

**Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Самарский государственный технический университет»**

На правах рукописи



ШЕРСТОБИТОВ ДАНИЛ НИКОЛАЕВИЧ

**Метод ликвидации загрязнений биотопа, сформированного накопителями
отходов спиртовой промышленности**

1.5.15. Экология

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук

Научный руководитель:
доктор технических наук
Ермаков Василий Васильевич

Самара – 2026

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
ГЛАВА 1. МЕТОДЫ ОЦЕНКИ И ЛИКВИДАЦИИ ЗАГРЯЗНЕНИЙ, СФОРМИРОВАННЫХ НАКОПИТЕЛЯМИ ОТХОДОВ ПОСЛЕСПИРТОВОЙ БАРДЫ	10
1.1. Источники образования, состав и свойства послеспиртовой барды	10
1.2. Методы обращения со свежей послеспиртовой бардой.....	15
1.3. Существующие накопители отходов послеспиртовой барды	18
1.4. Основные виды обращения с органическими отходами.....	22
1.5. Утилизация отходов застарелой послеспиртовой барды	31
Выводы по главе 1	35
ГЛАВА 2. ИССЛЕДОВАНИЕ БИОТОПА, НАРУШЕННОГО НАКОПИТЕЛЯМИ ОТХОДОВ ПОСЛЕСПИРТОВОЙ БАРДЫ.....	37
2.1. Оценка состояния накопителей отходов послеспиртовой барды	40
2.1.1. Анализ данных дистанционного зондирования Земли	40
2.1.2. Полевое обследование участка размещения отходов послеспиртовой барды	43
2.1.3. Геоботаническое обследование биотопа, нарушенного размещением отходов послеспиртовой барды.....	47
2.1.4. Отбор проб компонентов окружающей среды и отходов послеспиртовой барды.....	50
2.2. Количественный химический анализ почв, грунтов и отходов	52
2.3. Обработка результатов химического анализа методом многомерного анализа	55
2.4. Исследование глубины загрязнения с применением индекса потенциала нитрификации	62
Выводы по главе 2.....	65
ГЛАВА 3. КОМПОСТИРОВАНИЕ ОТХОДОВ ПОСЛЕСПИРТОВОЙ БАРДЫ В ЛАБОРАТОРНЫХ УСЛОВИЯХ.....	67

3.1. Методика эксперимента по компостированию отходов послеспиртовой барды в лабораторных условиях	67
3.2. Микробиологическое исследование отходов послеспиртовой барды в процессе компостирования	74
3.3. Подбор соотношения компонентов компостируемой массы отходов послеспиртовой барды.....	78
Выводы по главе 3.....	84
ГЛАВА 4. КОМПСТИРОВАНИЕ ОТХОДОВ ПОСЛЕСПИРТОВОЙ БАРДЫ В ПРОМЫШЛЕННЫХ УСЛОВИЯХ	85
4.1. Конструктивное оформление площадки компостирования	85
4.2. Апробация технологии аэробного компостирования в промышленных условиях	89
4.3. Оценка состояния биотопа после проведения рекультивационных работ	98
Выводы по главе 4.....	104
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	106
СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ.....	108
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ	110
ПРИЛОЖЕНИЕ 1 – СПУТНИКОВЫЕ СНИМКИ ОБЪЕКТОВ РАЗМЕЩЕНИЯ ОТХОДОВ.....	133
ПРИЛОЖЕНИЕ 2 – КАРТА ОТБОРА ПРОБ.....	134
ПРИЛОЖЕНИЕ 3 – РЕЗУЛЬТАТЫ ХИМИЧЕСКОГО АНАЛИЗА ПОЧВЫ	135
ПРИЛОЖЕНИЕ 4 – РЕЗУЛЬТАТЫ ХИМИЧЕСКОГО АНАЛИЗА ГРУНТОВ НА ПОВЕРХНОСТИ	138
ПРИЛОЖЕНИЕ 5 – РЕЗУЛЬТАТЫ ХИМИЧЕСКОГО АНАЛИЗА ГРУНТОВ ИЗ СКВАЖИН.....	139
ПРИЛОЖЕНИЕ 6 – РЕЗУЛЬТАТЫ ХИМИЧЕСКОГО АНАЛИЗА ОТХОДОВ .	154
ПРИЛОЖЕНИЕ 7 – ИЛЛЮСТРАЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ ВРЕМЕННОЙ ПЛОЩАДКИ КОМПСТИРОВАНИЯ	155
ПРИЛОЖЕНИЕ 8 – АКТЫ И СПРАВКИ О ВНЕДРЕНИИ ДИССЕРТАЦИОННОЙ РАБОТЫ.....	156

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования. Источниками эмиссии поллютантов в окружающую среду могут являться в том числе и отходы пищевой промышленности. Среднегодовой объем производства этилового спирта за 2022–2024 гг. в России составлял не менее 850 000 м³. Объем образуемой послеспиртовой барды (ПСБ) – основного отхода производства с соотношением 1 литр произведенного этилового спирта к 13 литрам ПСБ – составляет 11 млн м³/год.

Отходы перегонки, в частности ПСБ, с 2010-х гг. утилизируются на предприятиях. Значительная часть отходов спиртового производства до данного времени могла поступать в окружающую среду или незаконно размещаться в неорганизованных накопителях, формируя массивы отходов. Это привело к концентрированию загрязнений почвенного покрова и грунтов, вызывая негативное воздействие на биотопы в границах населенных пунктов.

Процессы, протекающие в массиве отходов, способствуют образованию токсичных веществ, патогенной микрофлоры, а также появлению неприятного запаха. Ликвидация таких накопителей требует разработки специализированных методов утилизации, учитывающих состав отходов и состояние объекта размещения, которые претерпевают изменения как при контакте с окружающей средой, так и в процессе утилизации.

Степень разработанности темы исследования. В настоящее время существуют различные направления переработки свежей ПСБ. В России внедрение переработки ПСБ на производстве началось только в 2010-х гг. Накопители неорганизованного размещения ПСБ, сформированные в более ранние периоды, остались нерекультивированными и являются источниками негативного влияния на здоровье населения, биотопы и окружающую среду в целом.

Большой вклад в проблему изучения отходов спиртовой промышленности, а также в разработку методов утилизации ПСБ внесли отечественные ученые: А.Ю. Винаров, А.Г. Гурин, С.Х. Дзанагов, Р.Я. Дыганова, Н.Ш. Кайшева, А.Е. Кузнецов, А.А. Кухаренко, Л.В. Римарева, Е.М. Серба и др.

Отходы спиртовой промышленности используются в качестве кормовой добавки для крупного рогатого скота или удобрения для сельскохозяйственных культур за счет высокого содержания аминокислот, макро- и микроэлементов. Практически не рассматривается проблема негативного воздействия на окружающую среду отходов ПСБ, размещенных в накопителях. Не решена проблема ликвидации существующих накопителей.

Для утилизации отходов ПСБ, имеющих в своем составе значительное количество органических соединений, рекомендовано компостирование как метод утилизации, основанный на минерализации органической составляющей и способный обезвредить отходы, содержащие патогенные микроорганизмы.

Объект исследования. Биотоп, загрязненный долговременным и неорганизованным размещением отходов послеспиртовой барды.

Предмет исследования. Процессы трансформации загрязнений биотопа, сформированного накопителями отходов спиртовой промышленности.

Цель исследования. Разработка метода ликвидации загрязнений биотопа, сформированных отходами ПСБ, с использованием биотермического компостирования.

Задачи исследования:

1. Комплексная оценка состояния биотопа, нарушенного размещением отходов спиртовой промышленности, и обоснование технологии его восстановления.

2. Изучение свойств отходов ПСБ в условиях несанкционированного хранения при контакте с окружающей средой.

3. Исследование температурно-временных и структурно-временных характеристик процесса компостирования для различных соотношений наполнителей и добавок при подборе наиболее эффективных вариантов утилизации отходов ПСБ в лабораторных условиях.

4. Разработка технологии и проведение промышленного эксперимента по утилизации отходов ПСБ с использованием полученных зависимостей изменения температурно-временных и структурно-временных характеристик.

5. Разработка критерия оценки степени восстановления нарушенных биотопов после выполнения рекультивационных работ на основе данных дистанционного зондирования Земли.

Научная новизна:

1. Впервые проведена комплексная оценка воздействия отходов спиртовой промышленности на биотопы на основе особенностей флоры, микробиоты и химического состава грунтов и отходов в местах их локализации.

2. Выявлены неоднородности и фрагменты в массивах отхода, которые классифицированы с использованием метода анализа многомерных данных и дифференцированы на основе индекса потенциала нитрификации.

3. Изучена динамика химических превращений органических веществ при компостировании ПСБ с формированием набора структурно- и температурно-временных характеристик процесса.

4. Разработана технология ускоренной («интенсивной») биотермической утилизации отходов ПСБ и восстановления нарушенного биотопа с частичной рециклизацией продукта утилизации.

Теоретическая и практическая значимость исследования:

1. Предложенная методика оценки состояния биотопа, нарушенного размещением отходов спиртовой промышленности, позволяет выделить неоднородные фрагменты, требующие применения различных способов обращения.

2. Выявленные факторы, влияющие на скорость разложения отходов ПСБ, позволяют обосновать решения по реализации технологии утилизации отхода.

3. Разработана и внедрена технология ускоренной («интенсивной») биотермической утилизации отходов ПСБ для восстановления нарушенного биотопа с использованием продукта утилизации отходов спиртовой промышленности долговременного пребывания в окружающей среде.

4. Материалы и результаты диссертации используются в образовательном процессе ФГБОУ ВО «СамГТУ» при изучении дисциплин «Методы исследования

и оценки экологической опасности объектов техносферы» и «Основы планирования и математической обработки результатов эксперимента».

5. Результаты исследования использованы Министерством лесного хозяйства, охраны окружающей среды и природопользования Самарской области в 2024 г. при выполнении работ по рекультивации территорий площадью 42,4421 га в районе сельского поселения Рождествено Самарской области, техногенно деградированных несанкционированным размещением спиртовой барды. Работы выполнены по заказу Министерства лесного хозяйства, охраны окружающей среды и природопользования Самарской области, что подтверждается актом внедрения результатов научно-исследовательских разработок.

Методология и методы исследования. Диссертационное исследование базируется на общепринятых методах теоретического и экспериментального физико-химического исследования, включающих аттестованные методики для определения состава неорганической части отходов, газовой хроматографии для выявления динамики разложения и методах многомерного анализа данных для обработки результатов химического анализа проб почв, грунтов и отходов.

Положения, выносимые на защиту:

1. Результаты комплексного исследования биотопа, нарушенного размещением отходов ПСБ в открытых накопителях при контакте с окружающей средой различной длительности, включающие результаты химического анализа органической и неорганической части отходов, для обоснования способа утилизации.

2. Статистическая обработка результатов химического анализа образцов отходов и загрязненных компонентов окружающей среды, а также использование индекса потенциала нитрификации для определения границ и объема загрязненного биотопа.

3. Обоснование применения метода аэробного компостирования для утилизации отходов ПСБ в смеси: послеспиртовая барда – древесные опилки – рециркуляционный компост – в лабораторных условиях.

4. Результаты химического анализа компостируемой массы и продукта утилизации, а также исследования микробиологического консорциума в процессе утилизации.

5. Метод утилизации застарелых отходов ПСБ с рекомендациями по использованию в зависимости от их компонентного состава и длительности размещения на основе проведенных лабораторных исследований, а также промышленного апробирования на площадке компостирования.

