

УДК 619: 615.281 (349.6; 574)

DOI:10-31677/2311-0651-2020-27-1-36-54

РОЛЬ БИОТЕХНОЛОГИИ И МЕТОДА ТЕРМООБЕЗВРЕЖИВАНИЯ ОТХОДОВ В ОХРАНЕ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

¹Ю.С. Аликин, доктор биологических наук, старший научный сотрудник

¹В.В. Ермолаев, младший научный сотрудник

¹Ю.В. Телегина, младший научный сотрудник

¹М.В. Алексеева, младший научный сотрудник

¹В.П. Клименко, научный сотрудник

²Г.И. Багрянцев, кандидат химических наук, генеральный директор

³А.Я. Столбов, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник

¹Институт медицинской биотехнологии ФБУН ГНЦ ВБ «Вектор»

²ООО «Огневая технология»

³Институт природно-технических систем

E-mail: alikiny@mail.ru

Ключевые слова: биотехнология, защита среды, биоремедиация, термическое обезвреживание отходов.

Реферат. Решение проблемы экологической безопасности и устойчивого развития РФ зависит как от политики правительства страны, так и от технологического развития общества. В идеале – это такое развитие технологий, которые способны работать на условиях безотходного производства. К сожалению, подобных технологий фактически нет, и получение полезного продукта связано с одновременным образованием как отходов производства, так и отходов потребления (ТБО – твердых бытовых отходов), к которым причастно все население страны. Проблема утилизации отходов может быть решена путём создания мусороперерабатывающих заводов, оснащённых специальными установками термического обезвреживания отходов и эффективными многоступенчатыми системами очистки дымовых газов. В последние годы всё больший интерес вызывает метод термообезвреживания отходов во вращающихся печах, где возможно совместное обезвреживание жидких, твёрдых и пастообразных отходов. Аналогичная установка производительностью от 250–300 кг/ч до 5 т/ч бытовых отходов разработана ООО «Огневая технология» в кооперации с институтами теоретической и прикладной механики, теплофизики СО РАН и эксплуатируется в Республике Корея, КНР и в р.п. Коченево Новосибирской области.

ROLE OF BIOTECHNOLOGY AND METHOD OF THERMAL DISPOSAL OF WASTE IN ENVIRONMENTAL PROTECTION

¹**Yu.S. Alikin**, Doctor of Biological Sciences, Professor, Senior Researcher

¹**V.V. Ermolaev**, Junior Researcher

¹**Yu.V. Telegina**, Junior Researcher

¹**M.V. Alekseeva**, Junior Researcher

¹**V.P. Klimenko**, Researcher

²**G.I. Bagryantsev**, Candidate of Chemical Sciences, General Director

³**A.Ya. Stolbov**, Candidate of Biological Sciences, Senior Researcher

¹ *Institute of Medical Biotechnology FBRI SRC VB «Vector»*

² *«Fire technology» LLC*

³ *Institute of Natural and Technical Systems*

Key words: biotechnology, environmental protection, bioremediation, thermal disposal of waste.

Abstract. Addressing environmental security and sustainable development depends on the policy of the government, and from the technological development of society. Ideally, this is the development of technologies that are able to work on the conditions of waste-free production. Unfortunately, such technologies do not actually exist, and getting a useful product is associated with the simultaneous formation of waste both production and consumption (MSW-solid household waste), which involves the entire population of the country. The problem of waste disposal can be solved by creating waste processing plants equipped with special thermal waste disposal plants and effective multi-stage flue gas cleaning systems. In recent years, there has been increasing interest in the method of waste heat treatment in rotating furnaces, where it is possible to jointly neutralize liquid, solid and pasty waste. A similar unit with capacity of 250–300 kg/h to 5 t/h household waste developed by ООО «Fire technology» in cooperation with the Institutes of theoretical and applied mechanics, Thermophysics and operated in the Republic of Korea, China and RP Kochenevo Novosibirsk region.

Решение проблемы экологической безопасности и устойчивого развития РФ зависит как от политики правительства страны, так и от технологического развития общества. В идеале – это такое развитие технологий, которые способны работать на условиях безотходного производства. К сожалению, подобных технологий фактически нет, и получение полезного продукта связано с одновременным образованием как отходов производства, так и отходов потребления (ТБО – твердых бытовых отходов), к которым причастно все население страны.

Природа, экосистемы и народонаселение. Представления о сложных проблемах экологии в 70–80-х гг. прошлого столетия изложены в многочисленных источниках, являющихся основополагающими ранними работами [1–3]. Согласно им, функциональная система, включающая в себя сообщество живых существ, и окружающая их среда обитания называются экологической системой. Интеграция всех экосистем мира приводит к представлению о гигантской экосистеме «земной шар», о биосфере. Экосистемой в экологии обозначают наиболее обширное функциональное единство, в котором круговорот организмов и абиотической среды замкнут, причем каждый из компонентов влияет на особенности другого и каждый необходим для поддержания слаженного хода жизни. То пространство на земном шаре, в котором обитают живые организмы и функционируют экосистемы, называется биосферой.

Слово «экология» было впервые использовано немецким биологом Э. Геккелем в 1866 г. В буквальном смысле экология – это «наука о местообитании». Существует довольно много определений экологии, однако подавляющее большинство современных экологов считают, что экология – это наука, изучающая условия существования живых организмов и взаимосвязи между организмом и средой, в которой они обитают. Экологию можно разделить на три крупных подразделения: аутэкологию, динамику популяций и синэкологию. Аутэкология изучает

взаимоотношения представителей вида с окружающей средой, его устойчивость к различным факторам, динамика популяций описывает колебания численности различных видов и устанавливает их причины, а синэкология анализирует отношения между видами разных группировок и окружающей средой.

В соответствии с задачами данной работы нас интересует роль экологии в проблемах охраны окружающей среды и её сохранения для будущих поколений. В настоящее время на долю экологов выпала задача разработать новые, научно обоснованные методы, исходящие из идеи сохранения биосферы. В этом отношении нельзя забывать о вкладе отечественных ученых: В. И. Вернадского – создателя учения о биосфере, В. Н. Сукачева – основателя биогеоценологии и Н. И. Вавилова – автора теории центров происхождения культурных растений. Они показали, что биосфера создает механизмы устойчивости, способные обеспечить её сохранение в условиях антропогенеза. Большое значение имеют быстро накапливающаяся информация на стыке экологии, биохимии, химии, физиологии [4], а также вопросы биогеохимического нормирования структуры экосистемы [5]. Цель указанных выше ранних работ состоит в минимизации влияния антропогенеза на окружающую среду.

В то же время до сих пор не известно, сколько видов живых организмов населяет Землю в современную эпоху. Описано почти 2 млн, но реальное их число от 10 до 100 млн. Подавляющее большинство составляют одноклеточные (в том числе бактерии). В процессе эволюции из большинства организмов, когда-либо существовавших на планете Земля, сохранилась лишь незначительная часть видов, составляющая не более нескольких процентов. Процесс же познания закономерностей распределения, организации и эволюции биоразнообразия только начинается [6].

В настоящее время состояние экологии необходимо рассматривать в тесной связи со стремительным ростом населения планеты, вызвавшим кризис в отношениях человека и биосферы, непрерывное вытеснение биосферы географической оболочкой, которую Г. А. Заварзин [7] удачно предложил назвать какосферой (от греч. *kakos* – дурной). Какосфера не способна к самообеспечению и существует только за счет притока извне вещества, энергии, а в отдельные периоды – за счет миграции населения из районов с менее нарушенными экосистемными связями. Предоставленная самой себе, какосфера склонна к самоотравлению вследствие низкой замкнутости, поэтому нуждается в самоочищающих механизмах биосферы (прежде всего, в бактериальных фильтрах почв и водоемов, а также в зеленых массивах) и/или местах для свалок [6]. Из сказанного очевидно, что поддержание биологического разнообразия на всех уровнях организации живой материи – от молекулярно-генетического до экосистемного – является жизненно необходимой задачей человечества.

Фактически это означает, что мы должны научиться оценивать биоразнообразие и прогнозировать его динамику в самом широком смысле. Например, по различным оценкам, от 40 до 60 % видов растений Земли могут исчезнуть в течение 20–30 лет. Основной причиной сокращения их численности является не прямое уничтожение (хотя и это имеет место), а антропогенное разрушение их местообитаний. Таким образом, спасти их можно, только спасая весь биогеоценоз в целом. Но данные об окружающей среде всегда уникальны, их сбор обходится дорого. Пространственно-временная динамика экосистем требует многолетнего регулярного выполнения серий наблюдений. В настоящее время к старейшим источникам информации о состоянии экосистем – полевым наблюдениям и экспериментам – добавилось дистанционное аэро- и космическое зондирование больших участков поверхности Земли (ГИС). Эти идеи заложены в основу двух интеграционных проектов СО РАН, последовательно выполнявшихся с 2000 по 2005 г. В рамках этих проектов ученые семи институтов СО РАН (Институт цитологии и генетики, Институт систематики и экологии животных, Институт почвоведения и агрохимии, Центральный сибирский ботанический сад, Институт биофизики, Институт

леса, Лимнологический институт) и Новосибирского государственного университета вели исследования по следующим направлениям: 1) создание онтологии биоразнообразия животного и растительного мира и динамика экосистем; 2) разработка и развитие информационных ресурсов нового поколения для описания биоразнообразия животного и растительного мира; 3) теоретический анализ и информационное моделирование биоразнообразия и динамики экосистем; 4) создание ГИС-технологии для описания пространственно-распределенных экосистем.

