

## НАУКА И ПРОМЫШЛЕННОСТЬ: ОПЫТ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ В РЕШЕНИИ ЗАДАЧ ХИМИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

*А. А. Панкратов, П. Г. Черенков, А. Б. Лифшиц\**

Федеральное казенное предприятие  
Алексинский Химический Комбинат (ФКП АХК), г. Алексин Тульской области, Россия

В 2014-2015 годах Алексинский химический комбинат в рамках федеральной целевой программы «Национальная система химической и биологической безопасности Российской Федерации (2009-2014 годы)», при поддержке Минпромторга России и правительства Тульской области, выполнил работы по ликвидации выбывших из эксплуатации производств, утилизации и обезвреживанию накопленных за многие десятилетия опасных веществ. В статье представлены результаты, полученные при выполнении мероприятий одного из этапов программы.

*Ключевые слова:* химическая безопасность, взрывчатые вещества, нитроцеллюлоза, осадок сточных вод.

Поступила в редакцию 20.04.2017 г.

### ВВЕДЕНИЕ

Территория АХК расположена на севере Тульской области, занимает площадь порядка 300 га в левобережье р. Оки, примерно в 900 м от ее русла, в непосредственной близости от промышленных предприятий, городских объектов социальной инфраструктуры и жилых кварталов, в которых проживает более 30 000 человек.

ФКП «Алексинский химический комбинат» введен в эксплуатацию в 1941 году для обеспечения промышленного выпуска нитроцеллюлозных порохов и является режимным объектом. Общая площадь земельных участков, непосредственно задействованных под объекты порохового производства, составляет более 70 га.

На непрерывно действующем комплексе производства нитратов целлюлозы-коллоксилина, построенном в 50-х годах, максимальные мощности по выпуску нитроцеллюлозы (коллоксилина) были достигнуты в 1975-1985 гг. и составляли около 10 тысяч тонн в год.

В 1995 году производство нитроцеллюлозы было прекращено, а производственные здания полностью отключены от энергоснабжения.

Основное технологическое оборудование размещалось в 6-ти производственных зданиях, общей площадью более 15 тысяч квадратных метров.

Складским хозяйством обеспечивалось хранение более 2 тысяч тонн используемых в производстве азотной и серной кислот.

Водоочистные сооружения не оснащались специальным инженерно-техническим оборудованием, а размещались в естественных балках и оврагах при минимальном инженерном обустройстве на участке площадью около 18,9 га.

Производство порохов осуществлялось с использованием непрерывной технологии получения нитроцеллюлозы, включающей стадии нитрации целлюлозы, промывки, стабилизации, пластификации продуктов нитрации и смешения (усреднения) полученных масс в общие партии. Нитрация осуществлялась смесью азотной и серной кислот.

Для удаления из нитроцеллюлозы остатков кислот после нитрации на всех стадиях технологического процесса использовалась холодная и горячая вода в больших объемах. Вода, содержащая остатки кислот, сливалась сначала в цеховые отстойники, а затем по канализации в технологические водоемы очистных сооружений завода.

В технологическом процессе использовалось более 200 единиц крупногабаритного оборудования, связанных технологическими эстакадами коммуникациями.

В ноябре 2010 года была проведена экспертная оценка ситуации на ФКП АХК, а в июле-августе 2012 г. – специальные исследования. В результате было установлено, что:

1. В технологическом оборудовании и коммуникациях содержится значительное остаточное количество взрывчатых материалов различной степени влажности.
2. Износ технологического оборудования и коммуникаций составил 90-95%.
3. Ряд выведенных из эксплуатации производственных зданий в результате длительного простоя, воздействия перепадов температур, атмосферных осадков, других факторов, подвергся разрушению, является непригодным для дальнейшего использования.
4. В 17 крупногабаритных емкостях хранится порядка 2150 тонн отработанных смесей азотной и серной кислот. Емкости подверглись воздействию коррозии. Сварные швы имеют выраженную зеленую окраску, характерную для межкристаллитной коррозии. Текущее состояние швов позволяет прогнозировать их разрушение в ближайшие 2-3 года.
5. Водоочистные сооружения в течение более 70 лет принимали промышленный сток АХК в виде водной суспензии, содержащей отходы нитроцеллюлозы. При строительстве сооружений удаление и переработка осадка сточных вод (ОСВ) не предусматривались. В результате, в технологических водоемах скопились значительные массы ОСВ, содержащие определенную долю нитратов целлюлозы, пороховой крошки и просто целлюлозы. Общий накопленный объем взрывоопасного осадка составил порядка 40000 тонн.
6. Из-за отсутствия или разрушения противофильтрационных оснований часть технологических водоемов осушена, в результате самопроизвольной вертикальной фильтрации загрязненные воды поступили в геологическую среду, нитроцеллюлозосодержащий осадок сточных вод (НЦСОСВ) пришел в

открытый контакт с атмосферным воздухом, в связи с чем возникли предпосылки для самовозгорания и детонации взрывчатых материалов (ВМ).

По результатам выполненной инвентаризации был сделан принципиальный вывод о том, что на территории ФКХ АКХ возник мощный источник формирования **чрезвычайной ситуации регионального масштаба, представляющий угрозу для микрорайонов города Алексина с населением более 30000 человек**. В связи с этим, мероприятия по:

- по ликвидации выбывших из эксплуатации производств пироксилиновых порохов и коллоксилинов;

- устранению причин формирующих опасность возникновения чрезвычайных ситуаций;

- подавлению негативного воздействия неконтролируемых производственных и вспомогательных объектов комбината на компоненты окружающей среды и здоровье населения

были включены в Федеральную целевую программу «Национальная система химической и биологической безопасности Российской Федерации (2009-2014)» (ФЦП), утвержденной постановлением Правительства Российской Федерации от 27 октября 2008 г. № 791.

#### **СОСТАВ МЕРОПРИЯТИЙ ПО ЛИКВИДАЦИИ ИСТОЧНИКОВ ХИМИЧЕСКОЙ ОПАСНОСТИ**

Мероприятия по ликвидации источников химической опасности, сформированных за годы штатной эксплуатации ФКП АКХ и разрушительного периода 90-х годов, включали в себя три основных этапа.

**Первый этап** - предусматривал проведение комплексных инженерных изысканий на территории ФКП АКХ, с целью получения необходимых исходных данных и постановки количественных задач по ликвидации выбывших из эксплуатации производств, реабилитации загрязненных территорий, обезвреживанию технологических водоемов.