Степень достоверности полученных результатов подтверждается результатами лабораторных испытаний, выполненных в трех независимых лабораториях, а также результатом промышленного внедрения технологии аэробного компостирования отходов застарелой ПСБ.

Апробация результатов работы.

Материалы диссертации представлены на Международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы экологии и природопользования» (г. Москва, 2022–2025 гг.), XIX Международном форуме-конкурсе студентов и молодых ученых «Актуальные проблемы недропользования» (г. Санкт-Петербург, 2023 г.), VI Всероссийском научно-общественном форуме «Экологический форсайт» (г. Саратов, 2024 г.), Всероссийской научно-практической конференции «Ашировские чтения» (г. Самара, 2024 г.), Международной научно-практической конференции «Почва и отходы. Актуальные проблемы формирования природно-антропогенных ландшафтов» (г. Москва, 2025 г.).

Личный вклад автора. Все выносимые на защиту результаты работы получены автором лично. Лабораторные и промышленные испытания выполнены при участии автора во время работы в Научно-аналитическом центре промышленной экологии ФГБОУ ВО «СамГТУ» в должности инженера. Основная часть диссертационных исследований проведена в рамках научно-исследовательской и опытно-конструкторской работы «Рекультивация территорий в районе сельского поселения Рождествено Самарской области, техногенно деградированных несанкционированным размещением спиртовой барды (в том

числе проектирование)» (Государственный контракт от 23.07.2019 № 0142200001319008883_247182).

Область исследования соответствует требованиям паспорта научной специальности 1.5.15. Экология, пункту 5 «Разработка экологически безопасных технологий и материалов, процессов подготовки и повышения качества продукции, утилизации промышленных отходов» и пункту 7 «Эколого-методические основы системы сохранения природных экосистем, системы защиты биотопов от деградации и загрязнения поллютантами».

Публикации по результатам исследований. Основные научные результаты диссертации опубликованы в рецензируемых изданиях. Материалы диссертации опубликованы в 8 печатных работах, в том числе 4 статьи напечатаны в журналах, входящих в «Перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук».

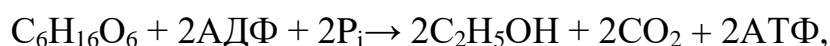
Структура и объем работы. Диссертация изложена на 159 страницах машинописного текста, включает 38 рисунков, 20 таблиц и состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы из 183 наименований, в том числе 116 – на иностранном языке, и 8 приложений.

ГЛАВА 1. МЕТОДЫ ОЦЕНКИ И ЛИКВИДАЦИИ ЗАГРЯЗНЕНИЙ, СФОРМИРОВАННЫХ НАКОПИТЕЛЯМИ ОТХОДОВ ПОСЛЕСПИРТОВОЙ БАРДЫ

1.1. Источники образования, состав и свойства послеспиртовой барды

Производство этилового спирта наряду с хлебопечением является одним из древнейших способов применения спиртового брожения. Спиртовое брожение в большинстве случаев осуществляется дрожжами родов *Saccharomyces* и *Schizosaccharomyces*.

Общая формула спиртового брожения представлена ниже:



где АДФ – аденозиндифосфорная кислота;

АТФ – аденозинтрифосфорная кислота;

P_i – фосфат-ион (PO_4^{3-}).

Согласно ГОСТ 5962-2013 «Спирт этиловый ректификованный из пищевого сырья. Технические условия», этиловый ректификованный спирт высшей очистки и первого сорта в зависимости от исходного сырья вырабатывают [41]:

- из зерна, картофеля или из смеси зерна и картофеля;
- из смеси зерна, картофеля, сахарной свеклы и мелассы, сахара-сырца и другого сахаро- и крахмалосодержащего сырья в различных соотношениях;
- из мелассы;
- из головной фракции этилового спирта, полученной при выработке спирта из пищевого сырья.

За последние десятилетия произошли существенные изменения в сторону вытеснения из спиртового производства картофеля и мелассы: доля зерновых в общем объеме применяемого сырья увеличилась до 92,5 % [41].

В отдельных странах для производства спирта используют различные виды сельскохозяйственного сырья: во Франции – сахарную свеклу и мелассу, в Германии – картофель и зерно, в США – зерно и фрукты, в странах Азии и Африки – тростниковую мелассу [31].

Этиловый спирт на территории Российской Федерации в настоящее время производится на предприятиях пищевой промышленности – спиртовых заводах – и включает несколько стадий [34, 53]:

1. Подготовка и разваривание сырья.

Сырье очищают, измельчают и смешивают с водой для получения однородной массы – замеса. Затем замес подвергают тепловой обработке под высоким давлением (развариванию). Цель этапа – разрушение клеточных стенок и перевод крахмала в растворимую форму для последующего осахаривания.

2. Осахаривание.

Разваренную массу охлаждают и вносят ферментные препараты (амилосубтилин, глюкаваморин), содержащие амилазы. Эти ферменты расщепляют крахмал до сбраживаемых сахаров – мальтозы и глюкозы. Образованная масса называется сушлом.

3. Брожение.

Осахаренное сушло направляют в бродильные аппараты, вносят чистую культуру дрожжей *Saccharomyces cerevisiae*. Дрожжи в анаэробных условиях сбраживают сахара в этиловый спирт и углекислый газ. На данной стадии образуются побочные продукты: сивушные масла (высшие спирты), эфиры, альдегиды. По окончании брожения получается зрелая бражка с концентрацией спирта 8–12 % об.

4. Дистилляция и ректификация.

Бражка поступает на брагоректификационную установку (БРУ). Процесс проходит в две основные стадии:

- дистилляция: в бражной колонне спирт отгоняется от нелетучей части бражки. Выходит дистиллят (сырец) с крепостью 35–45 % об. На данном этапе также происходит образование ПСБ [17];

- ректификация: спирт-сырец последовательно очищается в эппюрационной и ректификационной колоннах. Здесь происходит разделение сложной смеси на целевой продукт – ректифицированный этиловый спирт высшей очистки (или «Люкс», «Экстра») – и побочные фракции: головную (содержит легколетучие примеси – ацетальдегид, уксусно-метиловый эфир) и хвостовую (сивушное масло).

В табл. 1.1 представлено количество произведенного и отгруженного спирта, а также ориентировочное количество образованной ПСБ в России за 2022–2024 гг. [64].

Таблица 1.1

Количество произведенного в России этилового спирта за 2022–2024 гг.

Наименование	2022 г.	2023 г.	2024 г.
Объем произведенного спирта, тыс. дал	89 317,0	81 773,3	85 036,3
Объем отгруженного спирта, тыс. дал	73 158,7	65 788,7	65 212,4
Объем ориентировочно образуемой ПСБ*:			
• тыс. дал	1 161 121,0	1 063 052,9	1 105 471,90
• тыс. м ³	11 611,21	10 630,53	11 054,72

* При соотношении произведенного спирта к ПСБ 1:13.

Согласно представленным выше данным, среднее количество образуемых отходов ПСБ в России составляет более 11 млн т. В то же время в Китае ежегодно образуется примерно 25 млн т отходов ПСБ в результате деятельности ликероводочных заводов [178].

Основными отходами спиртового производства являются дрожжи, ПСБ, эфиральдегидная фракция, сивушное масло (табл. 1.2) [31].

Таблица 1.2

Соотношение отходов при производстве этанола из зерна [31]

Отходы	Значение
Спиртовая барда, м ³ /т спирта	16,25
Эфиральдегидная фракция, кг/т зерна	1,14
Сивушное масло, кг/т зерна	0,94

Согласно представленным выше данным, при производстве 1 м³ этилового спирта при плотности 0,789 г/см³ образуется не менее 13 м³ ПСБ.

Образование ПСБ происходит на стадии ректификации, данный отход представляет собой жидкость (суспензию) светло-коричневого цвета с содержанием сухих веществ (СВ) 7–9 %. Зерновая ПСБ богата клетчаткой, углеводами, белками и микроэлементами [17]. В ПСБ присутствуют мертвые клетки дрожжей-продуцентов этанола (источник протеина), органические кислоты, аминокислоты, витамины, микро- и макроэлементы [30].

ПСБ содержит органические кислоты – до 20 % от СВ, редуцирующие вещества – до 7 % от СВ, аминокислоты – до 3 % от СВ, глицерин и другие спирты – до 6 % от СВ, твердую фазу (биомасса дрожжей, часть дробленого солода). Поскольку содержание окисляемых веществ в ПСБ велико (табл. 1.3), сброс ее в водоемы приводит к их сильному загрязнению.

Таблица 1.3

Содержание химических веществ в ПСБ

Показатель	Происхождение ПСБ		
	спиртовая	коньячная	ликеро-водочная
ХПК, мгО ₂ /л	60 000–70 000	20 000–25 000	35 000–45 000
БПК ₅ , мгО ₂ /л	27 000–33 000	12 000–15 000	19 000–23 000
Взвешенные вещества, мг/л	50 000–60 000	1500–3100	4000–55 000
рН	4,9–5,0	4,6–4,7	3,7–3,8
Азот общий, мг/л	1300–1500	260–280	700–850
Азот аммонийный, мг/л	300–500	2,5–3,0	140–160
Фосфор, РО ₄ , мг/л	250–350	250–350	220–380

Экологическое воздействие загрязнений, попадающих в природную среду, характеризуется степенью загрязненности, которая определяется рядом физико-химических показателей: ХПК, БПК, количеством взвешенных веществ и кислотностью среды [31].

В табл. 1.4 приведены значения показателей загрязненности для спиртовой промышленности при производстве этанола из зерна [31].

**Основные показатели загрязненности жидких стоков
пищевой промышленности**

Отрасль производства	БПК, гО₂/л	ХПК, гО₂/л	Взвешенные вещества, г/л	рН
Спиртовая промышленность (сырье – зерно пшеницы)	130–160	200–220	340–360	6,5–8,0
Сахарная промышленность	2370	7540	21 320	8,0

Неправильная утилизация отходов ПСБ может привести к загрязнению почвы и подземных вод, неприятному запаху и образованию патогенных микроорганизмов из-за высокой кислотности, значительному содержанию органических веществ и высокой влажности [163, 164].

Для недопущения несанкционированного размещения отходов ПСБ был утвержден целый ряд нормативно-правовых актов, включая недействующие, такие как Приказ Федеральной службы по регулированию алкогольного рынка от 4 декабря 2012 г. № 364 «Об утверждении Порядка утилизации ПСБ (основного отхода спиртового производства) на очистных сооружениях и перечня соответствующего технологического оборудования».

Действующий в настоящее время Приказ Федеральной службы по регулированию алкогольного рынка от 17 декабря 2020 г. № 400 «Об утверждении порядка полной переработки и утилизации ПСБ (основного отхода спиртового производства) на очистных сооружениях и перечней соответствующего технологического оборудования» определяет требования к полной переработке ПСБ (основного отхода спиртового производства), являющейся частью производства этилового спирта из зернового сырья и представляющей собой жидкий остаток, образующийся в результате перегонки зрелой бражки, содержащий нерастворимую часть исходного зернового сырья и дрожжевую биомассу. Полная переработка ПСБ завершается получением (выработкой) продукции, срок годности или срок хранения которой составляет не менее шести месяцев, с массовой долей влаги не более 12 %, предотвращающей ее микробиологическую порчу (далее – продукция переработки ПСБ) [54].