Электронная поддержка баз данных «Национальная стратегия и план действия по сохранению биоразнообразия России» размещена на сайте www.sci.aha.ru; коллекционные фонды отдельных учреждений: Зоологический институт РАН – <http://www.zin.ru>; Институт систематики и экологии животных СО РАН – <http://szmn.eco/nsc.ru> и др.

Вместе с тем необходимо отметить, что ситуация с информационными ресурсами в области биоразнообразия остается довольно сложной и неоднозначной как в мире в целом, так и России в частности [6]. Но опыт создания аналогичных баз по молекулярной биологии позволяет предполагать, что формирование информационных систем позволит не только накапливать, но и эффективно анализировать данные, связанные с биоразнообразием.

Карасукская экосистема Западной Сибири. Ярким подтверждением сказанного выше является исследование экологии переходных полос лесостепной и степной ландшафтных зон Западной Сибири [8], типичным участком которой может служить Карасукская гривная равнина. Особенностью Карасукской равнины является широкое распространение засоления территории (более 50 % земель), обусловившее развитие солонцово-солончаковых комплексов почв и растительности. Особенно широко распространены засоленные почвы вблизи озер и в межгривных понижениях. Индикаторами засоления являются травянистые и полукустарничковые солянки и галофитовые злаки. В целом травянистые биогеоценозы Карасукской равнины характеризуются флористической и фаунистической насыщенностью. В различных вариантах этих степей обнаружено более 100 видов растений (76 видов из 45 родов и 16 семейств), выявлено более 90 видов микроантропод – панцирных клещей из 70 родов и 38 семейств. Как отмечают авторы данного исследования, проведенного в 1978–1987 гг., для данного плоского участка рельефа территории, в которую входит и Новосибирская область, характерен пульсирующий экологический режим. Он совпал с внутривековым падением водности в 45-летнем цикле и с фазой (1974–1985 гг.) пониженных осенне-зимне-весенних осадков. Он обеспечивает уникальное по экологическому диапазону разнообразие биогеоценозов, их необычные топографические сочетания, частые сукцессионные (однонаправленные) перекомбинации в пространстве, в сезонной и многолетней динамике. В условиях интенсивного антропогенного воздействия (сведение лесов, распашка больших массивов степей) произошли коренные перестройки как фито-, так и почвообитающих форм, в частности, микроантропод – панцирных клещей. Колебания увлажнения существенно сказались на состоянии биогеоценозов.

Последующие исследования биоценозов Западной Сибири (в 2000-х гг.) изложены в ряде работ, например, исследованиях Г.Н. Мисейко [9] о роли зооценозов водных объектов, их биоразнообразия, биопродуктивности в системе экологического мониторинга водных систем Алтая. Для решения задач экомониторинга используются различные методы: физические, химические и биологические. Если первые два давно и хорошо разработаны, то биологические важны для комплексной оценки интегрального состояния водных объектов. Биологические методы мониторинга используют два подхода: биоиндикацию и биотестирование. Методы биоиндикации предполагают оценку влияния антропогенных факторов по реакции биологических систем природных водных объектов. Биотестирование – метод определения степени токсического действия фактора на организмы и сообщества в контролируемых лабораторных или натуральных условиях. Для оценки различных экологических ситуаций и решения конкретных задач мониторинга могут использоваться различные экологические сообщества гидро-

бионтов, в том числе зооценозы. Зооценозы – неотъемлемая часть экосистем водных объектов всех типов. Характер и степень их развития в известной мере определяют биоразнообразие, биопродуктивность, способность к самоочищению и экологическое состояние гидросферы (интегральные параметры). Критерии, используемые при этом, могут быть структурные (численность, видовое разнообразие и обилие, число видов и их структура) или функциональные. Показателями изменения состояния водных сообществ в условиях загрязнения являются перестройки их структуры и функции. Принято считать, что биоразнообразие обычно уменьшается при загрязнении. Однако к установлению причинно-следственных связей между разнообразием и состоянием экосистемы, как считает автор, следует подходить осторожно, с учетом природных условий водного объекта и биологических особенностей популяций сообщества.

Б. Ф. Свириденко, Ю. С. Мамонтов, Т. В. Свириденко [10] предлагают использование гидромакрофитов в комплексной оценке экологического состояния водных объектов Западно-Сибирской равнины. Авторы настоящей монографии поставили своей целью дополнить существующий фонд методик биоиндикации состояния водной среды новой информацией об индикационных свойствах особой группы водных фотоавтотрофных макроскопических организмов – гидромакрофитов. Полевые исследования авторов, выполненные в 1982–2010 гг., охватывали отдельные районы Тюменской области, включая районы Ямало-Ненецкого и Ханты-Мансийского автономных округов, Омскую и Новосибирскую (юго-западную часть) области РФ, а также северную часть Республики Казахстан. Как указывают авторы, микроводорослевые сообщества обладают высокой чувствительностью к уровню загрязнений, оцениваемому по химическим показателям качества воды. Водоросли имеют высокую скорость воспроизводства, которая составляет у отдельных видов несколько часов, что позволяет сообществам водорослей быстро реагировать на изменяющиеся условия среды.

Таяжная зона Западной Сибири характеризуется широким распространением болотных ландшафтов. Один из них – Большое Васюганское болото [11]. Интерес к изучению болота обусловлен его планетарной значимостью в регуляции климата и среды, а также практически задачами, которые связаны с оценкой экологических рисков при промышленном освоении заболоченных территорий. Васюганское болото – крупнейшее болото в мире: площадь – более 50 тыс км², запас воды – более 400 км³, накопление торфа за 10 тыс. лет – несколько миллиардов тонн. Контуры Большого Васюганского болота по критерию Международной конвенции о водно-болотных угодьях (Рамсаянская конвенция) определены в пределах 56–58° с.ш. и 76–80° в.д. Периоды образования болота: бореальный период (BO) – приблизительно 8500 лет назад, атлантический период (AT) – 6000 лет назад, суббореальный период (SB) – 4500 лет назад, субатлантический период (SA) – 2500 лет назад.

В этой связи в работе Ю. А. Харанжевской [12], выполнившей комплексный анализ геоэкологического состояния подземных стоков заболоченной территории Обь-Иртышского междуречья в период 2004–2009 гг. на примере бассейна р. Чая – левобережного притока р. Обь, представляющего собой участок центральной части Обь-Иртышского междуречья, дан современный анализ (в том числе с использованием метода дешифрования космоснимков) проблемы определения подземного стока с заболоченных территорий и его роли в формировании многолетних прогнозов природно-климатических изменений и возрастающей антропогенной нагрузки.

Важным исследованием является работа Н. А. Пархоменко и Ю. И. Ермохина [13], рассмотревших интенсивную антропогенную нагрузку действия тяжелых металлов (ТМ) в системе «почва – растение» вдоль автомагистралей в условиях лесостепи Западной Сибири. Установлено, что содержание всех исследуемых тяжелых металлов (Mn, Cu, Zn, Pb, Cd, Ni) в почвах придорожных полос, вдоль основных автомагистралей пригородной зоны г. Омска, превышает их фоновое содержание. Загрязнение почв в исследуемой зоне (по ширине от 4 до

210 м) происходит в большей степени за счет выбросов автомобильного транспорта, но и город, и теплоэлектроцентрали также являются источниками загрязнения, причем в большей степени Mn, Cu, Ni. Использование системы космического зондирования ГИС дает возможность определить с достаточной точностью место и предполагаемый источник загрязнения.

Проблема оценки техногенных выбросов газовых и аэрозольных примесей в атмосферу изложена в монографии С. М. Зеркаль, В. Ф. Рапута, Т. В. Ярославцевой [14] «Модели газоаэрозольного мониторинга и их использование при экологической экспертизе загрязнения территорий Западной Сибири». Основные источники газоаэрозольного загрязнения территории Ханты-Мансийского округа представлены предприятиями нефтегазового комплекса и автотранспортом. Характерными загрязняющими веществами являются углеводороды, природный газ, оксид и диоксид углерода, сернистые соединения, окислы азота, фенолы, меркаптаны и т. д. Весь этот комплекс требует разработки системы мер по повышению экологической безопасности и снижению вредного воздействия на окружающую природную среду. Эффективного решения природоохранной проблемы, как считают авторы, можно достичь в том случае, когда в единый механизм управления будут увязаны научные, технические, организационные, экономические, социальные и правовые аспекты. Важным звеном в системе управления является организация надежного и эффективного мониторинга выбросов загрязняющих веществ. Авторы предлагают для этого исследование снежного и почвенного покрова, который является удобным и экономичным способом получения данных о динамике поступления указанных выше веществ из атмосферы на подстилающую поверхность. Особый интерес эти исследования представляют при изучении процессов длительного загрязнения на территории городов и их окрестностей. Там установлены ареалы аномальных концентраций веществ, входящих в состав выброса или их трансформации, от промышленных предприятий и топливных электростанций. Такая информация с использованием математических методов количественного анализа и моделирования процессов позволит не только оценивать сложившуюся ситуацию, но и дать прогноз будущего состояния среды и определять стратегию контроля и управления в области охраны природы.