##### **Основные задачи I этапа работ:**

- проведение комплексных инженерных изысканий;
- обследование зданий, сооружений, конструкций, коммуникаций, земельных участков, прудков-накопителей;
- разработка исходных данных для проектирования.

**Второй этап** – предусматривал выбор оптимальных методов и технологий проведения работ и разработку проектно-сметной и рабочей документации.

##### **Основные задачи II этапа работ:**

- выбор и разработка безопасных методов и технологий проведения ликвидационных работ, размещения отходов, включая обезвреживание всего объема накопленных НЦСОСВ (40000 тонн);
- разработка комплекса технологических и строительных решений, обеспечивающих возможность решения всех ликвидационных задач, предусмотренных ФЦП;
- разработка и согласование в установленном порядке проектно-сметной документации;

- разработка рабочей документации.

**Третий этап** – предусматривал проведение, собственно, ликвидационных мероприятий в соответствии с разработанной и согласованной проектно-сметной документацией.

**Основные задачи III этапа:**

1. Устройство участка размещения грунтов и строительных отходов, включая:
  - комплекс строительных работ по созданию современного объекта размещения отходов;
  - размещение загрязненного грунта и строительных отходов.
2. Снос и демонтаж зданий и инженерных сооружений, включая:
  - 16 зданий;
  - значительный объем эстакад, трубопроводов, электросетей.
3. Обезвреживание технологических водоемов очистных сооружений ФКП АХК, включая:
  - восстановление противофильтрационных экранов;
  - извлечение донных отложений из прудков-отстойников и шламонакопителей;
  - рекультивация прудков-отстойников;
  - переработка НЦСОСВ, в объеме 40000 тонн с получением органоминерального почво-грунта (ОМПГ).

Для решения основной части перечисленных задач использовались стандартные подходы и опробованные технологические процессы. Однако выбор готового метода переработки больших объемов НЦСОСВ в рамках сжатых сроков реализации ФЦП вызвал непреодолимые трудности. Выяснилось, что, как отечественная, так и мировая практика обращения с отходами пороховых производств не знает методов и технологий, пригодных для решения такого рода задач. В связи с этим, возникла необходимость в проведении фундаментальных исследований и разработке нового технологического процесса, позволяющего достичь поставленных ФЦП целей [1]. Описание результатов выполненных научно-исследовательских работ (НИР), проводившихся ФКП АХК совместно с кафедрой химической энзимологии МГУ им. М.В. Ломоносова [2, 3], а также разработанного на основании полученных результатов технологического регламента процесса переработки НЦСОСВ с производством ОМПГ, представлено ниже.

**КОМПЛЕКСНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ ФЕРМЕНТАЦИИ НЦСОСВ**

На этапе разработки технологической концепции переработки НЦСОСВ выбор был сделан в пользу биотехнологического метода аэробной ферментации, обладающего привлекательными технико-экономическими показателями, обеспечивающего возможность переработки материала по безотходной технологии с производством полезного продукта - органоминерального почвогрунта (ОМПГ). С целью получения необходимых данных для разработки технологического регламента выполнялся комплекс НИР.

Проводился цикл лабораторных экспериментов по аэробной ферментации НЦСОСВ, накопленных в технологических водоемах очистных сооружений ФКП АХК за время эксплуатации предприятия.

**Основные цели исследования состояли в:**

- оценке кинетики разложения НЦСОСВ в процессе жидкофазной и твердофазной ферментации;
- идентификации основных критических параметров ферментационного процесса;
- подборе стимуляторов процесса аэробной ферментации НЦСОСВ;
- разработке рекомендаций по проведению полномасштабной промышленной ферментации НЦСОСВ ФКП АХК.

Для достижения поставленных целей проводился цикл экспериментальных работ по программе, представленной в таблице 1.

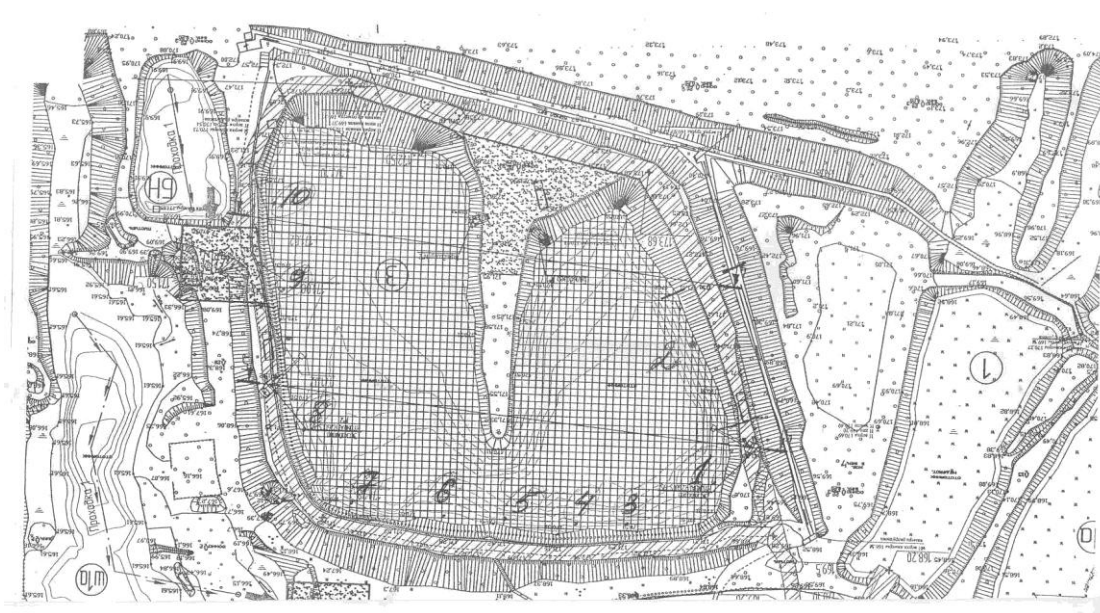
**Таблица 1.** Программа эксперимента

Циклы ферментаций	Контролируемые параметры НЦСОСВ
1. Базовые жидкофазные ферментации НЦСОСВ – 2 цикла. 2. Базовые твердофазные ферментации НЦСОСВ – 1 цикл. 3. Специальные жидкофазные ферментации НЦСОСВ с добавлением потенциальных стимуляторов – 1 цикл. 4. Специальные твердофазные ферментации НЦСОСВ с добавлением потенциальных стимуляторов – 2 цикла.	1. Влажность. 2. Реакция среды (рН). 3. Содержание нитроцеллюлозы (НЦ) по с.в. 4. Содержание органического вещества (ОВ) по с.в. 5. Содержание минеральных примесей (МВ) по с.в. 6. Общая численность микроорганизмов (ОЧМ).