1.2. Методы обращения со свежей послеспиртовой бардой

Основные методы по переработке свежей ПСБ представлены на рис. 1.1.



Рисунок 1.1. Схемы утилизации ПСБ [1, 39]

Особенностью схемы с получением кормовых дрожжей является обеспечение утилизации большинства растворенных органических соединений барды и перевод их в усваиваемый кормовой белок в виде кормовых дрожжей [1].

Препятствием для использования свежей необработанной ПСБ в качестве корма является высокое содержание воды (до 85 %). Кроме того, ПСБ имеет высокую питательную ценность для микроорганизмов. Необходимость утилизации и обезвреживания ПСБ обусловлена потенциальным микробиологическим загрязнением. Стоит отметить, что вовлечение ПСБ в производственный процесс необходимо проводить в короткий срок (1–2 суток). В результате несвоевременного начала процедур по утилизации и обезвреживанию ПСБ она становится непригодна для производства кормового продукта [29]. Уже через 2–3 месяца она постепенно темнеет, становится коричневой. Происходящие в ней гнилостные процессы приводят к тому, что хлебный запах барды теряется, а из-за зловонного запаха животные отказываются от такой барды [9].

Переваримость сырого протеина барды низкая и составляет около 52 %. Этот показатель может быть увеличен до 85–89 % обогащением барды белком в

результате аэробного культивирования на барде дрожжей рода *Candida*. При этом резко возрастает кормовая ценность барды, появляется возможность получения полноценной кормовой белково-витаминной добавки [30].

Кормовые дрожжи – это концентрированная белковая добавка к кормам, используемая на многих сельхозпредприятиях и комбикормовых заводах. Содержание белка в кормовых дрожжах может превышать 45–46 %. Комбинация микробного дрожжевого белка с растительным делает дрожжевой кормовой концентрат (ДКК) не просто кормовой добавкой с высоким содержанием белка, а настоящей основой кормов для свиноводства и птицеводства без диетологических ограничений, связанных с аминокислотным составом и усвоением протеинов из зернового источника [1].

Несмотря на достаточно высокое энергопотребление, применение также находят схемы с выпарными станциями и сушкой (DDGS – Dried Distillers Grains with Solubles), представленные на рис. 1.2.

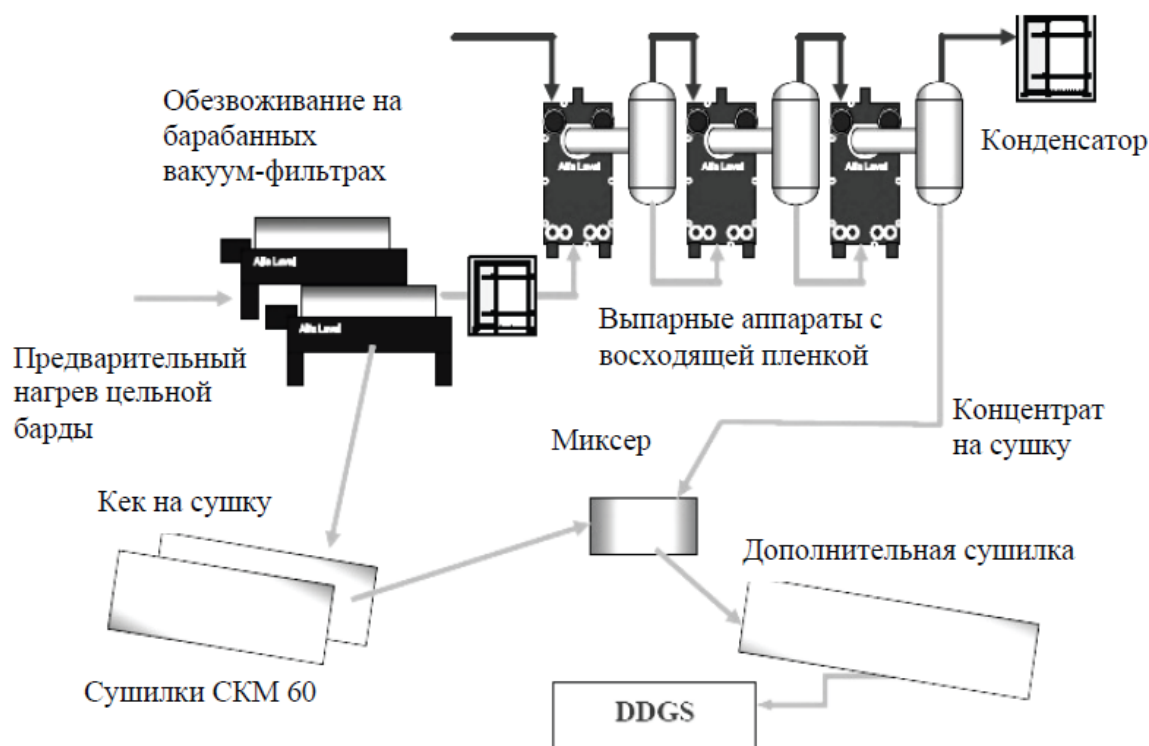


Рисунок 1.2. Схема переработки ПСБ с использованием выпарных станций [1]

На крупных российских спиртовых заводах объемы образующейся ПСБ велики. Весь объем ПСБ не удастся в натуральном виде полностью скармливать сельскохозяйственным животным. Для уменьшения объемов ПСБ упаривают либо могут возвращать в производство (на стадию замеса) после выделения из нее твердой фазы (объем образующейся ПСБ сокращается на 40–50 %) или подвергать дополнительной микробиологической обработке, например, пропионовокислыми бактериями [29].

Одним из примеров применения технологии DDGS является модернизированный Буинский спиртовой завод, расположенный в Республике Татарстан, на котором ежегодно производится 25 тыс. т сухой ПСБ [69].

ПСБ, особенно ее твердая фаза, имеет высокую кормовую ценность. В ряде стран Западной Европы зернокартофельная барда считается основным продуктом небольших спиртовых заводов, а спирт вырабатывается как побочный продукт [29].

ПСБ может быть использована для производства этанола [92, 127], биотоплива [124], удобрения [137], ферментного препарата [103] и корма [128].

Схемы с производством биогаза не нашли широкого применения в России. В основном данная технология применяется для переработки меласной барды [1].

Способы утилизации ПСБ отражены во множествах патентов, содержащих в основном описание микробиологических методов [44–51]. В предлагаемых авторами способах ПСБ используется в качестве питательной среды для микроорганизмов. Конечным продуктом жизнедеятельности микроорганизмов является белок, используемый в качестве кормовой базы для сельскохозяйственных животных.

ПСБ также может использоваться в качестве удобрений для увеличения урожайности культур.

Согласно ряду исследований, ПСБ может заменить использование навоза в качестве удобрения за счет более высокого содержания азота и фосфора для выращивания сена житняка [68]. Внесение ПСБ в качестве органического удобрения оказывает положительное влияние на формирование зеленой массы кукурузы [14]. Использование послеспиртовой зерновой барды в качестве

удобрения повысило урожайность кукурузы как при отдельном внесении, так и в сочетании с известью и $N_{45}P_{45}K_{45}$ [15].

Использование ПСБ как в качестве удобрений, так и в виде корма для крупного скота обусловлено низкой токсичностью. Острую оральную токсичность сухой ПСБ определяли на 30 белых мышах. После введения препарата в дозах 0,5, 5, 10 г на 1 кг массы тела отклонений в общем состоянии животных не наблюдали [40].

Однако представленные выше методы по использованию свежей ПСБ не были широко распространены на территории Российской Федерации за счет отсутствия контроля со стороны надзорных органов. Размещение отходов ПСБ происходило в большинстве случаев в непосредственной близости к спиртовым заводам, что не требовало высоких затрат по сравнению с производством на основе отходов спиртовой промышленности кормовых добавок для КРС, DDGS или биогаза.

1.3. Существующие накопители отходов послеспиртовой барды

На 01.01.2025, согласно группе 11.01 «Перегонка, очистка и смешивание спиртов» классификатора ОКВЭД 2.0, действует 87 юридических лиц [23].

Для оценки состояния накопителей отходов спиртовой промышленности, в том числе ПСБ, проведен анализ открытых источников, спутниковых снимков мест расположения спиртовых заводов, а также результатов рекогносцировочного обследования и документации по ряду объектов (табл. 1.5).

Таблица 1.5

Спиртовые заводы Российской Федерации

№	Наименование	Месторасположение объекта	Площадь накопителей, га	Возраст накопителей, лет
Центральный федеральный округ				
1	АО «Новопесчанское»	Белгородская область, г. о. Старооскольский, с. Песчанка	–	–
2	ООО «Аннинский спиртзавод»	Воронежская область, Аннинский район, пос. Анна	27	15
3	ООО «Этанол спирт»	Воронежская область, Новохоперский район, с. Красное	98	> 40
4	ОАО «Спиртзавод «Бекетовский»	Курская область, Горшеченский район, пос. Бекетовский	17	> 40
5	ООО «Курскпродукт»	Курская область, Глушковский район, пгт Теткино	160	> 40
6	ООО «Ардымский спиртзавод»	Пензенская область, с. Старая Каменка	0,5	25–30
7	ООО «Биофармкомбинат»	Рязанская область, Михайловский район, пос. Коровинского спиртзавода	–	–
8	АО ФАПК «Якутия», Байловский спиртовой завод	Тамбовская область, Пичаевский район, с. Байловка 2-я	11	> 40
9	АО «Амбер Талвис»	Тамбовская область, Тамбовский район, пос. Новая Ляда	6	> 40
10	АО «Биохим»	Тамбовская область, с. Рассказово	–	–
11	ООО «Донской»	Тульская область, Кимовский район, пос. Елифань	32	> 40
12	ООО «Зернопродукт»	Тульская область, г. Ефремов	72	> 40
13	ООО «Абсолют»	Тульская область, Суворовский район, пос. Лужковский	17	25–30
14	ООО «Эталон»	Тульская область, Плавский район, пос. Октябрьский	59	15–20
Северо-Западный федеральный округ				
15	ООО «Гатчинский спиртовой завод»	Ленинградская область, Гатчинский район, д. Малые Колпаны	–	–
16	ООО «Итар»	Калининградская область, г. Калининград	–	–
Приволжский федеральный округ				
17	ОАО «Уржумский спиртоводочный завод»	Кировская область, Уржумский район, г. Уржум	–	–
18	ООО «Спиртзавод «Кемлянский»	Республика Мордовия, Ичалковский район, с. Кемля	–	–
19	ООО «Спиртзавод «Теньгушевский»	Республика Мордовия, Теньгушевский район, пос. Дачный	–	–
20	ООО «Спиртзавод «Ромодановский»	Республика Мордовия, Ромодановский район, пос. Ромоданово	72	25–30
21	АО «Арзамасспирт»	Нижегородская область, г. Арзамас, пос. Ломовка	4	> 40
22	АО «Спиртзавод Чугуновский»	Нижегородская область, Воротынский район, пос. Южный	6	> 40
23	ООО «Спиртзавод Оренбургский»	Оренбургская область, Первомайский район, пос. Первомайский	12	10
24	ООО «Александровский спиртзавод № 14»	Пензенская область, Бессоновский район, с. Грабово	–	–
25	ООО «Агат-Алко»	Пензенская область, Городищенский район, пос. Затон	5	25–40
26	ООО «Новый Буян»	Самарская область, п. Новый Буян	4	> 40
27	АО «Татспиртпром», Усадский спиртзавод	Республика Татарстан, Высокогорский район, д. Тимофеевка	1	25–35
28	АО «Татспиртпром», Мамадышский спиртзавод	Республика Татарстан, г. Мамадыш	–	–