Понятие окружающей среды в Республике Крым. Наши предложения по использованию накопленного опыта в этом районе касаются трех важных сфер регионального развития: биотехнологического кластера в области безопасности человека (медицины), получения полноценных и экологически чистых продуктов питания в АПК (в птицеводстве, в свиноводстве, в аква- и марикультуре), а также в экологии и охране среды обитания человека.

Республика Крым и непосредственно г. Севастополь могут быть успешной площадкой для внедрения регионального развития биотехнологического кластера по следующим причинам: в течение последних двух десятилетий развитие этого направления намеренно ограничивалось Киевом, разрушалась инфраструктура здравоохранения, науки, аграрно-промышленного комплекса (АПК), охраны среды. Развитие Республики Крым в составе России планируется в качестве зоны рекреации, обусловленной исключительными географическими, климатическими и историческими условиями. Население республики составляет около 2 млн человек. В период курортного сезона численность населения возрастает до 8–10 млн человек, приезжающих со всех регионов страны. Этот главный фактор диктует, в первую очередь, защиту человека от инфекций; во-вторых, необходимость обеспечения полноценного питания экологически чистыми местными продуктами АПК; защиту среды обитания от загрязнения.

Обеспечение безопасности страны в области охраны окружающей среды и утилизации отходов. Несмотря на все успехи современной науки и техники, в настоящее время производство продуктов потребления в сравнении с природными процессами остается крайне несовершенным. По самым оптимистическим оценкам, на 1 кг полезного продукта мы возвращаем в окружающую среду 99 кг вещества в виде отходов. Удовлетворение потребностей населения

земли ведет к такому огромному количеству отходов, которое природа не в состоянии ассимилировать. Нарушение баланса в природе ведет к тому, что в результате деятельности человека происходит истощение озонового слоя в стратосфере, сокращение биоразнообразия – потеря генетического банка планеты, самого большого богатства Земли, поскольку человек – один из компонентов биосферы [15–18].

В настоящее время в жизни человечества на планете Земля обсуждается и утверждается концепция устойчивого развития общества. Условием устойчивого развития общества должно быть его осуществление в пределах несущей емкости биосферы, в пределах её самовосстановления. Главное содержание модели устойчивого развития состоит в необходимости гармонизации отношений человека, общества и природы, их согласованных изменений, коэволюции (принципа гармоничного совместного развития природы и общества). Это должно привести не только к улучшению качества жизни людей, но и к сохранению биоразнообразия в природе. Важную роль при этом должно сыграть развитие понятий органического ведения сельского хозяйства и получение экологически чистых продуктов питания и кормов.

Проблемы обращения с отходами в РФ решаются методом полигонного захоронения (в основном – свалки), не обеспечивающего охрану окружающей среды от загрязнения, а в мировой практике методом постепенного перехода от полигонного захоронения к промышленной переработке отходов. К сожалению, полигонное захоронение в РФ – это наиболее развитый способ обращения с отходами. «Объекты захоронения... все дальше отодвигаются от городов, выделение новых свалочных мест и их обустройство усложняются, затраты на удаление ТБО из источников их образования возрастают. Существует постоянная экологическая опасность от накопления большого количества отходов. Слабый контроль за потоками ТБО приводит к тому, что часть ТБО размещается несанкционированно. Российские города не располагают отдельной системой управления медицинскими отходами, и почти все они попадают в ТБО, что усугубляет ситуацию вокруг свалок [19]. Авторы подробно оценивают стратегию оптимизации комплексного управления ТБО в РФ и дают развернутый анализ управления потоками мусора для сохранения ресурсов: сбор, сортировка, селективный сбор, механизированная сортировка, термическая переработка. В то же время авторы идеализируют систему управления ТБО в современных условиях РФ и фактически отвергают систему термической переработки мусора в условиях специальных мусоросжигающих заводов. На наш взгляд, для условий управления мусором таких мегаполисов, как Москва, Санкт-Петербург, Новосибирск и др. абсолютно неприемлемо создание полигонов сбора ТБО и в этой связи наиболее эффективным методом является термическая мусоропереработка.

Опыт охраны окружающей среды в Германии. Важным направлением в проблеме охраны окружающей среды и её мониторинга является организация процесса обучения специалистов и населения этой важной составляющей политики и жизни людей. В этом отношении следует обратить внимание на опыт в данной сфере деятельности, полученный за рубежом, в Германии. В качестве учебного пособия для вузов его обобщили А. М. Гальперин, В. Фёрстер, Х. – Ю. Шеф [20]. В разделе «Старые техногенные нагрузки» приведены новые для РФ материалы, включающие используемые преимущественно в Германии концептуальные подходы к оценке влияния техногенных воздействий на окружающую среду, анализ эффективности законодательных актов и нормативных документов, а также оценку опасности заражения и последствий техногенного воздействия при очистке остаточных загрязнений. В Германии под термином «старые нагрузки» действующий в государстве Совет экспертов по вопросам окружающей среды (SRU) предлагает понимать техногенные массивы и неиспользуемые производственные площади, которые могут представлять опасность для окружающей среды и здоровья человека.

К техногенным массивам относят: недействующие свалки коммунальных и промышленных отходов; законсервированные скопления промышленных отходов в сочетании с горными породами и строительным мусором; незарегистрированные скопления отходов. Неиспользуемые производственные площади представляют собой территории законсервированных объектов с прилегающими коммуникациями, недействующие системы водоснабжения, а также объекты, на которых использовались вредные вещества. В понятие «старые нагрузки» не включены загрязнения воздушного бассейна, воздействие наводнений, распространение химикатов при сельскохозяйственной деятельности, проникновение канализационных стоков, попадание вредных веществ в пределы частных владений, влияние отвалов бурого угля предприятий на прилегающие территории. Причинами этого ограничения являются диффузное распространение вредных веществ и их невысокая площадная концентрация.

К «новым техногенным нагрузкам» относят загрязнение почв и оснований сооружений в результате деятельности промышленных предприятий и коммунальных служб, а также проникновение вредных веществ из неисправных трубопроводов и водосточных каналов.

По мнению специалистов, доля площадей, внушающих опасение по загрязнению, составляет 5 % территорий городов мира, а в Германии (на 1990 г.) она достигает максимального значения – 16,7 % (показатели могут быть выше, если наблюдения выполняются несистематически); около 30 % площадей, находящихся под жилищной застройкой, также внушают опасения. Опасность, исходящая от старых нагрузок, заключается в том, что вредные вещества не только угрожают здоровью человека, но воздействуют на геоэкосистему в целом.

Мероприятия по обеспечению безопасности и ликвидации загрязнений объединяются понятием «очистка». Существующие методы позволяют выделить четыре стратегических подхода: 1) разрушение (термическое, в том числе спекание до 2000 °C); 2) некоторые химические и биологические методы; 3) сепарация (экстракция, адсорбция, осаждение, ионный обмен и окислительно-восстановительные реакции, при этом вредные вещества удаляются из фильтрационных и отводимых вод, а также из отводимых газов; 4) распределение (промывка породы, отсос подземного газа, дегазация и другие методы); 5) перемещение на свалку.

Идея термических методов заключается в нагревании загрязненного материала до такой степени, что летучие вредные вещества испаряются и одновременно, по меньшей мере, часть из них, сгорают. Образующиеся газы очищаются посредством каталитического окисления или промывки. Диапазон применимости методов определяется видом вредных веществ. Выделяют три группы загрязнений грунтов: жидкие соединения (растворители, углеводороды, комплексно связанные цианиды); галогенизированные органические соединения; нелетучие соединения (тяжелые металлы, неорганические соединения). Вещества первой группы переходят в паровое состояние при температуре $T \leq 650$ °C. Очистка грунтов, содержащих такие вещества, возможна во вращающихся обжиговых печах или при обжиге в кипящем слое. Последующее сжигание осуществляется при температурах 800–1200 °C.

Относительно результатов термической обработки веществ второй группы не все ясно, так как существует опасность образования высокотоксичных веществ (диоксинов и фуранов). Вещества третьей группы не могут быть удалены термическими методами из загрязненных сред.