*Примечание:* с.в. – сухое вещество

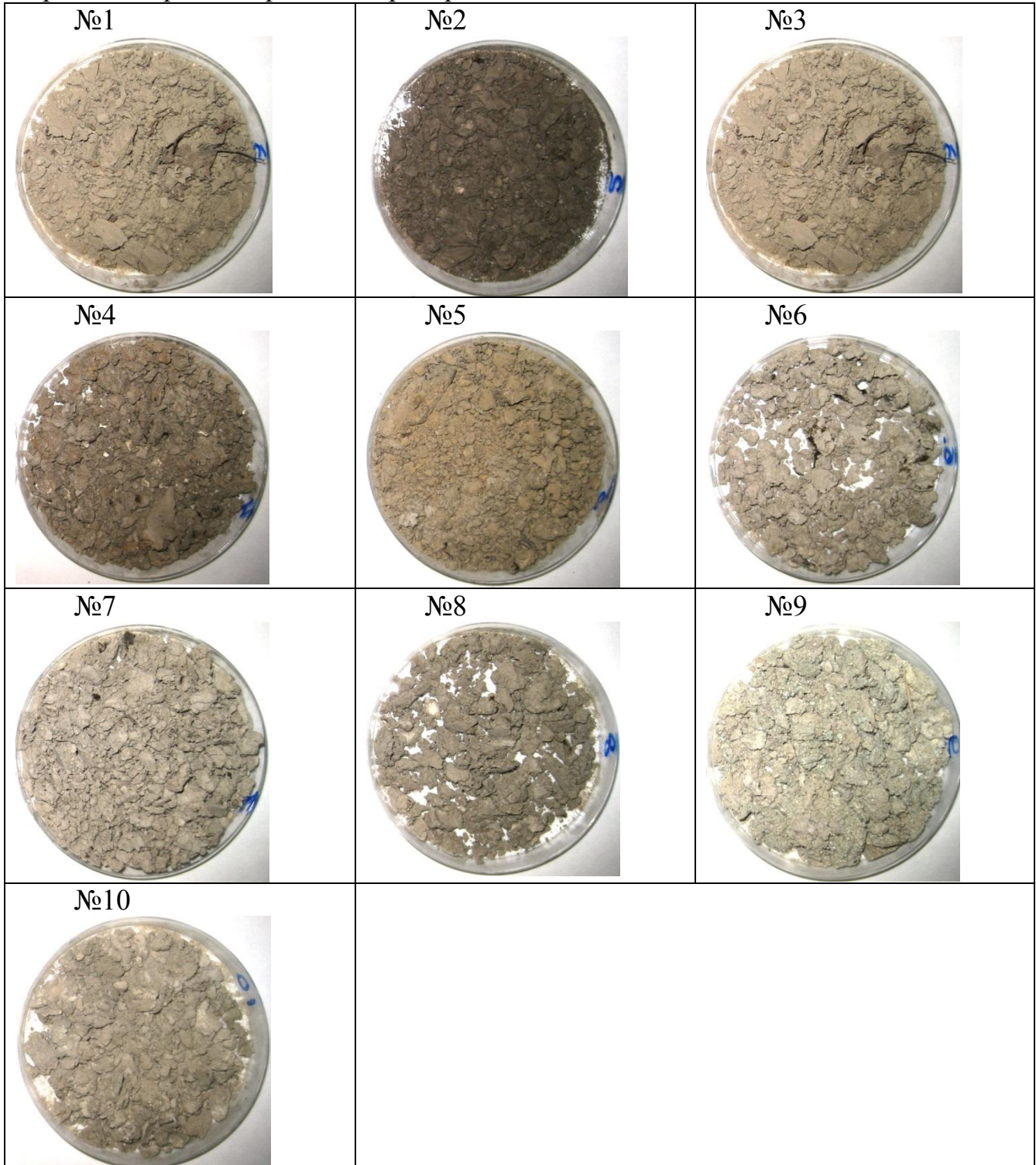
**Объекты исследования**

В качестве объектов исследования использовались десять проб НЦСОСВ, отобранных из прудка отстойника № 3, наиболее крупного технологического водоема, входящего в систему экстенсивной очистки промышленных стоков ФКП АХК. Схема отбора проб представлена на рисунке 1.



**Рис.1.** Схема отбора 10 проб НЦСОСВ из прудка отстойника № 3.

Вид высушенных на воздухе проб осадка, представленный на фото (рис. 2), позволяет выявить визуальные признаки присутствия в нем включений нитроцеллюлозы (НЦ). Они характеризуются хорошо различимым серо-зелено-желтым цветом и характерной формой плоских, крупных частиц, явно отличающихся от зерен грунта природного происхождения. По фотографиям видно, что содержание НЦ существенно варьирует в разных пробах, что отражает неравномерность ее распределения в толще донных отложений.



**Рис.2.** Суховоздушные образцы осадка сточных вод, взятые из прудка-отстойника.

Перед проведением лабораторного моделирования процесса ферментации НЦСОСВ определялись начальные характеристики испытуемых проб. Полученные интервалы значений по десяти образцам представлены в таблице 2.