Продолжение таблицы 1.5

29	ООО «Спиртзавод «Балезинский»	Удмуртская Республика, Балезинский район, пос. Балезино	–	–
Уральский федеральный округ				
30	АО «Аминосиб»	Тюменская область, Ишимский район, пос. Стрехнинское	42	2
Сибирский федеральный округ				
31	АО «Ерофеев»	Новосибирская область, г. Куйбышев	13	10
32	ООО «Ликеро-водочный завод «ОША»	Омская область, г. Омск	–	–
Северо-Кавказский федеральный округ				
33	ООО «Миранда»	Республика Северная Осетия – Алания, г. Владикавказ	–	–
34	ООО «Орфей»	Республика Северная Осетия – Алания, г. Владикавказ	–	–
35	ООО «ДДД»	Республика Северная Осетия – Алания, Алагирский район, с. Дзуарикау	–	–
36	ООО «Партнер»	Республика Северная Осетия – Алания, Дигорский район, с. Мостиздах	–	–
37	ООО «Бесланспирт»	Республика Северная Осетия – Алания, Правобережный район, г. Беслан	–	–
38	ОАО «Ариана-С»	Республика Северная Осетия – Алания, Правобережный район, г. Беслан	–	–
39	ООО «Престиж»	Республика Северная Осетия – Алания, Пригородный район, с. Михайловское	–	–
40	ООО «РИАЛ»	Кабардино-Балкарская Республика, г. Прохладный	–	–
41	ООО «Премиум»	Кабардино-Балкарская Республика, Зольский район, с. Сармаково	52	> 40
42	ООО «Казачье»	Ставропольский край, Минераловодский район, с. Гражданское	–	–
43	ООО «Суворовский»	Ставропольский край, Предгорный район, ст. Суворовская	23	20–30

Согласно проведенному анализу, в табл. 1.5 представлены данные о 43 юридических лицах, осуществляющих деятельность по производству этилового спирта в 6 федеральных округах Российской Федерации. Наибольшее количество спиртовых заводов находятся в Центральном (14), Приволжском (13) и Северо-Кавказском (11) федеральных округах. В 22 из 43 объектов при помощи данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) были найдены организованные и неорганизованные объекты размещения органических отходов, в том числе ПСБ. Спутниковые снимки наиболее крупных объектов размещения отходов (ОРО) представлены в прил. 1.

Принадлежность ОРО к накопителям отходов спиртового производства оценивалась на основе удаленности от спиртовых заводов, предписаний природоохранной прокуратуры по устранению нарушений в области обращения с отходами, а также на основе анализа новостных ресурсов и социальных сетей. Площадь и возраст ОРО рассчитывались на основе космических снимков, представленных интернет-ресурсом Google Earth.

Наибольшее количество ОРО находятся в Центральном федеральном округе, в то время как в Северо-Кавказском федеральном округе накопители спиртовых отходов не были обнаружены в связи с использованием свежей ПСБ для корма скота.

Согласно проанализированным данным ДЗЗ, после вступления в силу Приказа Федеральной службы по регулированию алкогольного рынка от 17 декабря 2020 г. № 400 [54] произошло снижение интенсивности роста площадей накопителей спиртовых отходов, но в то же время не проводятся мероприятия по рекультивации данных ОРО и восстановлению биотопов. Отсутствие указанных мероприятий связано со сложностью и высокой стоимостью проведения обследования данных объектов, а также необходимостью адаптации технологий обращения с отходами под условия долговременного размещения данных отходов.

1.4. Основные виды обращения с органическими отходами

Согласно ГОСТ Р 53692-2023 «Ресурсосбережение. Обращение с отходами. Этапы технологического цикла отходов», установлены 8 этапов технологического цикла отходов, подлежащих ликвидации:

- а) 1-й этап – образование;
- б) 2-й этап – сортировка;
- в) 3-й этап – классифицирование и идентификация;
- г) 4-й этап – паспортизация;
- д) 5-й этап – накопление;
- е) 6-й этап – упаковка и маркировка;
- ж) 7-й этап – транспортирование с целью дальнейшей передачи на обработку, утилизацию, обезвреживание или размещение;
- з) 8-й этап – обработка, утилизация, обезвреживание или размещение.

Основным нормативно-правовым актом, регулирующим обращение с отходами, является Федеральный закон «Об отходах производства и потребления» от 24.06.1998 № 89-ФЗ, в котором отражены такие основные понятия, как утилизация и обезвреживание.

Утилизация отходов – использование отходов для производства товаров (продукции), выполнения работ, оказания услуг, включая повторное применение отходов, в том числе повторное применение отходов по прямому назначению (рециклинг), их возврат в производственный цикл после соответствующей подготовки (регенерация), извлечение полезных компонентов для их повторного применения (рекуперация), а также использование твердых коммунальных отходов (ТКО) для производства из их органической части искусственных грунтов и ТКО в качестве возобновляемого источника энергии (вторичных энергетических ресурсов) после извлечения из них полезных компонентов на объектах обработки, соответствующих требованиям, предусмотренным пунктом 3 статьи 10 настоящего Федерального закона (энергетическая утилизация).

Обезвреживание отходов – уменьшение массы отходов, изменение их состава, физических и химических свойств (включая сжигание, за исключением сжигания, связанного с использованием ТКО в качестве возобновляемого источника энергии (вторичных энергетических ресурсов), и (или) обеззараживание на специализированных установках) в целях снижения негативного воздействия отходов на здоровье человека и окружающую среду.

Согласно информационно-техническому справочнику по наилучшим доступным технологиям (НДТ) ИТС 15-2021 «Утилизация и обезвреживание отходов (кроме термических способов)» [19], методы утилизации и обезвреживания органических отходов применяются для ТКО. В справочнике ИТС 15-2021 представлены НДТ утилизации ТКО с получением биогаза и органических удобрений (НДТ 14.1), а также утилизации отдельно собранных пищевых отходов с получением органических продуктов (кормовые добавки, удобрение, биотопливо) (НДТ 14.2). НДТ 14.3 используется для утилизации ТКО (отдельно собранной органической биоразлагаемой фракции или отсева сортировки) с получением компоста. Применение НДТ для органических отходов, кроме ТКО, в ИТС 15-2021 не предусмотрено, однако компостирование может быть использовано для различных отходов с высокой долей содержания органического вещества.

Компостирование – экзотермический процесс биологического окисления, в котором органический субстрат подвергается аэробной биодegradации смешанной популяцией микроорганизмов в условиях повышенных температур [27].

С помощью компостирования можно достичь следующих целей по утилизации твердых отходов [97]:

1. Обезвреживание. При компостировании быстро уничтожаются патогенные микроорганизмы, личинки и семена сорняков. Такие неприятные явления, как запахи, размножение насекомых и вредителей, можно предотвратить за счет быстрого разложения органических соединений.

2. Уменьшение массы и объема. Часть органического углерода окисляется до углекислого газа и испаряется. Насыпная плотность компоста выше, чем у исходного материала.

3. Рекуперация. Компост чаще всего используется в агрономии. Компостирование позволяет вернуть в почву в органической форме минеральные питательные вещества для растений, которые в противном случае могли бы быть утрачены. Поскольку компостирование снижает соотношение C:N, надлежащая обработка снижает вероятность нанесения вреда сельскохозяйственным культурам или декоративным растениям за счет иммобилизации почвенного азота микроорганизмами.

В бедных, густонаселенных районах, где отсутствуют системы водоснабжения и канализации, удаление человеческих экскрементов и приготовление навоза путем компостирования прекрасно дополняют друг друга. Таким образом, с помощью ручного труда можно удовлетворить две важнейшие потребности – обезвреживание и рекуперацию. Такие условия в Индии привели к разработке в 1920-х гг. Индорского процесса, который до сих пор широко используется. Хотя это можно считать первым современным процессом, существуют более ранние записи о систематизированном компостировании. Компостирование использовалось преимущественно в отношении сельскохозяйственных отходов, однако с середины XX в. начало применяться и для обезвреживания ТКО [97].

Изменение температуры компостной массы происходит в процессе саморазогрева, что является индикатором процесса компостирования. Условно принято разделять процесс на четыре температурной стадии: мезофильная (до 40°C), термофильная (до 60°C), остывание (до 40°C), и созревание) [37].

Время, необходимое для перехода от мезофильной к термофильной стадии, измеряется днями. Системы непрерывного компостирования исключают мезофильную стадию и работают непрерывно при термофильных температурах. Это возможно благодаря тому, что при поступлении свежих

отходов, они подогреваются уже имеющимся компостом, что приводит к развитию термофильных бактерий. Массовое заселение активными термофилами, присущее непрерывным процессам, может способствовать ускорению выработки тепла за счет поступающих отходов [97].

Согласно проведенным исследованиям ученых, установлено, что средняя из трех или более наблюдений за максимальной температурой составила 78 °С. Тем не менее совпадение представляется маловероятным объяснением этих разрозненных наблюдений, которые имеют общий пик примерно в 80 °С, и эта температура может представлять собой предел биологического самонагрева органических масс [97].

Компостирование используется преимущественно для обезвреживания ТКО, что описывается иностранными [71, 72, 75, 84, 85, 95, 97, 114, 119, 123, 129, 131, 132, 139, 142, 146, 148, 150, 154, 155, 160, 165, 167, 181] и российскими учеными [6, 18, 33, 37, 38, 42, 59, 60].

Опыт эксплуатации показывает, что для ТКО начальное соотношение С:N, меньшее, чем 25/1, может привести к улетучиванию аммиака. Это может привести к появлению неприятных запахов и снижению сельскохозяйственной ценности компоста. Соотношение, превышающее 40/1, свидетельствует о потенциальном дефиците азота. Потеря углерода через образование углекислого газа постепенно снижает соотношение С:N в процессе компостирования [97].

Компостирование – это важный процесс, основанный на деятельности микроорганизмов по преобразованию сложных органических соединений в гуминовые вещества, который считается экологичным и экономически эффективным способом переработки твердых органических отходов [156].

Компостирование определяется как биологическая обработка, при которой аэробные термофильные и мезофильные местные микроорганизмы используют органическое вещество в качестве субстрата, получая в результате стабилизированный, дезодорированный, гигиеничный материал, не

содержащий патогенов и семян сорных растений, а также богатый гуминовыми веществами [87, 130].

Технология компостирования входит в информационно-технический справочник по наилучшим доступным технологиям ИТС 15-2021 «Утилизация и обезвреживание отходов (кроме термических способов)» [19].

Аэробное компостирование – эффективная технология по переработке органических отходов, поскольку в процессе происходит значительное уменьшение объема и массы, а полученный грунт можно использовать в качестве удобрения или почвенного кондиционера [164]. Данная технология широко применяется для переработки различных видов органических отходов, таких как сельскохозяйственные, коммунальные и пищевые отходы, а также навоз домашнего скота [78, 153]. Время компостирования составляет от 4 до 20 суток в автоматизированных установках и до 3 месяцев в стационарных [27]. Аэрация служит не только для подачи кислорода, но и для отвода газов и избыточного тепла [97].

Компостирование ценится за экономические и экологические преимущества, широко применяется при переработке и утилизации твердых бытовых отходов для преобразования органического вещества в богатые питательными веществами гуминовые вещества [149].