Сжигание используется с целью уменьшения объемов отходов и инертизации остаточных продуктов горения. Температура горения достигает 1500 °C, летучая пыль направляется в камеру сгорания. Из дымовых газов удаляют серу, азот, обогащают влажным способом и очищают при помощи активированного угля. Из 1000 кг отходов получается 200 кг строительного материала и инертных веществ, 1–2 кг остаточных солей, а также тепловая энергия. По истечении 30–40 лет на окончательной стадии дегазации свалки можно с помощью замеров объемов имеющихся газов и определения их качества оценить возможность дальнейшего газовыделения.

Одними из достаточно новых и в то же время постоянными являются биологические методы. Микробиологические процессы ещё в грунте протекают как процессы естественной очистки. Для микробиологических процессов важным является способность микробов участвовать в процессах разложения загрязнителей и управлять ими. Более 100 видов различных бактерий, грибов и дрожжей микрофлоры грунта могут разлагать вредные вещества. В результате микробиологического обследования участка, подвергшегося загрязнению, необходимо получить ответы на следующие вопросы: 1) имеются ли в наличии жизнеспособные микроорганизмы; 2) обладают ли микроорганизмы в условиях данного участка способностью к обмену веществ и может ли она быть повторена.

Время завершающего контроля определяется ведомством, ведающим надзором, и может составлять 10–15 лет. Затраты на такой контроль за указанный период весьма значительны (от 500 тыс до 1 млн DM) и поэтому их следует предусматривать ещё на стадии проектирования свалки.

Отечественный опыт борьбы с загрязнением окружающей среды. Отечественный опыт борьбы с загрязнением окружающей среды изложен в работе О. Н. Логинова и др. [21]. Указывается, что одним из типичных антропогенных воздействий на окружающую среду стало загрязнение почв нефтью и нефтепродуктами. По экспертным оценкам, масштабы загрязнения почвы в результате хозяйственной деятельности нефтедобывающих и транспортных предприятий на территории России достигают сотни тысяч гектаров. По имеющимся прогнозным данным, к 2000 г. объем нарушенных земель, подлежащих рекультивации, должен был составить около 10 000 га. Разливы нефти вследствие аварий на нефтепроводах оцениваются миллионами тонн. Поэтому проблема очистки и восстановления таких земель весьма актуальна. Существующие механические, термические и физико-химические методы очистки почв от нефтяных загрязнений дорогостоящи и эффективны только при определенном уровне загрязнений (как правило, не менее 1 % нефти в почве). Микробиологические методы способны дополнить указанные технологии, а в определенных ситуациях не имеют альтернативы.

Развиваемые в настоящее время биотехнологические методы защиты окружающей среды от техногенных загрязнений, обозначенные термином «биоремедиация» [20], основаны на использовании микроорганизмов-деструкторов. Способность утилизировать трудноразлагаемые вещества антропогенного происхождения (ксенобиотики) обнаружена у многих микроорганизмов и связана с наличием у них специфических ферментных систем, осуществляющих катаболизм таких соединений. Биоремедиация включает в себя два основных подхода: 1) биостимуляцию, активизацию деградирующей способности аборигенной микрофлоры внесением биогенных элементов, кислорода, кометаболизирующих субстратов; 2) биодополнение, интродукция природных и генно-инженерных штаммов-деструкторов чужеродных соединений.

Нефть является сложным и экологически опасным соединением, угнетающим жизненные процессы естественной среды. В зависимости от концентрации загрязнения нефтепродуктами в почве изменяется структура, нарушается дыхательная активность, изменяется соотношение между отдельными группами почвенных микроорганизмов. Перспективным решением этой проблемы является создание безопасной биотехнологии рекультивации почв на основе углеводородокисляющих микроорганизмов. Проведенные исследования процессов биodeградации нефтезагрязнений аборигенной микрофлорой, активизированной минеральным азотистым субстратом, в Институте химии нефти СО РАН показали, что такой подход может быть положен в основу экологически безопасной и экономически выгодной биотехнологии рекультивации почв [22].

Изучение загрязнения морской среды нефтью специалистами Института океанологии РАН им. П. П. Ширшова [21] показало, что в 75 % случаев это результат технологических процессов переработки и транспортировки нефти. Основной источник нефтяного загрязнения Мирового

океана – речной вынос: 1,8 млн т/год нефти и нефтепродуктов в результате сброса городских, промышленных (без должной очистки) и транспортных, в первую очередь автомобильных, отходов. Городские сбросы нефтепродуктов составляют 0,7 млн т/год (11 %). В углеводород-окисляющих бактериоценозах, формирующихся в хронически загрязненных нефтью водах (акватория порта Гаваны, болота Западной Сибири в районах нефтедобычи), свыше 90 % составляют родококки (*Rhodococcus*). В незагрязненных водах Мексиканского залива бактериоценоз состоял почти полностью из представителей псевдомонад (*Pseudomonas*). Третье место в таком водном биоценозе принадлежит артробактериям. Ведущая роль родококков в загрязненных экосистемах связана, во-первых, с высокой способностью этих бактерий к окислению углеводородов, а во-вторых, с их феноменальной устойчивостью к неблагоприятным факторам внешней среды. Удельная углеводородокисляющая активность родококков в 70 раз выше, чем у псевдомонад.

В почвах, загрязненных нефтью, происходило активное развитие ассоциаций бактерий, состоящих из скользящих бактерий (родов *Mycobacterium*, *Cytophaga*), коринеподобных (рода *Rhodococcus*) и грамтрицательных (рода *Spirillum*). К настоящему времени накоплен обширный материал о способности микроорганизмов утилизировать широкий круг углеводородов нефти. В то же время углеводороды обладают различной устойчивостью к микробной деструкции. По степени подверженности микробной деградации сырая нефть и продукты её переработки располагаются в следующем порядке: сырая нефть, керосин, горючие масла, мазут. Это связано с тем, что содержание в мазуте тяжелых фракций нефти, в частности смолисто-асфальтеновых соединений, в несколько раз выше, чем в сырой нефти. Выделенный из природных образцов нефтесодержащих почв Крайнего Севера штамм *Rhodococcus erythropolis* ВКМ АС-1339Д обладал выраженной способностью биотрансформировать нефть, её легкие и тяжелые фракции. Бактерия способна расти при плюс 10 °С, что имеет большое практическое значение при использовании штамма в холодных климатических условиях. Среди известных микроорганизмов немалый интерес представляют спорообразующие бактерии, так как они наиболее устойчивы к различным неблагоприятным воздействиям окружающей среды. Было проанализировано 103 штамма бактерий рода *Bacillus*. Результаты экспериментального скрининга показали, что среди исследованных бактерий этого рода наиболее активными деструкторами сырой нефти являются *B. subtilis* Д1 и *B. megaterium* 1 ВД. Последний был выбран для дальнейших исследований по утилизации углеводородов. Обобщая результаты, авторы работы сделали вывод о непатогенности культуры *B. megaterium* 1 ВД, способности к утилизации широкого спектра углеводородов и образованию биоэмульгатора, выделяемого в культуральную жидкость, т.е. о её полном соответствии требованиям, предъявляемым к микробным компонентам биопрепаратов для очистки почв от загрязнений. Подобными исследованиями по поиску микроорганизмов-деструкторов нефти занимаются в Нигерии, Японии, Аргентине, Канаде, Бельгии, Румынии, Украине.

За рубежом и в РФ созданы и используются различные биопрепараты для интродукции микроорганизмов при ликвидации нефтяных загрязнений. Украинскими микробиологами создан биопрепарат Лестан, состоящий из микробного компонента – деструктора углеводородов, ПАВ биологического происхождения и адсорбента. Испытания препарата для очистки нефтезагрязненной почвы проведены в лабораторных и полевых условиях по сравнению с известными в мировой практике биопрепаратами. Лестан показал высокую активность: с его помощью достигалась высокая степень очистки сильно загрязненной почвы, а процесс деструкции характеризовался наибольшей средней скоростью.

В Институте микробиологии РАН разработан биопрепарат Деворойл, включающий в себя несколько специализированных углеводородокисляющих бактериальных штаммов и один дрожжевой. В полевом эксперименте на одном из нефтепромыслов Татарстана изучена возмож-

ность биопрепарата Деворойл для очистки чернозема, загрязненного сырой нефтью. Препарат окислял нефть во всех вариантах эксперимента при следующих уровнях загрязнения: девонской нефтью – от 60 до 180 м³/га, бобриковской – 120 м³/га, в том числе при загрязнении почвы нефтью в сочетании с пластовым рассолом. Максимум активности пришелся на первые три месяца после внесения препарата. По итогам двухлетних наблюдений лучшие результаты очистки были получены в варианте с 60 м³ нефти на 1 га, где за три месяца содержание нефти в почве снизилось на 78,8% (по сравнению с первоначальным), а степень фитотоксичности почвы достигла фонового значения.

Применение нефтеокисляющих бактериальных препаратов не только оправданно, но и совершенно необходимо в районах Крайнего Севера и Западной Сибири, где теплый период года непродолжителен, а процессы биodeградации не успевают развернуться в полной мере.