**Таблица 2.** Исходные характеристики НЦСОСВ

№	Параметр	Ед. изм.	Значение	Комментарий
1	Влажность	%	80 – 82	-
2	Содержание НЦ	г/кг с.в.	355 – 687	Очень высокое содержание ВМ*
3	Содержание ОВ	г/кг с.в.	124 – 201	Высокое содержание ОВ
4	Минеральное вещество	г/кг с.в.	189 – 443	-
5	рН	Ед.	2,4 – 6,3	Закисленная среда
6	Отношение С:N (оптимальное 25:1)	Ед.	30:2 – 30:7	-
7	Общая численность микроорганизмов (ОЧМ)	КОЕ/кг с.в.	$10^4 - 10^{11}$	Неожиданно высокое содержание аборигенной микрофлоры

\*ВМ – взрывчатые материалы

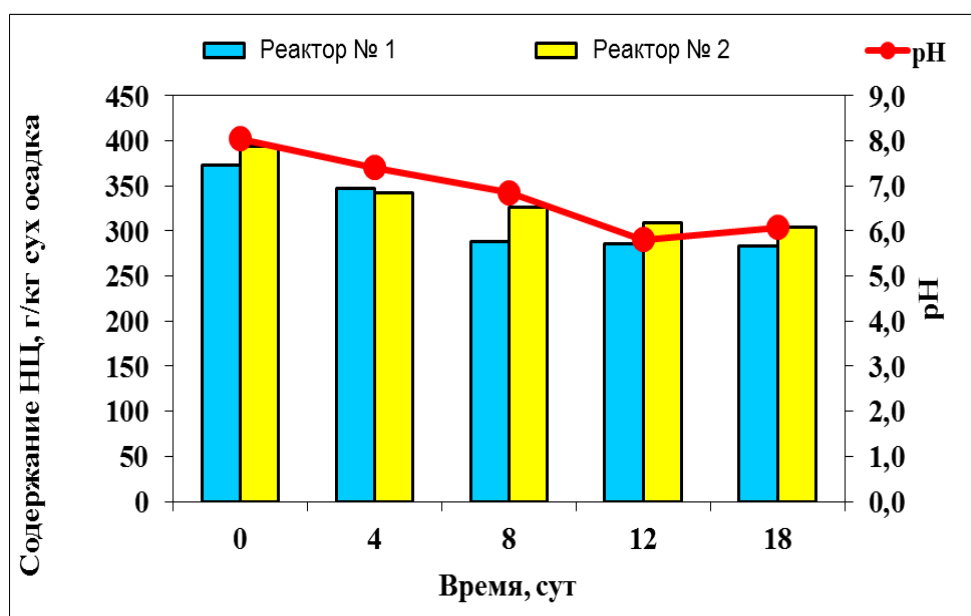
Анализ установленных характеристик осадка показал следующее.

- Материал содержит значительные объемы ВМ и является опасным при нарушении требований по его хранению в затопленном состоянии. При контакте с атмосферным воздухом и падении влажности НЦ ниже 30% возникает сверхвысокий риск возгорания и возможной детонации. В таких условиях значительные массы НЦСОСВ оставались в течение многих лет.
- Наряду с ВМ осадок содержит значительные объемы органического вещества, что, вероятно, является следствием его хранения в открытых водоемах, где протекают рутинные процессы накопления остатков растительной органики в донных отложениях. Данная характеристика осадка формирует благоприятные предпосылки для активного течения процессов аэробной ферментации.
- Вследствие поступления в прудки отстойники кислого промышленного стока, НЦСОСВ характеризуется низкими значениями рН, ингибирующими любую микробную активность. С целью создания необходимых условий для протекания ферментационных процессов, реакция среды должна быть откорректирована и смещена в сторону нейтральных значений рН в интервале 7,0-8,0.
- Высокое содержание микроорганизмов в ОВ пробах НЦСОСВ, несмотря на кислую реакцию среды, явилось свидетельством развития в экосистеме прудков-отстойников консорциума «ацидофильных» микроорганизмов, способного функционировать в неблагоприятных условиях. Наблюдаемая микробиологическая характеристика материала свидетельствует о возможности эффективной ферментационной переработки НЦСОСВ.

Для проведения эксперимента использовались установки твердофазной и жидкофазной ферментации, подробно описанные в соответствующих публикациях [2, 3].

В соответствии с программой эксперимента (таблица 1) проводилось несколько циклов жидкофазной и твердофазной ферментации (ЖФФ и ТФФ, соответственно) осадка.

**Первый цикл ЖФФ** проводился в течение 18 дней, в двух реакторах. В них помещался НЦСОСВ, раскисленный 1М раствором  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  до  $\text{pH} = 7,4-8,0$ , со степенью влажности 80%. В реакторы непрерывно подавался воздух со скоростью 20 л/час, процесс протекал при комнатной температуре. Полученные результаты первой фазы ЖФФ представлены на рисунке 3 и в таблице 3.



**Рис. 3.** Результаты первого цикла жидкофазной ферментации НЦСОСВ.

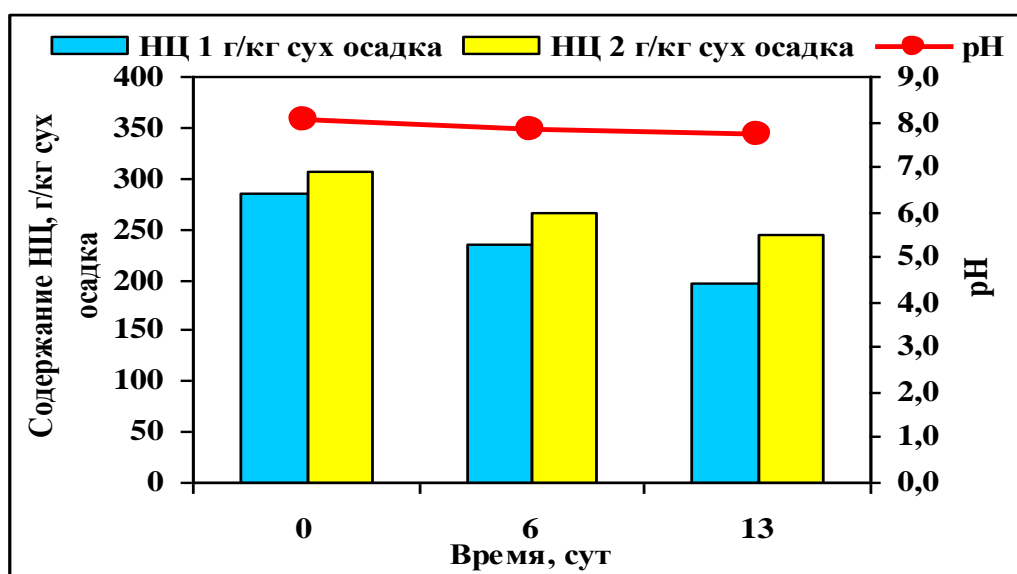
Полученные результаты показывают, что аборигенная микрофлора при нейтральной реакции среды и достаточном количестве кислорода может разлагать НЦ, содержащуюся в осадке промышленных сточных вод ФКП АХК. Наблюдаемая скорость процесса варьирует в широких пределах и может меняться в процессе обработки осадка. В целом практически полное удаление взрывчатого материала может достигаться за период длительностью от 30 до 110 дней.