Компостирование широко применяется для обезвреживания осадков сточных вод (ОСВ) [5, 7, 10, 13, 21, 22, 27, 35, 43, 58, 62, 65, 66, 67, 70, 94, 98, 110, 120, 125, 136, 156, 161, 162, 169, 172, 177, 179]. Компостирование способствует снижению санитарно-бактериологических и санитарно-паразитологических показателей, а также уменьшению массы отхода за счет разложения органического вещества [58]. Компостирование ОСВ способствует фиксации таких тяжелых металлов, как медь, цинк и никель, вследствие усиливающейся гумусированности, а также переводу доступных форм тяжелых металлов в малоподвижные соединения [22]. Компостирование ОСВ с внесением биопрепарата способствует минерализации органического вещества на 11 %, увеличению в готовом компосте азота на 37 %, фосфора –

на 54 %, органического вещества (в пересчете на углерод) – на 15 % [21]. Компостирование ОСВ без добавления органического вещества позволяет снизить содержание кишечных палочек в процессе 5-недельного компостирования, а при сроке 2 месяца содержание кишечных палочек резко снижается вплоть до исчезновения [62]. Внесение носителя микрофлоры, такого как навоз КРС, в объемной доле 50 % способствует более интенсивному разложению органического вещества, а также резкому росту температуры компостной массы [10].

Оптимальными параметрами для компостирования являются: влажность (40–70 %), соотношение C:N 25:1–35:1, pH 6,5–9,5. Саморазогрев компостируемого материала выше 60 °С приводит к гибели большинства патогенных микроорганизмов, а также семян сорных растений [5]. Древесные опилки, вносимые в компостные смеси, содержат большое количество углерода, они делают структуру компоста воздухопроницаемой и влагоемкой [13]. Отходы, переработанные биотехнологическим методом (компостированием), представляют собой однородную сыпучую массу, удобную для транспортировки, фасовки и внесения в почву. Готовый компост имеет влажность 45–50 %, масса по сравнению с исходной сокращается в 2–2,5 раза [27].

Использование готовых продуктов утилизации ОСВ (компостов, почвогрунтов) разрешено в зеленом, дорожном строительстве под посадки цветочно-декоративных растений, деревьев и кустарников вдоль дорог, при формировании растительного слоя откосов; в питомниках лесных и декоративных культур; для рекультивации нарушенных земель, карьеров, полигонов ТКО и полигонов промышленных отходов [11, 12, 35].

Температура компостируемой массы является индикатором, отображающим скорость разложения органических веществ в режиме реального времени [74, 106, 145].

Соотношение C:N является важным параметром, указывающим на степень зрелости компоста, на которую, как правило, могут влиять изменения

органического вещества и его характеристик. Соотношение C:N, равное или менее 25, является стандартом для зрелого компоста [74].

Трехдневный режим ворошения компостируемой массы положительно сказывается на популяции компостных бактерий по сравнению с ежедневным перемешиванием [74].

Углерод и азот являются наиболее важными веществами для микроорганизмов: углерод используется в качестве источника энергии, а азот – для построения клеточной структуры [13].

Согласно проведенным исследованиям, наиболее оптимальным уровнем аэрации при компостировании ТКО является величина от 0,25 л/(мин·кг) до 0,7 л/(мин·кг) [99, 104, 122, 126, 140].

Пивная дробина, так же как и ПСБ, богата органическими и минеральными веществами (белки, жиры, клетчатка и др.), что дает возможность ее использования в качестве субстрата для компостирования ОСВ [70].

Древесные опилки, вносимые в компостную массу в качестве наполнителя, являются более эффективными порообразователями по сравнению с соломой и травой [98].

Внесение компоста в почву обеспечивает питательные вещества для роста растений, улучшает структуру почвы, увеличивает способность удерживать воду и снижает зависимость от удобрений на основе ископаемого топлива [88, 109, 117].

В процессе компостирования могут возникнуть различные экологические проблемы, включая образование токсичных газов [119, 129, 131], биоаэрозолей [72, 155, 167] и пыли [84, 155], приводящие к возникновению риска для здоровья людей, проживающим вблизи мест по компостированию отходов [139, 154, 160].

Наиболее важными критериями процесса компостирования, которые влияют на разложение органического вещества, являются отношение углерода к азоту (C:N), размер частиц (более мелкие частицы компостируются быстрее,

например, при измельчении), влажность, аэрация, температура, pH, пористость, состав микроорганизмов [123].

Из-за различий в сырье, используемом при компостировании, необходимо отслеживать изменения соотношения C:N, а не учитывать абсолютные значения. Для зрелого компоста соотношение конечного C:N и начального C:N должно быть меньше 0,7524 [123].

Содержание общего органического вещества может рассматриваться как достоверный параметр для подтверждения стабильности компоста [123].

Наиболее быстрое разложение органического вещества происходит при температуре компостной смеси от 45 до 55 °C [71, 123].

Грибки играют ключевую роль в процессе гумификации. Для их развития необходима вода, поскольку растворенная органика является важнейшим источником энергии, но слишком большое количество воды приводит к анаэробным условиям, которые губительны для роста грибов [181].

Наиболее эффективным методом компостирования является компостирование с ворошением и принудительной аэрацией, позволяющее снизить неоднородность, а также повысить зрелость компоста [142].

Несмотря на большой объем информации, доступной в литературе, нет общего мнения о наиболее подходящем методе оценки стабильности и зрелости параметров качества компоста [150].

В процессе компостирования принимают участие множество микроорганизмов: идентифицировано более 2000 известных видов бактерий, не менее 100 видов грибов [52, 90, 147].

Считается, что при повышении температуры в пределах от 10 до 50 °C на каждые 10 °C микробные процессы ускоряются в 2–3 раза [37].

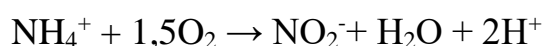
Процесс компостирования в изменяющихся температурных условиях осуществляется при участии разнообразных микроорганизмов, в основном представителей четырех бактериальных фил: *Firmicutes*, *Proteobacteria*, *Bacteroidetes* и *Actinobacteria*, которые составляют 85 % всех

идентифицированных и классифицированных микроорганизмов в исследованных образцах компостов [73].

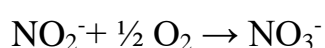
Первую, мезофильную, стадию компостирования осуществляют мезофильные бактерии и грибы, которые при повышении температуры замещаются термофилами. Представители семейства *Enterobacterales* (*Proteobacteria*) являются факультативными анаэробами, обитают в почве и в желудочно-кишечном тракте людей и животных и активны на ранних стадиях компостирования. Умеренно термофильные бактерии семейства *Lactobacillales* (*Firmicutes*) активны в начале процесса разогрева компоста и после повторного рыхления компостного материала в начале стадии остывания. В термофильной стадии компостирования (45–60 °С) различные бациллы семейства *Bacillus* (*Firmicutes*) могут составлять более 80 % от общего числа бактерий, и часто обнаруживаются *Bacillus subtilis*, *B. licheniformis* и *B. circulans*. Представители рода *Thermus* растут при температуре 65–82 °С и участвуют в разложении различных макромолекул [159].

Соматмох-бактерия *Nitrospira inopinata* (бинарная культура, содержащая представителя рода *Nitrospira* и бактерию-спутник), осуществляющая аэробное окисление аммония в нитрит в компостируемом органическом субстрате путем двух стадий (содержит гены аммиак-монооксигеназы, гидроксилламин-оксидоредуктазы и нитрит-оксидоредуктазы), проявляет оптимальную активность при 37 °С [118].

Первую фазу – окисление солей аммония до солей азотистой кислоты (нитритов) – осуществляют аммоний-окисляющие бактерии (АОБ) родов *Nitrosomonas*, *Nitrosococcus*, *Nitrosolobus* и др.



Вторую фазу – окисление нитритов до нитратов – осуществляют нитритокисляющие бактерии, относящиеся к родам *Nitrobacter*, *Nitrococcus* и др.



Аммоний-окисляющие бактерии (АОБ) и археи (АОА) активны в компосте при концентрациях кислорода в диапазоне 1–10 об. %, но существует разница в занимаемых нишах АОА и АОБ. Молекулярно-биологическими методами было подтверждено, что архейный ген *amoA* присутствовал на протяжении всего процесса компостирования, в то время как бактериальный ген *amoA* не определялся на термофильной стадии и стадии остывания, что указывает на наличие активных архей с толерантностью к относительно высокой температуре [170, 175].

При компостировании актинобактерии растут медленнее, чем большинство бактерий и микромицетов, и на ранних стадиях компостирования не составляют им конкуренции, когда их численность ниже численности бактерий, однако в термофильной стадии актинобактерии играют значительную роль [152]. Следует отметить способность многих актинобактерий к синтезу антибиотиков, за счет чего в почве уничтожаются их антагонисты – многие виды микробных патогенов растений, что важно для их защиты. Известно также, что некоторые актиномицеты синтезируют индукторы роста растений, стимулирующие их созревание [147].

Застарелая ПСБ, размещенная в накопителях длительное время, всё еще содержит в своем составе высокую концентрацию органических веществ, углерода и азота, что является основным фактором для успешного прохождения процесса компостирования. Применение компостирования для утилизации отходов ПСБ является обязательным не только для минерализации отхода, но также и для обезвреживания его от патогенных организмов на стадии высоких температур.

1.5. Утилизация отходов застарелой послеспиртовой барды

Компостирование – это естественный биологический процесс контролируемого разложения органических отходов, таких как ПСБ. В процессе участвуют микроорганизмы (бактерии и грибы), которые

расщепляют органические вещества в ПСБ, превращая их в стабильный и свободный от патогенов компост [107].

Проблемы, связанные с утилизацией ПСБ, определяются значительным содержанием органического вещества, высокой кислотностью, присутствием трудноразлагаемых соединений, дисбалансом питательных веществ, неприятным запахом, высокой влажностью, необходимостью соблюдения нормативных требований при обращении с данным отходом [80].

Содержание влаги в ПСБ чрезвычайно высоко и превышает 90 %. Такой повышенный уровень влажности осложняет процесс компостирования, поскольку для данного метода оптимальное содержание влаги должно составлять около 55 %. Решением данной проблемы является смешивание ПСБ со структурирующими добавками [80]. Структурирующие добавки представляют собой волокнистые материалы с низким содержанием влаги, которые обеспечивают доступ воздуха и регулируют содержание воды в отходах, предназначенных для компостирования [113].

Анаэробное компостирование имеет преимущество в виде снижения потерь азота, однако важно учитывать ограничения и недостатки этого метода [173]. Аэробное компостирование имеет ряд преимуществ по сравнению с анаэробным компостированием. Эти преимущества заключаются в более быстром разложении отходов, повышении температуры штабелей компоста до уровней, неблагоприятных для патогенов и сорняков, значительном сокращении выбросов парниковых газов и возможности получения компоста за относительно короткий период [100, 176].

Компостирование ПСБ оказывает как положительное, так и отрицательное влияние на окружающую среду. К негативным факторам относят выбросы парниковых газов, образование фильтрата и неприятных запахов [80].

Отходы ПСБ могут содержать ингибирующие вещества, такие как спирты, органические кислоты, фенольные соединения и токсичные металлы, которые могут препятствовать жизнедеятельности микроорганизмов и

замедлять разложение. Методы предварительной обработки, такие как разбавление, детоксикация или регулирование pH и соотношения C:N, могут помочь смягчить ингибирующее действие этих веществ [89].