На основе штамма *Rhodococcus erythropolis* E-15 на биофаке МГУ и НИИ генетики и селекции промышленных микроорганизмов создан бактериальный препарат Родотрин, который может быть использован для ликвидации нефтяных загрязнений почвы и водоемов. Препарат испытан в условиях Крайнего Севера ПО «Надымгазпром» на территории нефтебазы пос. Пангоды, а также на опытном полигоне НГДУ «Южарланнефть».

На основе психрофильных штаммов бактерий рода *Rhodococcus* другими исследователями был создан препарат Руден, использованный для очистки загрязненных мазутом берегов и водной поверхности р. Ижоры. Показано, что при совместном применении препарата и структурообразователей (солома, опилки) за 1,5 месяца в 2 раза уменьшалась концентрация нефтепродуктов в почве и воде.

Бактериальный препарат Путидойл получен на основе природного штамма бактерий *Pseudomonas putida* 36. Однако опыты, проведенные на загрязненных нефтью лесных почвах Среднего Приобья, показали, что препарат уменьшает концентрации нефти на 29,3% только в сочетании с механической обработкой почвы и её достаточным увлажнением.

Бактериальный препарат Бациспектин, полученный на основе природного штамма бактерий *Bacillus* sp. 729, выпускается Приволжским опытно-промышленным биохимическим заводом и неплохо зарекомендовал себя при рекультивации почвы, загрязненной нефтью и нефтепродуктами. Он не только ускорял разложение нефти на 45–60%, но и способствовал восстановлению продуктивности почвы. Высокая эффективность была показана при рекультивации нефтезагрязненной почвы на территории ПО «Сургутнефтегаз», где за 2,5 месяца разложилось 52,4–55,8% нефти, а также на территории НГДУ «Юганскнефть», где внесение препарата способствовало уменьшению содержания нефти на 30–40% в условиях Южного Урала и Западной Сибири.

В Институте биохимии и физиологии микроорганизмов РАН отобраны штаммы и ассоциации культур, активно утилизирующие алифатическую и ароматическую фракции нефти Ромашкинского месторождения. Созданы биопрепараты на основе иммобилизованных на вермикулите активных штаммов-деструкторов нефти. Показана способность указанных биопрепаратов разлагать нефть в почве и воде. Препарат, содержащий ассоциацию дрожжей и бактерий *Acinetobacter* sp. 725, показал наилучшие результаты. В полевых опытах внесение препаратов ускоряло разложение нефти до 65–78% по сравнению с контролем. Полученные биопрепараты имели высокий титр (10⁷–10⁸ клеток на 1 г вермикулита), клетки сохраняли жизнеспособность без ухудшения деструктивных свойств в течение 6 месяцев.

В Биолого-почвенном институте ДО РАН с использованием аборигенных штаммов микробных популяций, приспособленных к местным условиям, получено несколько комплексных нефтеокисляющих препаратов. Установлено, что наиболее эффективным приемом, улучшающим интродукцию в почву и почвогрунты выделенных микробных комплексов, является периодическое насыщение экосистем этими микроорганизмами в качестве дополнительного

источника питания. Авторы полагают, что только препараты с высоким интродукционным потенциалом можно использовать для очистки от нефтяного загрязнения прибрежных экосистем Дальнего Востока.

Специалистами Государственного технологического университета Санкт-Петербурга из загрязненных почв выделены новые микроорганизмы-нефтедеструкторы, из которых два штамма бактерий и два штамма грибов способны в процессе жизнедеятельности разрушать сырую нефть на 74–86 % в водной среде. В качестве сорбентов для этих микроорганизмов был испытан Бамил – биоорганическое удобрение на основе высушенного ила очистных сооружений. Установлено оптимальное соотношение сорбента и бактерий (3 % Бамила для бактерий и 5 % – для грибов) с титром бактерий 10^{10} . Совместное использование Бамила и бактерий-нефтедеструкторов позволяет достичь разложения сырой нефти на 98–99 % в жидкой фазе за пять дней.

Жидкий биопрепарат Экойл, разработанный в Государственном научном центре прикладной микробиологии (пос. Оболенск) на основе бактериальных штаммов *Mycobacterium flavescens* EX-91, *Pseudomonas putida* 9 и *Acinetobacter* sp. НБ-1, выделенных из различных природных источников, может применяться как для очистки водоемов, так и почв, загрязненных нефтью и нефтепродуктами.

Для изучения курса охраны окружающей среды важным является только что изданное учебное пособие Б.С. Ксенофонтова, посвященное биотехнологическим основам этой жизненно важной проблемы [23]. Автор подчеркивает, что данная дисциплина направлена на внедрение наилучших доступных технологий с точки зрения экологии и оказывает влияние на формирование «экологического» мировоззрения у будущего инженера. В гл. 14, посвященной перспективам развития биотехнологии в РФ, автор указывает, что общий объем органических отходов в России за год составляет около 700 млн т, и предлагает различные пути решения проблемы их утилизации.

Региональные аспекты применения наилучших доступных технологий (НДТ) в области охраны окружающей среды на полуострове Ямал изложены коллективом специалистов ООО «Газпром ВНИИГАЗ» [24]. Основные проблемы Ямало-Ненецкого автономного округа (ЯНАО) связаны с решением экологических задач и принятием первоочередных мер по вопросам водопользования, обращения с отходами и рекультивации нарушенных и загрязненных земель.

Как считают авторы обзора, переход ЯНАО на НДТ является наиболее эффективной и передовой стадией и основой развития производственной деятельности (переход на технологические процессы и методы хозяйственности, основанные на современных достижениях науки и техники).

Список литературы обзора включает 48 наименований нормативных документов, федеральных и региональных законов, а также постановлений и приказов, выступлений и статей авторов. Это является фундаментом для внедрения и осуществления работ по охране среды и экологического надзора ЯНАО в области охраны атмосферного воздуха; обращения с отходами; охраны и использования особо охраняемых природных территорий; использования и охраны водных объектов; геологического изучения, рационального использования и охраны недр в отношении участков недр местного значения.

На основе анализа передовых мировых практик и с учетом специфики региона сформирован подход к выбору технологий защиты водных ресурсов от истощения и загрязнения и разработаны перечни научно-технических и технологических решений, рекомендуемых к применению для водозабора природных вод в целях питьевого водоснабжения населенных пунктов полуострова Ямал.

На Ямале складывается особо сложная ситуация в сфере обращения с отходами. Образование отходов происходит на обширной малоосвоенной территории в объемах, недостаточных для их крупнотоннажной утилизации. Практически отсутствуют инфраструктура для утилизации и потенциальные потребители вторичных ресурсов. Низкая биологическая активность почвы, связанная с преобладанием отрицательных температур, делает неэффективной захоронение отходов на полигонах. В структуре отходов производства и потребления, образуемых на территории автономного округа, на протяжении нескольких лет основную массу (74,1 %) составляют отходы предприятий добывающей промышленности, принадлежащие 36 крупным добывающим компаниям, отходы строительства – 13,0 %, жилищно-коммунального хозяйства – 6,7, обрабатывающего производства – 3,0, транспорта и связи – 2,2, производства и распределения электроэнергии, воды, газа – 1,0 %. В последние годы, по данным статистических наблюдений, в автономном округе наметилась положительная динамика в сфере использования, утилизации и обезвреживания отходов, а также тенденция к сокращению объемов образующихся отходов и отходов, направляемых на захоронение. Общее количество образованных отходов за последние 5 лет сократилось на 13 %, доля использованных и обезвреженных отходов увеличилась в 3 раза, а доля отходов, подлежащих захоронению, сократилась в 3,5 раза. Как считают авторы, это произошло за счет введения в эксплуатацию мусоросортировочного комплекса (мощностью 40 тыс. т/год) в самом крупном городе округа – г. Новый Уренгой. Ожидаемый объем отсортированных отходов после модернизации комплекса составит около 75–80 % от общей массы поступивших ТБО (ТКО). В 2015 г. был разработан и принят в установленном порядке информационно-технический справочник по наилучшим доступным технологиям ИТС 9–2015 «Обезвреживание отходов термическим способом (сжигание отходов)». Справочник введен в действие с 01.07.2016. По результатам подготовки данного справочника авторы обзора сделали вывод, что отечественные компании в сфере термического обезвреживания отходов недостаточно активно занимаются внедрением современных технологических процессов и оборудования, разработкой программ повышения энергоэффективности и ресурсосбережения, экологической результативности производства.

Перечень нормативных актов, регулирующих отношения природопользования в Российской Федерации (в сфере обращения с отходами производства и потребления) приведен в качестве приложения 1 авторами вышеупомянутого учебного пособия [20]. Это 33 Закона РФ, 6 директивных постановлений, 10 ГОСТов и 1 МУ, санитарные, строительные нормы и правила – 24 документа, 17 методических указаний, 6 инструкций, 9 рекомендаций, 3 прочих нормативных документа – всего 108 документов, дающих полное представление о законодательной базе этой технологической области в Российской Федерации. Наличие указанных государственных документов подчеркивают сложность и важность этой сферы деятельности в нашей стране.