**Таблица 3.** Кинетика разложения НЦ в первом цикле ЖФФ

№ реактора	$k$ , сут <sup>-1</sup>	$t_{1/2}$ , сут	Условия аэрации
1	0,047 – 0,017	14,6 – 40,0	20 л/час, Комнатная температура
2	0,034 – 0,013	20,4 – 54,5	



**Второй цикл ЖФФ** проводился в течение 13 дней в двух реакторах. В них помещался НЦСОСВ, раскисленный 1М раствором  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  до  $\text{pH} = 7,4-8,0$ , со степенью влажности 80%. В реакторы непрерывно подавался воздух с увеличенной, по сравнению с первым циклом, скоростью расходования, составляющей 30 л/час, процесс протекал при комнатной температуре. Основная задача данного этапа эксперимента состояла в оценке влияния интенсивности аэрации материала на скорость деградации НЦ. Полученные результаты второй фазы ЖФФ представлены на рисунке 4 и в таблице 4.



**Рис. 4.** Результаты второго цикла жидкофазной ферментации НЦСОСВ.

Результаты показывают, что значительных изменений в протекании процесса распада НЦ по сравнению с первым циклом моделирования не произошло. При выбранном режиме аэрации процесс деградации НЦ в массе осадка может занимать от 44 до 116 дней.

**Таблица 4.** Кинетика разложения НЦ во втором цикле ЖФФ

№ реактора	$k$ , сут <sup>-1</sup>	$t_{1/2}$ , сут	Условия аэрации
1	0,032 – 0,026	22,0 – 26,7	30 л/час, pH= 7,7 Комнатная температура
2	0,025 – 0,012	28,3 – 58,8	

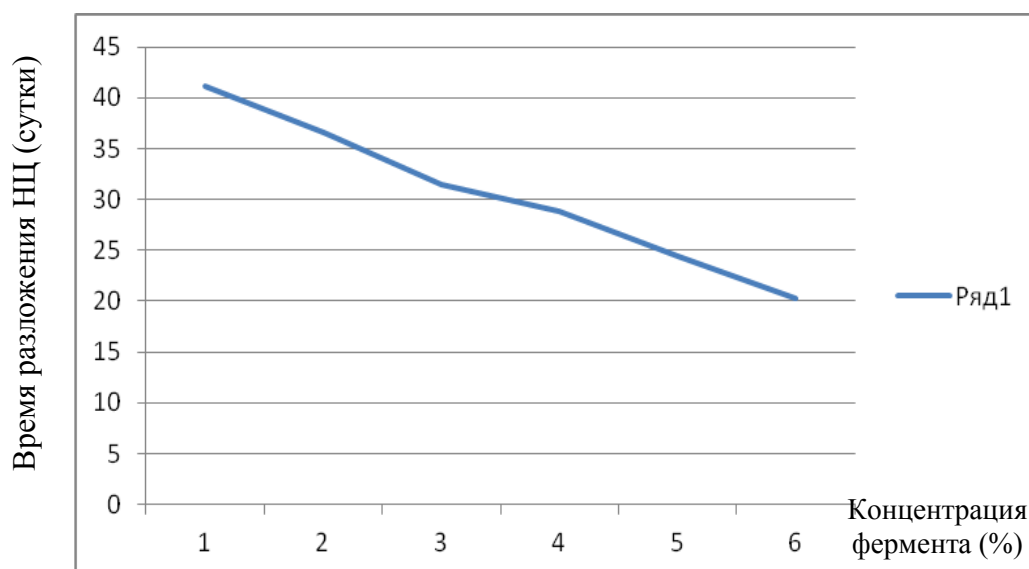
**Третий цикл ЖФФ** проводился с целью подбора возможных стимуляторов процесса разложения НЦ. С этой целью использовался, во-первых, активный ил с Алексинской станции аэрации городских сточных вод, во-вторых, ферментный препарат **Celluclean Classic 400L**.

Использование активного ила никакого заметного воздействия на динамику деградации НЦ не оказало, внесение же в систему ферментного препарата обеспечило интенсификацию процесса (таблица 5).

**Таблица 5.** Кинетика разложения НЦ в третьем цикле ЖФФ после внесения Celluclean Classic 400L

Концентрация фермента, %	Первое внесение		Повторное внесение		За два цикла внесения	
	k, сут <sup>-1</sup>	t <sub>1/2</sub> , сут	k, сут <sup>-1</sup>	t <sub>1/2</sub> , сут	k, сут <sup>-1</sup>	t <sub>1/2</sub> , сут
2	0,034	20,6	0,048	14,4	0,039	17,9
3	0,038	18,3	0,057	12,2	0,045	15,6
4	0,044	15,7	0,069	10,1	0,053	13,1

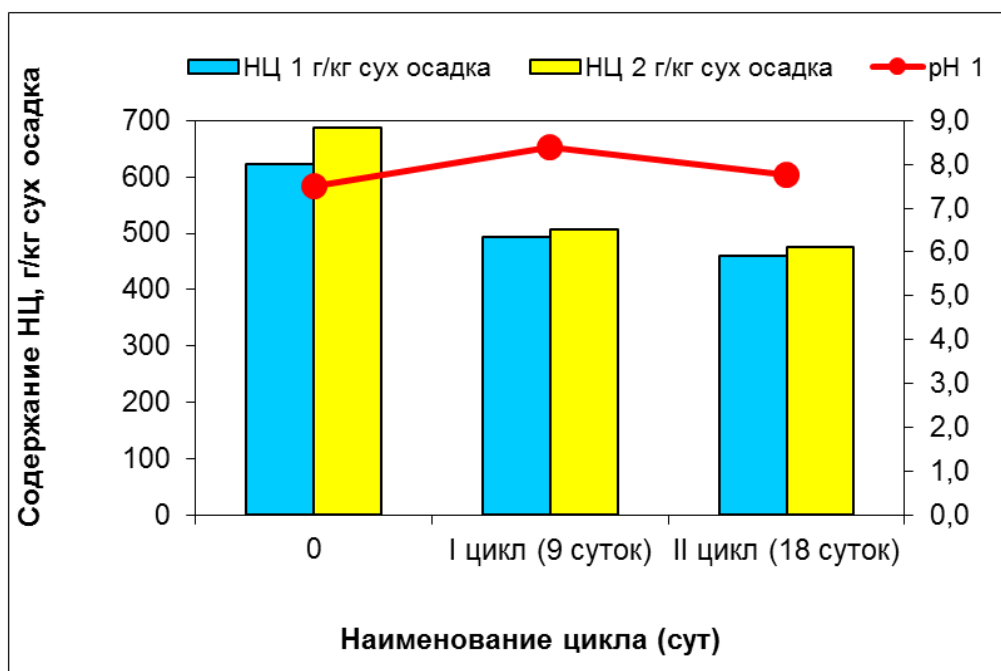
Фермент вносился в реакторы дважды в процессе моделирования в концентрациях 2%; 3% и 4% по с.в. Наблюдалась прямая отрицательная зависимость между ростом концентрации препарата и временем разложения НЦ, коэффициент корреляции составил - **0,96**. Максимальный рост скорости наблюдался после повторного внесения фермента в реакторы, когда его концентрация в среде составляла 4%, 6% и 8% по с.в., а длительность полного разложения НЦ 28,8 суток; 24,4 суток; 20,2 суток, соответственно (рис. 5).