Вермикомпостирование является распространенным способом утилизации не только ПСБ, но и отходов производства вина и других алкогольных напитков [101, 138, 141, 151]. Однако вермикомпостирование имеет ограничение по объему обезвреживания отходов и длительности протекания процессов биодеструкции.

Технология компостирования ПСБ может меняться в зависимости от состояния исходного отхода, количества и возможности контроля условий компостирования, таких как режим аэрации, температура и влажность. Компостирование в буртах (Windrow composting) – технология, при которой происходит формирование длинных валов из отходов, которые подвергаются ворошению для аэрации и равномерного разложения органических соединений. Данный метод подходит для крупномасштабного компостирования в сельскохозяйственных и промышленных условиях [80].

С другой стороны, компостирование в статических буртах предполагает формирование компостных куч без регулярного ворошения, что обеспечивает естественное разложение. Этот способ проще и подходит для небольших объемов отходов, но при этом процесс компостирования идет медленнее, возможно преобладание анаэробных условий и образование неприятного запаха. Кроме того, при компостировании в емкостях используются закрытые контейнеры с системами аэрации для контролируемого разложения, что позволяет лучше контролировать температуру и влажность, устранять запахи и обрабатывать большие объемы органических отходов. Однако для этого требуется специализированное оборудование и высокие капитальные вложения [91, 107].

Аэробное компостирование ПСБ оказалось эффективным методом утилизации и позволило получить компост с повышенным содержанием

органического углерода, азота, фосфора и калия, что делает его ценным источником питательных веществ для сельскохозяйственных культур.

Утилизация ПСБ через компостирование предлагает экологически безопасную альтернативу минеральным удобрениям в сельском хозяйстве [158].

Основными аспектами, обычно используемыми для оценки качества компоста, являются его стабильность и зрелость [83].

Однако стабильность и зрелость компоста трудно определить, используя только один метод, из-за высокой изменчивости, наблюдаемой в компостах, поскольку их характеристики сильно зависят от исходного материала и используемой системы компостирования [108].

Различными авторами были предложены многочисленные параметры для оценки процесса компостирования, а также степени зрелости и стабильности полученных компостов [78], такие как емкость катионного обмена (ЕКО) и ее отношение к общему органическому углероду (ЕКО:ООУ) [105, 112], различные показатели «гумификации» [112], соотношение углерода и азота (С:N), водорастворимого органического углерода (ВОУ) и органического азота (ВОУ:N_{орг}), соотношение NH₄⁺-N/NO₃⁻-N [79, 111, 182], содержание азота, индекс всхожести (ИВ) [183], определение респираторных индексов [76] и содержания АТФ или активности ферментов [157].

Эффективность компостирования ПСБ зависит от нескольких факторов, которые можно оптимизировать для улучшения процесса [81]. К ним относятся соотношение углерода и азота (С:N), влажность, температура, аэрация, микробная активность, рН, ингибирующие вещества, размер частиц, перемешивание и доступность питательных веществ.

Поддержание сбалансированного соотношения С:N (обычно в диапазоне 25–40:1) способствует активности микроорганизмов и эффективному разложению. Оптимальный уровень влажности (50–65 %) необходим для роста и активности микроорганизмов [144]. Контроль температуры в термофильном (50–70 °С) или мезофильном (30–45 °С)

диапазоне ускоряет разложение и снижает количество патогенов, а правильная аэрация обеспечивает подачу кислорода, предотвращая анаэробные условия и поддерживая аэробную микробную активность [82, 107].

Для регулирования ключевых факторов, влияющих на процесс компостирования (таких как pH, температура, микробная активность, баланс питательных веществ, уровень влажности и аэрация), в исходные материалы могут добавляться различные вещества [77]. Структурообразователи, добавляемые в компостную массу, влияют в основном на физические свойства компоста, особенно на аэрацию, – это солома, стебли растений, древесная щепа, опилки, рисовая шелуха и т. д. Однако в большинстве случаев эти вещества также оказывают прямое или косвенное воздействие на другие аспекты процесса компостирования, поэтому их можно классифицировать как добавки. Добавки играют ключевую роль в оптимизации компостирования – они уменьшают вымывание питательных веществ и газовые выбросы, улучшают аэрацию компостной массы, ускоряют разложение органического вещества, а также повышают содержание и доступность питательных веществ в готовом продукте [80].

Выводы по главе 1

ПСБ, образуемая в результате производства этилового спирта, является ценным ресурсом для использования в качестве кормовой добавки в рационе КРС, а также может использоваться в качестве удобрения для сельского хозяйства, но ранее часто оказывалась невостребованной.

Размещение ПСБ в земляных накопителях без инженерной защиты приводит не только к негативному воздействию на окружающую среду, но также и к образованию отходов застарелой ПСБ со сроком хранения более 3 месяцев. В результате нахождения в накопителях отходы застарелой ПСБ являются источником размножения патогенной микрофлоры, синантропных видов насекомых, а также причиной неприятного запаха.

С учетом крупнотоннажного образования ПСБ земляные накопители расположены во многих регионах европейской части Российской Федерации. Методы обращения с отходами застарелой ПСБ отличаются от только образованных на производстве. Анализ литературных данных позволил рассмотреть различные методы обращения с органическими отходами, подробно оценив компостирование в качестве приоритетного метода для утилизации ТКО, ОСВ и отходов застарелой ПСБ.

Компостирование при утилизации отходов застарелой ПСБ позволяет снизить массу отхода, минерализовать органическую часть, провести эрадикацию патогенной микрофлоры, а также устранить неприятный запах. Внесение добавок, включающих древесные опилки, компост на термофильной стадии, штаммы микроорганизмов и т. д., совмещая при этом непрерывную аэрацию с ворошением, интенсифицирует процесс утилизации отходов застарелой ПСБ.

ГЛАВА 2. ИССЛЕДОВАНИЕ БИОТОПА, НАРУШЕННОГО НАКОПИТЕЛЯМИ ОТХОДОВ ПОСЛЕСПИРТОВОЙ БАРДЫ

Согласно Указу Президента Российской Федерации от 19.04.2017 № 176 «О Стратегии экологической безопасности Российской Федерации на период до 2025 года» (далее – Стратегия), общая площадь загрязненных земель, находящихся в обороте, составляет около 75 млн га. Площадь нарушенных земель, утративших свою хозяйственную ценность или оказывающих негативное воздействие на окружающую среду, составляет более 1 млн га. Свыше 30 млрд т отходов производства и потребления накоплено в результате прошлой хозяйственной и иной деятельности. По итогам инвентаризации территорий выявлено 340 объектов накопленного вреда окружающей среде, являющихся источником потенциальной угрозы жизни и здоровью 17 млн человек.

Одной из поставленных задач Стратегии, утвержденной приказом Президента Российской Федерации, является ликвидация накопленного вреда окружающей среде. Для организации работ по ликвидации объектов накопленного вреда окружающей среде (ОНВОС) требуется провести необходимое обследование объекта, включающее инженерные изыскания.

Постановление Правительства Российской Федерации от 19 января 2006 г. № 20 «Об инженерных изысканиях для подготовки проектной документации, строительства, реконструкции объектов капитального строительства» определяет следующие виды инженерных изысканий:

- инженерно-геодезические изыскания;
- инженерно-геологические изыскания;
- инженерно-гидрометеорологические изыскания;
- инженерно-экологические изыскания;
- инженерно-геотехнические изыскания.

Инженерно-экологические изыскания, согласно СП 502.1325800.2021 «Инженерно-экологические изыскания для строительства. Общие правила

производства работ», – один из основных видов инженерных изысканий, выполняемый для изучения и оценки инженерно-экологических условий территории, составления прогноза возможных изменений инженерно-экологических условий, обоснования мероприятий по охране окружающей среды и предотвращению негативного воздействия на биотопы и условия жизнедеятельности человека.

Советский ученый В.Н. Сукачев в 1930-х гг. ввел понятие «биогеоценоз». Под ним было предложено понимать однородный участок суши с определенным составом живых (биоценоз) и абиотических (биотоп) компонентов, функционально взаимосвязанных. Его структура показана на рис. 2.1 [63].

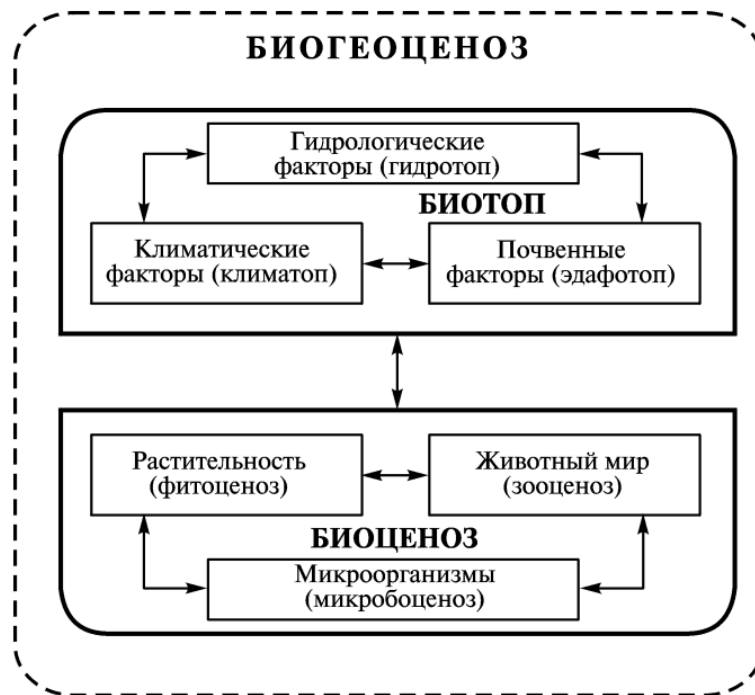


Рисунок 2.1. Схема биогеоценоза по В.Н. Сукачеву [63]

В связи с увеличением антропогенного воздействия на биоту и абиотические среды с 1930-х гг. схема биогеоценоза требовала уточнения. Обновленная схема представлена на рис. 2.2.

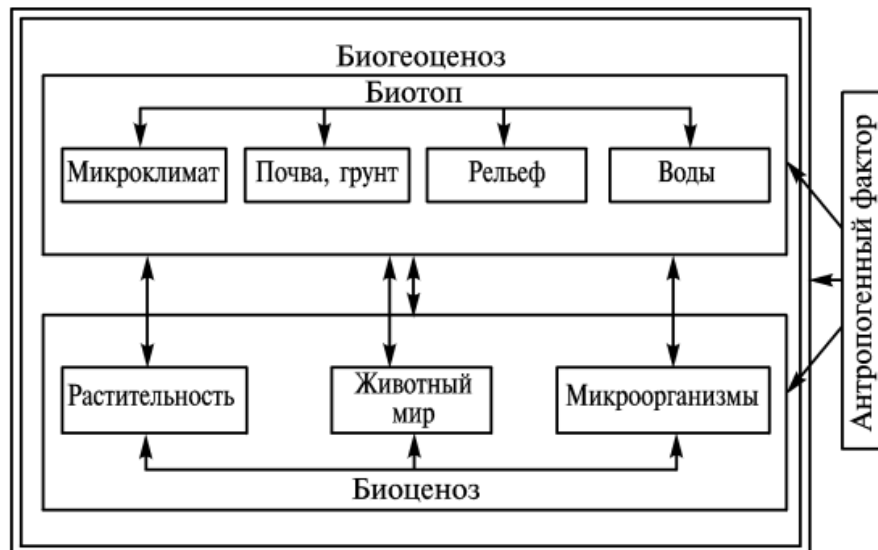


Рисунок 2.2. Схема биогеоценоза по Г.А. Новикову (1979) [63]

По сравнению со схемой, представленной на рис. 2.1, классификация Г.А. Новикова содержит три новых фактора: рельеф, грунты и антропогенный [63]. Следовательно, для изучения состояния выбранного биотопа, а также степени его нарушения в результате антропогенной деятельности требуется изучение нескольких компонентов окружающей среды.

