обращайтесь:

111024, Москва, ул. Авиамоторная, д. 55, корп. 31

Тел.: (495) 981-51-12, 955-78-30; +7 (985) 165-36-36

Электронная почта: universitas@mail.ru

Дополнительная информация на сайте: www.logosbook.ru