**Рис. 5.** Зависимость времени разложения НЦ от концентрации фермента.

Таким образом, в результате трех циклов ЖФФ был идентифицирован ферментный препарат, **увеличивающий скорость процесса деградации НЦ в разы**. Конкретные показатели роста определяются его концентрацией в среде.

**Первый цикл ТФФ** проводился в двух реакторах в течение 18 дней. В них помещался НЦСОСВ, раскисленный 1М раствором Ca(OH)<sub>2</sub> до рН = 7,4 - 8,0, со степенью влажности 66% - 74%, тщательно перемешанный с древесной щепой, выступающей в роли структурирующего материала в соотношении 1 : 1 по объему. В реакторы непрерывно подавался воздух со скоростью 20 л/час, процесс протекал при комнатной температуре. Полученные результаты первого цикла ТФФ представлены на рисунке 6 и в таблице 6.



**Рис. 6.** Результаты первого цикла твердофазной ферментации НЦСОСВ.

Результаты показывают, что процесс разложения НЦ при компостировании НЦСОСВ протекает с интенсивностью, близкой к показателям жидкофазного процесса. Полное разложение НЦ может достигаться за период длительностью в 40-55 суток.

**Таблица 6.** Кинетика разложения НЦ в первом цикле ТФФ

№ реактора	$k, \text{сут}^{-1}$	$t_{1/2}, \text{сут}$
3	0,026	27,1
4	0,034	20,4

**Во втором цикле ТФФ** использовался осадок, прошедший предварительную жидкофазную ферментацию без стимулирующих добавок. Цель исследования состояла в оценке влияния ферментного препарата Celluclean Classic 400L на процессе разложения НЦ в компостируемом материале, предварительно отферментированном в жидкой среде. В осадок вносился препарат Celluclean Classic 400L в концентрации 1,0% по с.в. Испытания проводились в одном реакторе в течение 5 дней. В остальном обработка осадка проходила аналогично первому циклу ТФФ. Полученные результаты (табл. 7) свидетельствуют об интенсивном, скачкообразном росте скорости процесса разложения НЦ, время полного удаления взрывчатого материала из массы осадка после внесения препарата сократилось **до 13 дней**.

**Таблица 7.** Кинетика разложения НЦ во втором цикле ТФФ после внесения Celluclean Classic 400L (1% по с.в.)

Длительность, сут.	НЦ г/кг с.в.	Эффективность разложения, %	k, сут <sup>-1</sup>	t <sub>½</sub> , сут
0	233 ± 9			
5	137 ± 6	41,2	0,106	6,5

**Третий цикл ТФФ** проводился с целью оценки влияния ферментного препарата Celluclean Classic 400L на процесс разложения НЦ в массе компостируемого осадка, не прошедшего предварительную обработку в жидкой среде. В испытаниях использовался НЦСОСВ, нейтрализованный до pH = 7,4-8,0, смешанный со структурирующим материалом. Компостирование проводилось в трех реакторах, в течение семи дней. В реакторы однократно вносились добавки фермента в концентрациях – 2%, 3%, 4% по с.в. Полученные результаты (таблица 8) показали, что резкого стимулирования процесса деградации НЦ не произошло. В то же время, прямая отрицательная зависимость между концентрацией фермента и временем разложения НЦ проявилась однозначно, так же, как и в третьем цикле ЖФФ. Так, при концентрациях фермента 2%, 3% и 4% по с.в. время полного разложения НЦ составило 60 дней, 44 дня и 34 дня, соответственно.

**Таблица 8.** Кинетика разложения НЦ во втором цикле ТФФ после внесения Celluclean Classic 400L (1% по с.в.)

Концентрация фермента, %		2	3	4
НЦ, г/кг с.в.	Исходная концентрация	402	413	393
	На 7 сутки	341	331	296
k, сут <sup>-1</sup>		0,023	0,031	0,041
t <sub>½</sub> , сут		29,8	22,1	17,0

Таким образом, полученные экспериментальные результаты лабораторного моделирования показали, что:

- аборигенные микроорганизмы, присутствующие в НЦСОСВ в условиях прудков-отстойников, способны осуществлять разложение НЦ при нейтральной реакции среды и присутствии кислорода в достаточных концентрациях;
- наиболее эффективно разложение НЦ происходит при последовательном проведении жидкофазной и твердофазной аэробной ферментации НЦСОСВ;
- добавка ферментных целлюлолитических препаратов типа **Celluclean Classic 400L** на второй, твердофазной стадии обработки материала резко повышает интенсивность разложения НЦ;

- при благоприятном сочетании технологических операций НЦСОСВ может быть очищен от включений НЦ в течение 30-50 суток;
- в процессе проведения технологической обработки НЦСОСВ необходимо контролировать ряд таких ключевых параметров среды как - рН, содержание кислорода, температура, содержание биогенных элементов.

### НОВЫЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС

На основании результатов выполненных исследований, а также материалов комплексных инженерных изысканий был разработан технологический регламент (ТР) процесса аэробной переработки НЦСОСВ ФКП АХК с получением органо-минерального почвогрунта. ТР разрабатывался в формате, соответствующем ОСТ 64-02-003-2002 Минпромторга России.