Разработка отечественного метода термообезвреживания отходов. В целях выполнения распоряжения Правительства РФ от 25.01.2018 № 84-Р «Об утверждении стратегии развития промышленности по обработке, утилизации и обезвреживанию отходов производства и потребления на период до 2030 года» необходимо формирование и перспективное развитие новой отрасли по обработке, утилизации и обезвреживанию отходов.

Анализ социальных, экологических и экономических аспектов различных способов обезвреживания и переработки твердых бытовых отходов и горючих промышленных отходов (ПО) показывает, что термическое обезвреживание следует считать одним из наиболее радикальных и перспективных методов. В настоящее время из всех образующихся ТБО термическим методом перерабатываются в Швейцарии 79 %, Японии – 72, Дании – 65, Швеции – 59, Франции – 41 %.

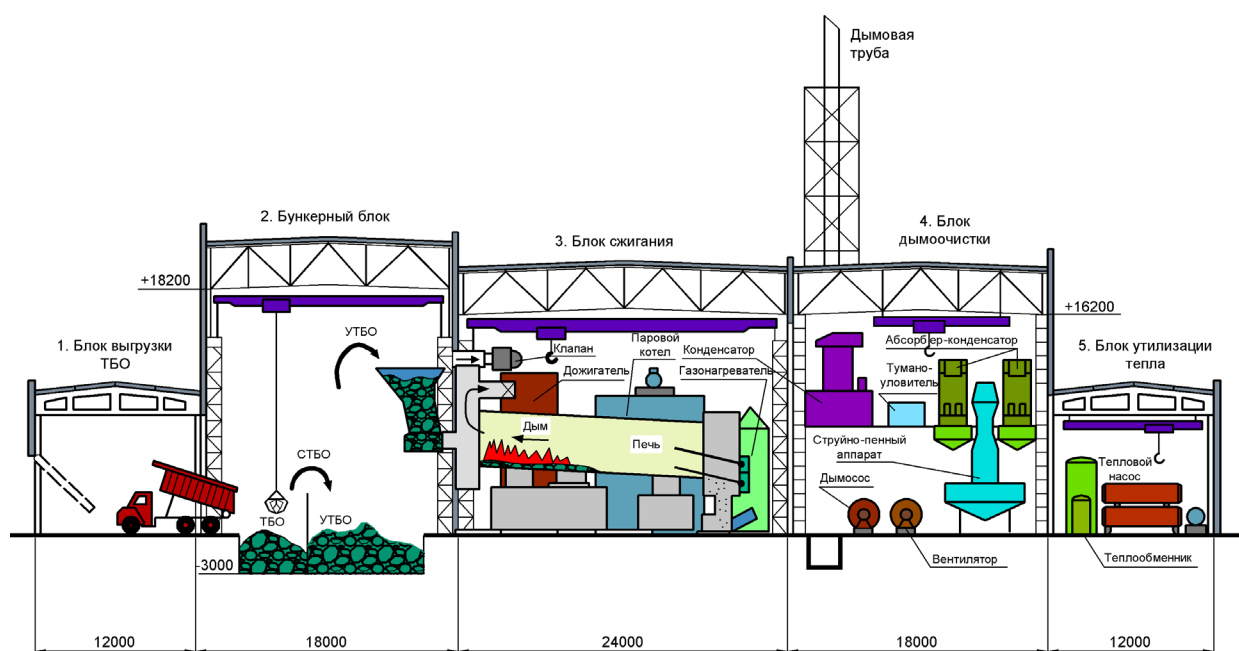
Проблема утилизации отходов может быть решена путём создания мусороперерабатывающих заводов, оснащённых специальными установками термического обезвреживания отходов и эффективными многоступенчатыми системами очистки дымовых газов.

Мусороперерабатывающий завод представляет собой многофункциональный комплекс по промышленному обезвреживанию отходов, включающий в себя технологический процесс переработки отходов, комплексы специализированного оборудования по подготовке отходов к сжиганию, эффективного сжигания отходов и обработке продуктов сжигания, функционирующих в ресурсо- и энергосберегающем, экологически и технически безопасном режиме в целях изменения их состава, физических и химических свойств для обеспечения максимально возможного снижения степени экологической опасности, уменьшения массы отходов, направляемой на захоронение, снижения уровня негативного воздействия отходов на здоровье человека и окружающую среду.

Разработанная технология переработки ТБО (ТКО) является инновационной, позволяющей минимизировать количество захораниваемых отходов, осуществлять вовлечение отходов в хозяйственный оборот в качестве сырья для получения вторичного сырья, а также тепловой и электрической энергии. Схема мусоросжигательного цеха приведена на рисунке.

Мусороперерабатывающий завод предназначен для переработки ТБО (ТКО), горючих отходов жизнедеятельности и жизнеобеспечения районов, городов, отходов предприятий и организаций. Разработаны агрегаты сжигания отходов с производительностью от 0,5 до 6 т/ч. Термообезвреживанию могут подвергаться отходы всех классов опасности, за исключением радиоактивных и отходов, содержащих в значительных количествах ртуть, свинец, мышьяк, селен.

Предлагаемый завод имеет экологическое, энергетическое и ресурсосберегающее назначение.



Принципиальная аппаратурная схема процесса термического обезвреживания отходов

Производственные процессы завода являются замкнутыми, так как концентрированные жидкие и твёрдые отходы очистных сооружений, производственных и дождевых стоков могут направляться на термообезвреживание. Очищенные производственные стоки возвращаются в технологию.

Экологическое назначение завода выражается в уменьшении вредного воздействия на окружающую среду твердых бытовых и промышленных отходов, образующихся в населенных пунктах. Это достигается за счет сокращения вывоза отходов на свалки, их термообезвреживания

и применения малоотходной системы очистки дымовых газов. При этом уменьшается выброс вредных веществ в атмосферный воздух, водную среду и почву, сохраняются земельные ресурсы населенных пунктов.

Энергетическое назначение заключается в выработке тепла и электроэнергии для собственных нужд и сторонних потребителей с применением метода глубокой утилизации тепла. Использование отходов в качестве возобновляемого топлива на заводе, который является источником тепловой и электрической энергии, позволяет частично решать проблему обеспечения населенных пунктов топливом и электроэнергией.

Ресурсосберегающее назначение заключается в использовании ТБО для выработки тепла и электроэнергии, что сокращает использование природного топлива.

Образуемая при термообезвреживании отходов золошлаковую смесь после отдельного извлечения из нее черных и цветных металлов предлагается использовать для производства шлакобетонных камней (бордюрные камни, тротуарные плиты и др.). Золошлаковая смесь может выводиться в виде остеклованных гранул, пригодных для применения в строительных изделиях для промышленного и гражданского строительства.

Прогнозируемые основные технико-экономические показатели заводов номинальной производительностью 50, 100 и 150 тыс. т/год приведены в таблице.

Основные технико-экономические показатели заводов по переработке ТБО, твердых и жидких производственных отходов*

Показатели	Производительность, тыс. т/год		
	50 (max 80)	100 (max 120)	150 (max 170)
Выработка тепла, всего, тыс. Гкал/год	120,0	240,0	360,0
тепло для собственных нужд	25,0	40,0	60,0
тепло для сторонних потребителей	100,0	200,0	198,0
Электроэнергия, тыс. МВт · ч/год	-	-	75,0
Годовая программа по выпуску продукции			
плитные материалы, тыс. м ²	200,0	400,0**	600,0
шлакоблоки и другие строительные изделия, тыс. шт. **	500,0	1000,0	1500,0
лом черных и цветных металлов, т	2000,0	4000,0	6000,0
Потребность в трудовых ресурсах, чел.	110–130	130–150	150–170
Годовой расход энергоресурсов			
электроэнергия, тыс. кВт · ч ***	9500,0	15000,0	21000,0
хозпитьевая вода, тыс. м ³	80,0	110,0	140,0
природный газ, тыс. м ³	1500,0	2500,0	3500,0
Мощность электроприемников, кВт	4500,0	5000,0	6000,0
Площадь участка, га	2,2	2,6	3,0
Капитальные вложения без НДС, млн долл. США	12–15	17–18	19–22
Срок окупаемости, лет	6–8 (уточняется при проектировании)		

* Соотношение видов отходов зависит от условий конкретной площадки и определяется при составлении задания на проектирование.

** Программа выпуска строительных материалов зависит от количества древесных отходов, которые могут быть собраны на обслуживаемой территории.

*** Значения даны с учетом сетевых теплофикационных насосов.

Таким образом, проблема утилизации отходов в РФ может быть решена путём создания мусороперерабатывающих заводов, оснащённых специальными установками термического обезвреживания отходов и эффективными многоступенчатыми системами очистки дымовых газов. Поскольку сжигание отходов сопровождается образованием дымовых газов, в которых могут содержаться продукты неполного сгорания и термического разложения, большое зна-

чение имеет организация процесса дожигания органических горючих компонентов, содержащихся в дымовых газах [25, 26].