При выполнении инженерно-экологических изысканий изучению подлежат:

- почвенный покров (на участках суши);
- растительный покров;
- животный мир;
- гидрохимические и гидробиологические характеристики водных объектов;
- состояние компонентов природной среды;
- ландшафтная структура территории;
- характер, интенсивность и история использования территории;
- опасные природные и природно-антропогенные процессы;
- социально-экономические условия.

2.1. Оценка состояния накопителей отходов послеспиртовой барды

Накопители отходов ПСБ образованы в результате деятельности спиртового завода, расположенного в с. Рождествено Самарской области. Завод был основан в 1896 г., действовал более 100 лет и был закрыт в 2013 г. За время эксплуатации на прилегающей территории в границах особо охраняемой природной территории (ООПТ) федерального значения «Самарская Лука» было размещено значительное количество отходов на территории площадью не менее 40 га.

Размещение отходов ПСБ оказывало не только механическое воздействие при изменении рельефа, но также и химическое загрязнение отходами с высокой долей органических веществ, повлекших микробиологическую контаминацию.

К обследованию ОНВОС необходимо подходить комплексно, с изучением следующих факторов [20]:

- природно-климатические условия местности;
- время нахождения отходов в контакте с ОС;
- полевое обследование;
- химический анализ проб почв и грунтов;
- состав и свойства размещенных отходов;
- биотестирование.

В связи с отсутствием архивных данных по накопителям ПСБ наиболее репрезентативным методом для оценки природных условий, а также длительности нахождения отходов на открытом воздухе является анализ данных ДЗЗ, а именно спутниковых снимков изучаемого объекта.

2.1.1. Анализ данных дистанционного зондирования Земли

Из-за значительных объемов отходообразования при производстве этилового спирта площадь накопителей ПСБ составляет несколько гектаров, в связи с чем они легко детектируются при помощи ДЗЗ.

До начала выполнения полевых исследований были проанализированы существующие космические снимки на ресурсе Google Earth Pro. На рис. 2.3–2.8 представлены космические снимки участка размещения отходов за 20-летний период.



Рисунок 2.3. Снимок участка изысканий от 20.04.2002 (источник – Google Earth Pro)



Рисунок 2.4. Снимок участка изысканий от 09.06.2009 (источник – Google Earth Pro)



Рисунок 2.5. Снимок участка изысканий от 02.07.2011 (источник – Google Earth Pro)

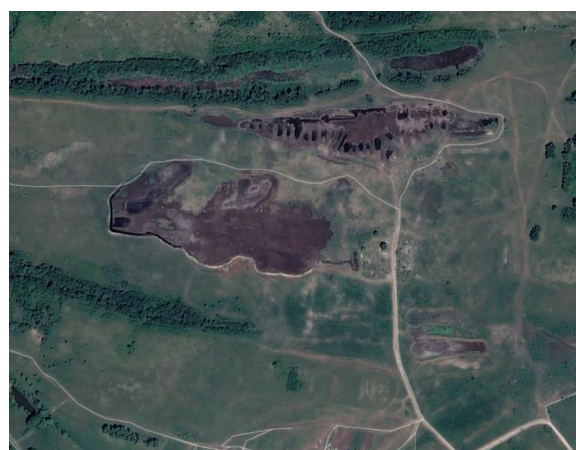


Рисунок 2.6. Снимок участка изысканий от 02.06.2014 (источник – Google Earth Pro)

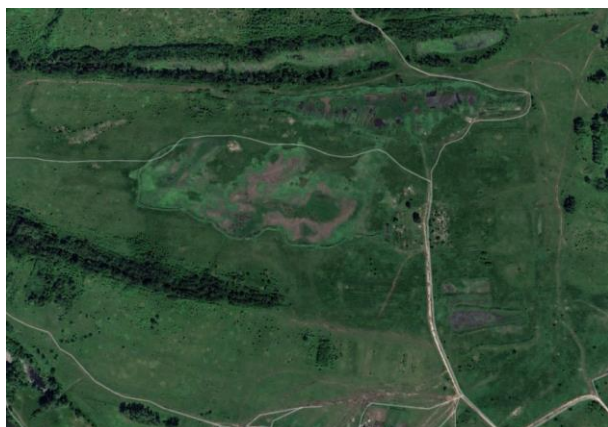


Рисунок 2.7. Снимок участка изысканий от 13.06.2017 (источник – Google Earth Pro)



Рисунок 2.8. Снимок участка изысканий от 31.05.2021 (источник – Google Earth Pro)

Согласно представленным выше снимкам, за 20-летний период на месте размещения отходов происходит развитие растительности, однако с легко детектируемыми очагами угнетенных участков.

После определенного временного периода происходит биоремедиация участков почвы с незначительным объемом размещенных отходов ПСБ (рис. 2.9, 2.10).

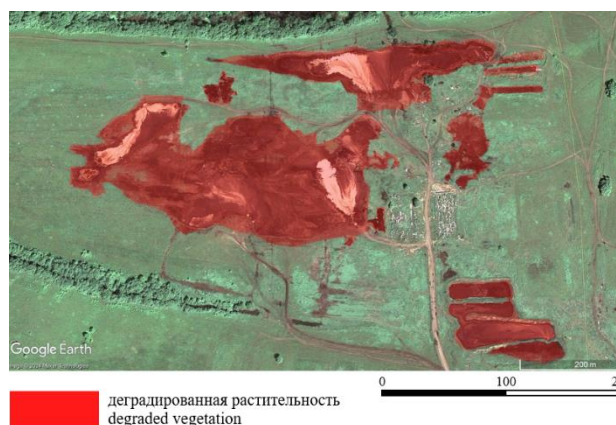


Рисунок 2.9. Снимок участка изысканий от 09.06.2009 (источник – Google Earth Pro)

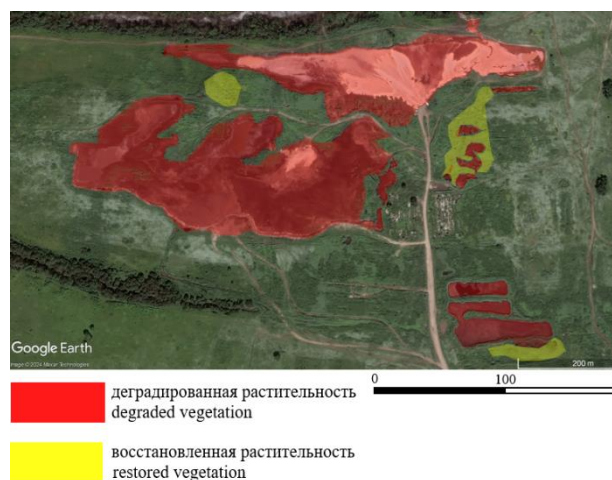


Рисунок 2.10. Снимок участка изысканий от 02.07.2011 (источник – Google Earth Pro)

Согласно представленным выше космическим снимкам, на изучаемой территории выделяется несколько очагов наиболее выраженной деградации растительности. Последствия размещения незначительного количества ПСБ могут быть устранены при протекании естественных процессов биоремедиации с восстановлением растительности. Между тем на изучаемом объекте размещено значительное количество отходов, в которых не протекают процессы деструкции, что связано со значительной толщиной массива.

Для определения степени нарушения биотопа и геосреды были проведены инженерные изыскания, включая инженерно-экологические изыскания.

2.1.2. Полевое обследование участка размещения отходов послеспиртовой барды

После анализа данных ДЗЗ было проведено полевое рекогносцировочное обследование участка размещения отходов ПСБ.

Протяженность обследуемой территории составляет до 610 м с севера на юг и до 890 м с запада на восток с перепадом высот 37,62–42,34 м. Повышение высот наблюдается на участках обвалования, что способствовало нераспространению ПСБ на близлежащую территорию и уменьшению зоны загрязнения. Наивысшая точка обследуемой территории находится в границе большого накопителя (БН), наиболее низкая – у склона оврага на севере участка, близ малого накопителя (МН). Общая площадь территории – 42,4421 га.

На указанной территории производилось несанкционированное размещение ПСБ в 4-секционном бардохранилище в юго-восточной области обследуемой территории, а также в 2 периметрально обвалованных участках: большом (в средней части обследуемого земельного участка) и малом (в северной части обследуемого участка). Данные участки в дальнейшем будут называться накопителями. Общий план обследуемой территории с выделенными участками разлива ПСБ представлен на рис. 2.11.



Рисунок 2.11. Общий план территории обследования, где: 1 – бардохранилище (БХ), 2 – большой накопитель (БН), 3 – малый накопитель (МН). Дата снимка – 24.07.2022 (источник – Google Earth Pro)

Контур малого накопителя (поз. 3 на рис. 2.11) неровны и представляют собой кривую линию. Протяженность его с запада на восток составляет около 450 м, ширина в наиболее узком месте – 10 м, в наиболее широком – около 100 м. За обвалованием накопителя, во внутренней его части, произрастает рудеральная растительность. Территория накопителя неоднородна, причина этого – залегание ПСБ в почвенном слое в виде линз вследствие естественных неровностей рельефа. Это характеризует наличие неоднородных зон с малой степенью зарастания либо с полным или частичным отсутствием растительности. Почва в данных зонах обладает рыхлой либо вязкой и «плавающей» структурой. Территория между БХ и МН представлена растительностью «переходного типа»: с запад на восток изменяется от типичной рудеральной до нарушенного суходольного типа.

По всей длине южной стороны данного накопителя сформированы навалы грунта – по физическим свойствам твердые, плотные и сравнимые с

почвой участков, не подверженных воздействию ПСБ. Бурты подверглись самозарастанию рудеральной растительностью, характерной для участков обследуемой территории, загрязненных размещением ПСБ. Высота их от поверхности земли на данный момент достигает 1 м, длина – до 15 м. Состояние МН представлено на фото (рис. 2.12–2.13).



Рисунок 2.12. Поверхность МН послеспиртовой барды (1)



Рисунок 2.13. Поверхность МН послеспиртовой барды (2)

Бардохранилище представляет собой земляной амбар неправильной трапециевидной формы, размерами 180 × 150 м, разделенный дамбами на 4 секции, протяженные с запада на восток. По периметру БХ обустроено дамбой обвалования. Обвалование имеет переменную высоту от 0,8 до 2 м над естественным для участка уровнем земли. Антропогенные образования на территории представлены отходами ПСБ. На обваловании БХ и прилегающей территории произрастает рудеральная и сорная растительность (рис. 2.14).

Обследованный участок подвержен сильной антропогенной трансформации, растительность угнетенная, таксономический состав животного мира обеднен.