#### *Технологическая схема производства*

Технологический регламент предусматривал создание временного производственного объекта в рамках реализации ликвидационных мероприятий на ФКП АХК, его основные характеристики представлены в таблице 9, а технологическая схема производства - на рисунке 7.

**Таблица 9.** Характеристики временного производства по переработке НЦСОСВ

Наименование производства	Комплекс аэробной переработки НЦСОСВ с получением ОМПГ
Год ввода в эксплуатацию	2014
Мощность производства	40 000 т/год – проектная
Количество технологических стадий	<p>Семь технологических стадий, включая следующие вспомогательные и основные технологические стадии (ТС):</p> <p><i>Вспомогательные</i></p> <p>ТС № 1 (ВР.1) – подготовка технологической щепы</p> <p>ТС № 2 (ВР.2) – подготовка массы НЦСОСВ к переработке</p> <p>ТС № 3 (ВР.3) – Жидкофазная ферментация НЦСОСВ</p> <p>ТС № 4 (ВР.4) – Подача ДО на переработку</p> <p><i>Основные</i></p> <p>ТС № 5(ТП.1) – Обработка в буртах. Реакторное компостирование</p> <p>ТС № 6 (ТП.2) – Производство ОМПГ</p> <p>ТС № 7 (УМО.1) – Контроль качества, отгрузка ОМПГ</p>
Метод производства	Аэробная механико-биологическая переработка НЦСОСВ
Организация разработчик ТР	ФКП АХК совместно с ЗАО «Фирма Геополис»



**Рис. 7.** Технологическая схема производства.

### ***Технологическая стадия № 2 (ВР.2)***

Масса НЦСОСВ, подлежащая переработке, была аккумулирована в технологическом прудке №3 под слоем воды, рН фиксировался на уровне 2,3, общий режим водоема – анаэробный, концентрации НЦ варьировали от 40% до более чем 65% по сухому веществу. Изменение текущих параметров среды до необходимых значений достигается путем реализации набора технологических операций, представленных ниже. Основная цель данной технологической стадии – создание условий, благоприятных для развития аэробного процесса разложения НЦ уже на этапе хранения материала в прудке №3, до его финальной технологической переработки в реакторах.

#### **ВР.2.1 Интенсивное перемешивание ОСВ в прудке № 3 с помощью понтонных экскаваторов**

Интенсивное перемешивание массы НЦСОСВ в объеме прудка проводится с целью его гомогенизации, равномерного распределения концентрации НЦ по всему водоему, выводу из анаэробного режима придонных отложений. Перемешивание проводится понтонными, плавающими экскаваторами, оборудованными специальным навесным инструментом - сеткой, обеспечивающим интенсивное перемешивание отложений. Используются два-три понтона, работающие ежедневно по 10 часов.

#### **ВР.2.2 Внесение известкового молочка в прудок № 3 параллельно с процессом перемешивания осадка**

Регулярно, в соответствии с графиком контроля технологического процесса, в утренние часы, проводится измерение рН среды по сети, включающей в себя 11 точек измерения. Измерения проводятся с помощью плавсредства, портативным компактным рН-метром модели РН-98103

производства компании Kelilong. На основании результатов измерений определяется реакция среды, принимается решение о целесообразности внесения извести-пушонки. Реагент вручную рассыпается по водной поверхности операторами понтонных экскаваторов.

#### BP.2.3 Многократное повторение операции BP.2.2 до достижения уровня pH = 8

Технологическая операция повторяется многократно до момента достижения уровня pH = 7-8.

В дальнейшем измерения данного показателя проводят реже – один раз в два-три дня. В соответствии с результатами измерений повторяют все манипуляции технологической операции BP.2.2.

#### BP.2.4 Контроль и поддержание pH = 7-8 в процессе предварительной обработки НЦСОСВ, повторение операции BP.2.2

В процессе предварительной обработки НЦСОСВ в прудке № 3 могут возникнуть резкие колебания pH, в связи с этим работа по его контролю и стабилизации должна проводиться последовательно в соответствии с содержанием операций BP.2.2 и BP.2.3.

### ***Технологическая стадия № 3 (BP.3)***

В связи с фиксированной, ограниченной производительностью комплекса реакторного компостирования НЦСОСВ, осадок длительное время находится на временном хранении в третьем прудке. С целью сокращения общего времени переработки проводится его жидкофазная аэробная предобработка в прудке. В результате – развиваются процессы аэробного распада НЦ и органического вещества, сокращается концентрация НЦ, в целом материал оказывается хорошо подготовленным к реакторной обработке, протекающей с повышенной эффективностью. Данная вспомогательная технологическая стадия включает ряд операций представленных ниже.

#### BP.3.1 Механическая аэрация НЦСОСВ в прудке №3 с использованием понтонных экскаваторов, оборудованных сетками и грязевыми мотопомпами

Механическая аэрация НЦСОСВ, начатая на предыдущей технологической стадии – в рамках операции BP.2.1, интенсифицируется, за счет использования дополнительных технических средств - грязевых мотопомп, установленных на понтонных экскаваторах. Мотопомпы по мере движения понтонов по технологическим маршрутам осуществляют отбор пульпы из прудка, подъем ее на высоту до 2 метров над поверхностью воды и затем сброс мелко распыленной пульпы обратно на водную поверхность. Данная схема воспроизводит стандартный технологический процесс – аэрации жидкости в непрерывной газовой фазе и обеспечивает поддержание концентраций растворенного кислорода в прудке № 3 на уровне насыщения при данной температуре.

Для оценки содержания кислорода регулярно, в утренние часы, проводится измерение концентраций по сети, включающей в себя 11 точек наблюдения.

Измерения проводятся с помощью плавсредства портативным, компактным оксиметром модели АМТ08 производства компании Sanxin. На основании результатов измерений определяются зоны с недостаточным содержанием кислорода, где аэрация интенсифицируется и удлиняется по времени.