В последние годы всё больший интерес вызывает отечественный метод термообезвреживания отходов во вращающихся печах, где возможно совместное обезвреживание жидких, твёрдых, пастообразных, а также медицинских отходов. Разработанные вращающиеся печи оснащены вихревыми дожигателями дымовых газов [27–29]. Плазмотермические установки (печи) для переработки бытовых отходов производительностью от 250–300 кг/ч до 5–6 т/ч разработаны ООО «Огневая технология» в кооперации с Институтом теоретической и прикладной механики СО РАН, с Институтом теплофизики СО РАН и эксплуатируются в Республике Корея, в Китайской Народной Республике и в р.п. Коченево Новосибирской области [26–33]. Разработаны заводы с несколькими технологическими линиями: типоряд циклонных камерных печей для термической переработки жидких отходов производительностью 50–10 000 кг/ч [30, 32]; типоряд вихревых дожигателей газов производительностью от 50 до 30 000 м³/ч [28, 29], типоряд с вращающимися печами с производительностью обезвреживания 50, 100, 150 тыс. т отходов в год [32].

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Бакач Тибор. Охрана окружающей среды. – М.: Медицина, 1980. – 216 с.
2. Дювиньо П., Танга М. Биосфера и место в ней человека (экологические системы и биосфера. – М.: Прогресс, 1973. – 270 с.
3. Дажо Р. Основы экологии. – М.: Прогресс, 1975. – 416 с.
4. Телитченко М.М., Остроумов С.А. Введение в проблемы биохимической экологии: Биотехнология, сельское хозяйство, охрана среды. – М.: Наука, 1990. – 288 с.
5. Биогеохимические основы экологического нормирования / В. Н. Башкин, Е. В. Евстафьева, В. В. Снакин [и др.]. – М.: Наука, 1993. – 304 с.
6. Интеграционные проекты СО РАН. Вып. 7: Биоразнообразие и динамика экосистем: информационные технологии и моделирование / отв. ред. В.К. Шумный, Ю.И. Шокин, Н.А. Колганов, А.М. Федотов; СО РАН, Ин-т цитологии и генетики [и др.]. – Новосибирск: Изд-во СОРАН, 2006. – С. 6–35.
7. Заварзин Г.А. Антипод биосферы // Вестник РАН. – 2003. – Т. 73, № 7. – С. 627–636.
8. Микроартроподы, почвы, растительность в условиях пульсирующего увлажнения (на примере Карасукской равнины) / Л.Г. Гришина, С.К. Стебаева, Е.И. Лапшина [и др.]. – Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1991. – 166 с.
9. Мисейко Г.Н. Зооценозы разнотипных водных объектов Юга Западной Сибири: биоразнообразие, биопродуктивность, роль в системе экологического мониторинга / МСХ РФ, Зап.-Сиб. НИИ водных биоресурсов и аквакультуры. – Барнаул: Азбука, 2003. – 204 с.
10. Свириденко Б.Ф., Мамонтов Ю.С., Свириденко Т.В. Использование гидромacroфитов в комплексной оценке экологического состояния водных объектов Западно-Сибирской равнины: монография. – Омск: Амфора, 2011. – 231 с.
11. Интеграционные проекты СО РАН. Вып.38: Исследование природно-климатических процессов на территории Большого Васюганского болота / отв. ред. М.В. Кабанов [и др.]; СО РАН, Ин-т мониторинга климатических и экологических систем [и др.]. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2012. – 243 с.
12. Харанжевская Ю.А. Подземный сток и геоэкологическое состояние заболоченных территорий центральной части Обь-Иртышского междуречья. – Томск: Изд-во НТЛ, 2013. – 176 с.
13. Пархоменко Н.А., Ермохин Ю.И. Агроэкологическая оценка действия тяжелых металлов в системе почва – растение вдоль автомагистралей в условиях лесостепи Западной Сибири: монография. – Омск: Изд-во ФГОУ ВПО ОмГАУ, 2005. – 112 с.

14. *Зеркаль С. М., Рапута В. Ф., Ярославцева Т. В.* Модели газоаэрозольного мониторинга и их использование при экологической экспертизе загрязнения территорий Западной Сибири: монография/Новосиб. гос. архитектур.-строит. ун-т (Сибстрин). – Новосибирск: НГАСУ (Сибстрин), 2012. – 140 с.
15. *Комплексное* применение пробиотиков и иммуномодуляторов для получения в птицеводстве экологически чистых продуктов питания/Г. А. Ноздрин, Ю. С. Аликин, В. Ф. Подгорный [и др.]. // Адаптация, здоровье и продуктивность животных: сб. докл. Сиб. межрегион. науч.-практ. конф., Новосибирск, 22–23 мая 2008 г. – Новосибирск, 2008. – С. 164–169.
16. *Комплексные* препараты биологически активных веществ для профилактики и лечения инфекционной патологии птиц / Ю. С. Аликин, В. И. Смоленский, В. Ф. Подгорный [и др.]. // Материалы II Междунар. вет. конгр. VIII Междунар. вет. конгр. по птицеводству, Москва, 19–22 апр. 2012 г. – М., 2012. – С. 116–122.
17. *Ягодин Г. А., Пуртова Е. Е.* Устойчивое развитие: человек и биосфера. – М.: Бином. Лаборатория знаний, 2013. – 109 с.
18. *Ильин И. В., Иванов А. В.* Введение в глобальную экологию: учеб. пособие. – М.: Изд-во Моск. ун-та, 2009. – С. 99–107.
19. *Шубов Л. Я., Борисова О. Н., Доронкина И. Г.* Стратегия оптимизации комплексного управления твердыми бытовыми отходами в Российской Федерации // Экология промышленного производства: межотрасл. науч.-практ. журн. – М., 2017. – № 4. – С. 16–25.
20. *Гальперин А. М., Фёрстер В., Шеф Х. – Ю.* Техногенные массивы и охрана природных ресурсов: учеб. пособие для вузов: в 2 т. Т. 2: Старые техногенные нагрузки и наземные свалки. – М.: Изд-во Моск. гос. горн. ун-та, 2006. – 259 с.
21. *Биотехнологические* методы очистки окружающей среды от техногенных загрязнений / О. Н. Логинов, Н. Н. Силищев, Т. В. Бойко, Н. Ф. Галимзянова. – Уфа: Реактив, 2000. – 100 с.
22. *Сваровская Л. И., Алтунина Л. К.* Активность почвенной микрофлоры в условиях нефтяных загрязнений // Экологический вестник России (ЭВР). – 2017. – № 9. – С. 26–30.
23. *Ксенофонтов Б. С.* Охрана окружающей среды: биотехнологические основы: учеб. пособие. – М.: ФОРУМ.; ИНФРА-М, 2016. – 200 с.
24. *Региональные* аспекты и перспективы применения наилучших доступных технологий на полуострове Ямал: обзор. информ. / Н. Б. Пыстина, Н. В. Попадьюко, Б. О. Будников [и др.]. – М.: Газпром ВНИИГАЗ, 2017. – 128 с.
25. *Багрянцев Г. И.* Дожигание дымовых газов как метод решения экологических проблем мусоросжигательных заводов // Очистка и обезвреживание дымовых газов из установок, сжигающих отходы и мусор: сб. науч.-техн. работ Ин-та теплофизики СО РАН. – Новосибирск, 1999. – С. 54–90.
26. *Проблемы* переработки и обезвреживания твердых бытовых и горючих промышленных отходов в городах Сибири / Г. И. Багрянцев, В. М. Малахов [и др.]. // Архитектура и строительство Сибири. – 2004. – № 1–2 (26–29). – С. 32–35.
27. *Плазмотермическая* переработка отходов/В. П. Лукашов, С. П. Ващенко, Г. И. Багрянцев, Х. С. Пак // Экология и промышленность России (ЭКИП). – 2005. – № 11. – С. 4–9.
28. *А.с. № 1375905 СССР.* Устройство для термического обезвреживания сбросных газов / Г. И. Багрянцев, И. А. Квашнин, Л. П. Рябов, В. Е. Черников // БИ. – 1988. – № 7.
29. *А.с. № 1702100 СССР.* Терморегенерационная установка для обезвреживания сбросных газов / Г. И. Багрянцев, И. А. Квашнин, В. Е. Черников // БИ. – 1991. – № 48.
30. *А.с. № 1465677 СССР.* Способ термического обезвреживания жидких отходов / Г. И. Багрянцев // БИ. – 1989. – № 10.
31. *А.с. № 1545026 СССР.* Способ термического обезвреживания жидких отходов / Г. И. Багрянцев, Л. А. Постникова // БИ. – 1990. – № 7.

32. Патент № 2012840 РФ. Способ термического обезвреживания жидких отходов / Г.И. Багрянцев, Р.В. Котлярова, В.Е. Черников // БИ. – 1994. – № 9.
33. Патент № 2460015 РФ. Способ плазмотермической переработки твердых отходов / Г.И. Багрянцев // БИ. – 2010. – № 24.