### ВР 3.3 Извлечение НЦСОСВ из прудка. Предварительное обезвоживание осадка до влажности 70%. Подача осадка на площадку компостирования автотранспортом

Для проведения твердофазной ферментации (компостирования) из прудка извлекаются порции НЦСОСВ понтовыми плавающими экскаваторами и выгружаются на бетонную площадку, расположенную выше уреза воды. На площадке материал выдерживается для первичного обезвоживания и снижения начального уровня влажности - 80% до 70% и ниже, в течение нескольких дней. Фактическая влажность осадка определяется путем измерения величины данного параметра портативным влагомером древесины игольчатого универсального марки MD7820 производитель SANPROMETER. После первичного обезвоживания материал вывозится на комплекс компостирования для дальнейшей технологической обработки.

#### ***Технологическая стадия № 5 (ТП.1)***

Реакторной переработке подвергается материал, прошедший жидкофазную ферментацию на стадии ВР.3 после выполнения операции ВР.4. Цель данной стадии - ***быстрое разложение остаточного количества нитроцеллюлозы до безопасных следовых концентраций на уровне не более 5% по сухому веществу и доведение влажности продукта до значений, не превышающих 50%***. Последовательность операций, формирующих данную стадию технологического процесса, представлена ниже.

#### ТП.1.1 Подготовка рабочей смеси из НЦСОСВ и щепы влажностью 50-55%. Добавление ферментного препарата

Рабочая смесь (РС) готовится путем перемешивания с помощью фронтального погрузчика или смесителя НЦСОСВ и технологической щепы. Доли внесения каждого вида материала определяются, исходя из фактической влажности, измеренной портативным прибором, и контрольного уровня данного параметра, составляющего 50-55%. Наиболее вероятные рабочие соотношения НЦСОСВ : щепа – 1 : 2 или 1 : 4.

Перед смешением компонентов РС измеряется рН НЦСОСВ и доводится до контрольного уровня – 7-8 единиц.

Готовая рабочая смесь укладывается в бурты на площадке компостирования вдоль ее периметра на удалении нескольких метров от линии реакторов. РС выдерживается в буртах в течение 10 дней, при достижении температуры массы не ниже 35° в материал вносится энзимный препарат ***Celluclean Classic 400L, в количестве 1 кг на 1 м<sup>3</sup> рабочей смеси***. Более точная доза внесения энзима определяется в процессе эксплуатации технологического



оборудования комплекса компостирования на основании наблюдаемых скоростей распада НЦ. Внесение препарата проводится вручную с использованием обычных садовых леек. В процессе дождевания масса перекапывается и перемешивается, с целью равномерного распределения ферментного раствора по всему объему материала.

Материал, находящийся в бурте, постоянно аэрируется до закладки в реактор с помощью фронтального погрузчика – один-два раза в день.

#### ТП.1.2 Подача рабочей смеси в реактор с помощью колесного погрузчика

Подача РС на компостирование производится с помощью колесного погрузчика через верхний шлюз реактора Envicont C-2000 и торцевой шлюз установки «БиоЭкоМодуль». Объем ковша погрузчика составляет 1 м<sup>3</sup>, расстояние от пункта подготовки рабочей смеси до контейнерных реакторов меняется от 33 до 47, в среднем составляет – 40 метров. Таким образом, для загрузки одного контейнера погрузчик должен совершить порядка 35 рейсов, при этом пробег составит 1,4 км.

#### ТП.1.3 Обработка (компостирование) рабочей смеси в реакторе

Эксплуатация модулей Envicont C-2000 и «БиоЭкоМодуль» проводится в соответствии с инструкцией поставщиков. Режим переработки материала термофильный - при температуре 52-54°С, обеспечивающий ускоренное разложение НЦ, принимается в качестве основного – штатного технологического режима.

#### ТП.1.4 Выгрузка компоста и подача его на пункт кондиционирования с помощью колесного погрузчика

Выгрузка реакторов производится с помощью встроенного в контейнер шнека, который выталкивает компост непосредственно на бетонное основание производственной площадки. Выгруженный материал с помощью колесного погрузчика вывозится на пункт кондиционирования компоста. Расстояние от реакторов до пункта кондиционирования компоста меняется от 16 до 72 метров и в среднем составляет 50 метров. При емкости ковша погрузчика 1 куб. м, количество рейсов для переброски продукции одного реактора составит – 23, а общий пробег, соответственно, 1150 метров.

### **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

В соответствии с разработанным технологическим регламентом в рамках реализации ликвидационных мероприятий на ФКП АХК был переработан объем НЦСОСВ, накопленный за время эксплуатации предприятия в количестве 40000 тонн.

В результате переработки НЦСОСВ ликвидирован источник возникновения чрезвычайной ситуации регионального масштаба, представлявший прямую угрозу для 30000 жителей города Алексин.

Переработка НЦСОСВ позволила получить порядка 20000 тонн органоминерального почво-грунта, который используется для рекультивации нарушенных земель в процессе реализации ликвидационных мероприятий.

Полученные результаты показывают, что разработанный технологический регламент носит универсальный характер и может, после определенной адаптации, использоваться при организации аналогичных работ на других объектах.

Список литературы:

1. Панкратов А.А., Черенков П.Г. // Материалы III Российской конференции «Актуальные научные и научно-технические проблемы обеспечения химической безопасности России». М.: Буки Веди, 2016. С. 36.
2. Гладченко М.А., Гайдамака С.Н., Мурыгина В.П., Лифшиц А.Б., Черенков П.Г. // Химическая физика. 2015. Т. 34. № 6. С. 30.
3. Гладченко М.А., Rogozin A.D., Черенков П.Г., Мурыгина В.П., Гайдамака С.Н., Лифшиц А.Б. // Химическая физика. 2016. Т. 35. № 6. С. 78.

---

## SCIENCE AND INDUSTRY: COLLABORATIVE EXPERIENCE IN SOLVING CHEMICAL SAFETY PROBLEMS

*A. A. Pankratov, P. G. Cherenkov, and A. B. Lifshits\**

Federal State Enterprise Aleksinsky Chemical Industrial Complex, Aleksin, Tula region,  
Russia

Received April 20, 2017

**Abstract** – In 2014-2015, the Aleksinsky Chemical Industrial Complex within the framework of the Federal Target Program “National System of Chemical and Biological Safety of the Russian Federation (2009-2014 years)”, with the support of the Ministry of Industry and Trade of Russia and the Government of the Tula Region, performed a series of works involving liquidation of ceased manufacturing divisions, utilization and decontamination of the hazardous substances accumulated there over many decades. The article presents the results obtained during the implementation of the program activities.

*Keywords:* chemical safety, explosive materials, nitrocellulose, sewage sludge.