REFERENCES

1. Bakach Tibor. Ohrana okruzhayushchej sredy. – M.: Medicina, 1980. – 216 s.
2. Dyuvин'о P., Tanga M. Biosfera i mesto v nej cheloveka (ekologicheskie sistemy i biosfera. – M.: Progress, 1973. – 270 s.
3. Dazho R. Osnovy ekologii. – M.: Progress, 1975. – 416 s.
4. Telitchenko M.M., Ostroumov S.A. Vvedenie v problemy biohimicheskoy ekologii: Biotekhnologiya, sel'skoe hozyajstvo, ohrana sredy. – M.: Nauka, 1990. – 288 s.
5. Biogeoхимические основы экологического нормирования / V.N. Bashkin, E.V. Evstaf'eva, V.V. Snakin [i dr.]. – M.: Nauka, 1993. – 304 s.
6. Integracionnye proekty SORAN. Vyp. 7: Bioraznoobrazie i dinamika ekosistem: informacionnye tekhnologii i modelirovanie / otv. red. V.K. SHumnyj, YU.I. SHokin, N.A. Kolganov, A.M. Fedotov; SO RAN, In-t citologii i genetiki [i dr.]. – Novosibirsk: Izd-vo SORAN, 2006. – S. 6–35.
7. Zavarzin G.A. Antipod biosfery // Vestnik RAN. – 2003. – T. 73, № 7. – S. 627–636.
8. Mikroartropody, pochvy, rastitel'nost' v usloviyah pul'siruyushchego uvlazhneniya (na primere Karasukskoj ravniny) / L.G. Grishina, S.K. Stebaeva, E.I. Lapshina [i dr.]. – Novosibirsk: Nauka. Sib. otd-nie, 1991. – 166 s.
9. Misejko G.N. Zoocenozy raznotipnyh vodnyh ob'ektov YUga Zapadnoj Sibiri: bioraznoobrazie, bioproduktivnost', rol' v sisteme ekologicheskogo monitoringa / MSKH RF, Zap. – Sib. NII vodnyh bioresursov i akvakul'tury. – Barnaul: Azbuka, 2003. – 204 s.
10. Sviridenko B.F., Mamontov YU.S., Sviridenko T.V. Ispol'zovanie gidromakrofitov v kompleksnoj ocenke ekologicheskogo sostoyaniya vodnyh ob'ektov Zapadno-Sibirskoj ravniny: monografiya. – Omsk: Amfora, 2011. – 231 s.
11. Integracionnye proekty SO RAN. Vyp.38: Issledovanie prirodno-klimaticheskikh processov na territorii Bol'shogo Vasyuganskogo bolota / otv. red. M.V. Kabanov [i dr.]; SO RAN, In-t monitoringa klimaticheskikh i ekologicheskikh sistem [i dr.]. – Novosibirsk: Izd-vo SO RAN, 2012. – 243 s.
12. Haranzhevskaya YU.A. Podzemnyj stok i geoekologicheskoe sostoyanie zabolochennyh territorij central'noj chasti Ob'-Irtyskского mezhdurech'ya. – Tomsk: Izd-vo NTL, 2013. – 176 s.
13. Parhomenko N.A., Ermohin YU.I. Agroekologicheskaya ocenka dejstviya tyazhelyh metallov v sisteme pochva – rastenie vdol' avtomagistralej v usloviyah lesostepi Zapadnoj Sibiri: monografiya. – Omsk: Izd-vo FGOU VPO OmGAU, 2005. – 112 s.
14. Zerkal' S.M., Raputa V.F., YAroslavceva T.V. Modeli gazoаerozol'nogo monitoringa i ih ispol'zovanie pri ekologicheskoy ekspertize zagryazneniya territorij Zapadnoj Sibiri: monografiya/Novosib. gos. arhitektur. – stroit. un-t (Sibstrin). – Novosibirsk: NGASU (Sibstrin), 2012. – 140 s.
15. Kompleksnoe primenenie probiotikov i immunomodulyatorov dlya polucheniya v pticevodstve ekologicheski chistyh produktov pitaniya / G.A. Nozdrin, YU.S. Alikin, V.F. Podgornyj [i dr.]. // Adaptaciya, zdorov'e i produktivnost' zhivotnyh: sb. dokl. Sib. mezhdregion. nauch. – prakt. konf., Novosibirsk, 22–23 maya 2008 g. – Novosibirsk, 2008. – S. 164–169.
16. Kompleksnye preparaty biologicheski aktivnyh veshchestv dlya profilaktiki i lecheniya infekcionnoj patologii ptic / YU.S. Alikin, V.I. Smolenskij, V.F. Podgornyj [i dr.]. // Materialy II Mezhdunar. vet. kongr. VIII Mezhdunar. vet. kongr. po pticevodstvu, Moskva, 19–22 apr. 2012 g. – M., 2012. – S. 116–122.

17. YAgodin G.A., Purtova E.E. Ustojchivoe razvitie: chelovek i biosfera. – M.: Binom. Laboratoriya znaniy, 2013. – 109 s.
18. Il'in I.V., Ivanov A. V. Vvedenie v global'nyu ekologiyu: ucheb. posobie. – M.: Izd-vo Mosk. un-ta, 2009. – S. 99–107.
19. SHubov L.YA., Borisova O.N., Doronkina I.G. Strategiya optimizatsii kompleksnogo upravleniya tverdymi bytovymi othodami v Rossijskoj Federacii // Ekologiya promyshlennogo proizvodstva: mezhotrasl. nauch. – prakt. zhurn. – M., 2017. – № 4. – S. 16–25.
20. Gal'perin A.M., Fyorster V., SHef H. – YU. Tekhnogennye massivy i ohrana prirodnih resursov: ucheb. posobie dlya vuzov: v 2 t. T. 2: Starye tekhnogennye nagruzki i nazemnye svalki. – M.: Izd-vo Mosk. gos. gorn. un-ta, 2006. – 259 s.
21. Biotekhnologicheskie metody ochistki okruzhayushchej sredy ot tekhnogennyh zagryaznenij / O.N. Loginov, N.N. Silishchev, T. V. Bojko, N.F. Galimzyanova. – Ufa: Reaktiv, 2000. – 100 s.
22. Svarovskaya L.I., Altunina L.K. Aktivnost» pochvennoj mikroflory v usloviyah neftyanyh zagryaznenij // Ekologicheskij vestnik Rossii (EVR). – 2017. – № 9. – S. 26–30.
23. Ksenofontov B.S. Ohrana okruzhayushchej sredy: biotekhnologicheskie osnovy: ucheb. posobie. – M.: FORUM.; INFRA-M, 2016. – 200 s.
24. Regional'nye aspekty i perspektivy primeneniya nailuchshih dostupnyh tekhnologij na poluostrove YAmal: obzor. inform. / N.B. Pystina, N.V. Popad'ko, B.O. Budnikov [i dr.]. – M.: Gazprom VNIIGAZ, 2017. – 128 s.
25. Bagryancev G.I. Dozhiganie dymovyh gazov kak metod resheniya ekologicheskikh problem musoroszhigatel'nyh zavodov // Ochistka i obezvrezhivanie dymovyh gazov iz ustanovok, szhigayushchih othody i musor: sb. nauch. – tekhn. rabot In-ta teplofiziki SO RAN. – Novosibirsk, 1999. – S. 54–90.
26. Problemy pererabotki i obezvrezhivaniya tverdyh bytovykh i goryuchih promyshlennykh othodov v gorodakh Sibiri / G. I. Bagryancev, V.M. Malahov [i dr.]. // Arhitektura i stroitel'stvo Sibiri. – 2004. – № 1–2 (26–29). – S. 32–35.
27. Plazmotermicheskaya pererabotka othodov / V. P. Lukashov, S. P. Vashchenko, G. I. Bagryancev, H. S. Pak // Ekologiya i promyshlennost» Rossii (EKIP). – 2005. – № 11. – S. 4–9.
28. A.s. № 1375905 SSSR. Ustrojstvo dlya termicheskogo obezvrezhivaniya sbrosnyh gazov / G.I. Bagryancev, I.A. Kvashnin, L. P. Ryabov, V.E. CHernikov // BI. – 1988. – № 7.
29. A.s. № 1702100 SSSR. Termoregeneracionnaya ustanovka dlya obezvrezhivaniya sbrosnyh gazov / G.I. Bagryancev, I.A. Kvashnin, V.E. CHernikov // BI. – 1991. – № 48.
30. A.s. № 1465677 SSSR. Sposob termicheskogo obezvrezhivaniya zhidkih othodov / G.I. Bagryancev // BI. – 1989. – № 10.
31. A.s. № 1545026 SSSR. Sposob termicheskogo obezvrezhivaniya zhidkih othodov / G.I. Bagryancev, L.A. Postnikova // BI. – 1990. – № 7.
32. Patent № 2012840 RF. Sposob termicheskogo obezvrezhivaniya zhidkih othodov / G.I. Bagryancev, R. V. Kotlyarova, V.E. CHernikov // BI. – 1994. – № 9.
33. Patent № 2460015 RF. Sposob plazmotermicheskoy pererabotki tverdyh othodov / G.I. Bagryancev // BI. – 2010. – № 24.