Рисунок 2.14. Поверхность БХ

На южной части данной территории располагается третий участок, нарушенный размещением ПСБ, – большой накопитель протяженностью с запада на восток 510 м, с севера на юг – 210 м. Участок представляет собой овал неправильной формы с неровными, изогнутыми границами. Накопитель имеет прерывистое обвалование. Общие виды отображены на рис. 2.15–2.16. Территория также характеризуется наличием рудеральной растительности. По внутреннему периметру БН имеется наиболее развитая рудеральная растительность при полном отсутствии кустарников и деревьев. По внешней границе обвалования южной части накопителя находится деградированный суходольный луг и деградированный опушечный биотоп. Изменение растительности в сторону рудеральной происходит в направлении с юга на север. Западная часть исследуемой территории представлена суходольным лугом, деградированным в восточном направлении.



Рисунок 2.15. Поверхность БН (1)



Рисунок 2.16. Поверхность БН (2)

Обследуемый накопитель подвержен сильной антропогенной трансформации, в целом растительность можно охарактеризовать как угнетенную, таксономический состав животного мира обеднен.

Общая площадь исследуемых накопителей составила 14,45 га, в том числе БН – 8,54 га, МН – 4,25 га и БХ – 1,66 га.

2.1.3. Геоботаническое обследование биотопа, нарушенного размещением отходов послеспиртовой барды

В местах накопителей отходов ПСБ представлена только рудеральная растительность: полыни *Arthemisia* sp., конопля *Cannabis ruderalis*, чертополохи *Cardus* sp., бодяк *Cirsium* sp., лопух паутинистый *Arctium tomentosum*, маревые *Chenopodium* sp., *Atriplex* sp., вейник *Calamagrostis* sp., щавель *Rumex* sp.; на отвалах грунта – чертополох *Cardus* sp., бодяк *Cirsium* sp., одуванчик лекарственный *Taraxacum officinale*. Древесно-кустарниковая растительность представлена в основном кленом американским *Acer negundo*, в районе разрушенных строений растут единичные береза повислая *Betula pendula*, тополь черный *Populus nigra*, осина *Populus tremula*, шиповник *Rosa* sp., бузина черная *Sambucus nigra*; изредка встречаются ранетки – *Malus domestica*.

В ходе геоботанического исследования, проведенного в 2020 г., были заложены 102 пробные площадки площадью 100 м² (рис. 2.17).

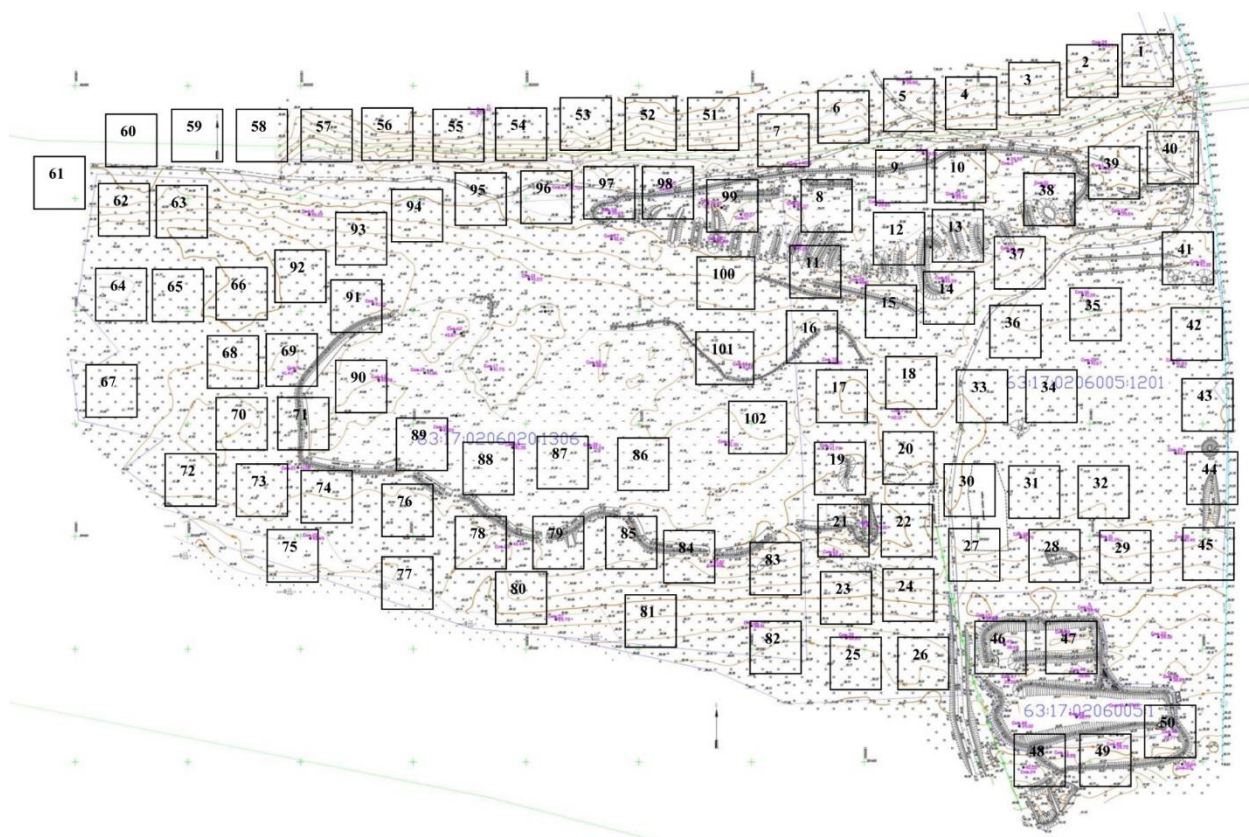


Рисунок 2.17. Основные пробные площадки изучения растительности на территории несанкционированного размещения ПСБ

В результате анализа было выявлено 111 видов сосудистых растений [25, 121]. Выделены 3 типичные ассоциации: пырейная, пырейно-разнотравная, вейниково-разнотравная, а также моносообщества *Ambrosia trifida*. Древесно-кустарниковая растительность не развита, встречены лишь единичные экземпляры молодых деревьев, в основном представленные инвазивным для территории кленом американским (*Acer negundo* L.). Виды, занесенные в Красную книгу Самарской области, на исследуемой территории не обнаружены.

Третьей ступенью геоботанической экспертизы является анализ имеющейся информации, полученной в ходе полевых исследований. По результатам экспертизы растительного покрова был составлен комплексный аннотированный конспект флоры, включающий ряд экологических характеристик: жизненные формы по Х.К. Раункиеру и по И.Г. Серебрякову,

экоценотип, фитоценотип, характеристики адвентивных видов (по способу заноса и времени заноса). Далее был вычислен индекс синантропизации флоры (I_{sa}), определяющийся отношением числа синантропных видов к общему числу видов флоры, за исключением всех синантропных: $I_{sa} = 63 \times 100 / 111 = 56,75$ %, что соответствует второй стадии высокой трансформации флоры. Значение очень высокое, к сравнению: индекс синантропизации для Волжского района в целом составляет 15,6. Также наглядным и показательным в данном случае является проведенное эколого-флористическое зонирование (рис. 2.18).

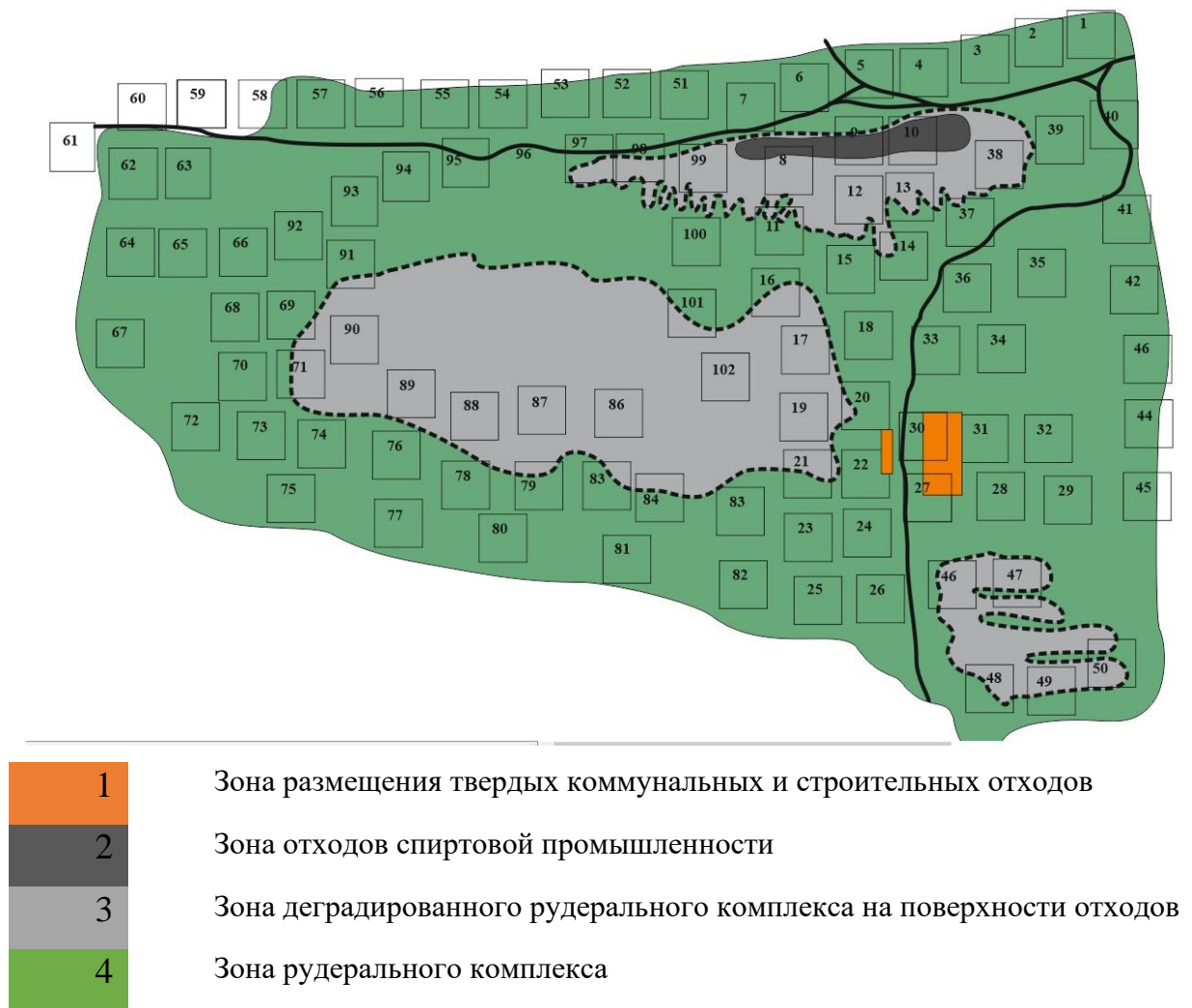


Рисунок 2.18. Эколого-флористическое зонирование несанкционированного размещения ПСБ в с. Рождествено

По степени формирования растительного комплекса, а также мере его нарушенности выделено 4 зоны [25]. Наименьшее по составу сообщество растительного мира отмечено на частично бетонированной площадке (зона 1),

с наибольшим скоплением строительных и твердых коммунальных отходов. Часть ТКО складирована на обочине грунтовой дороги.

На участках деградированного рудерального комплекса (зона 3) снят почвенный слой и образованы периметральные грунтовые дамбы, внутри которых растительность сформирована на поверхности отходов [25]. На части деградированного рудерального комплекса отмечены участки выхода ПСБ на поверхность (зона 2), где растительный покров отсутствует. На склонах дамб размещены ТКО.

Относительная выравненность площадки и обедненный таксономический состав флоры (зона 4) говорят как о производимой вспашке на большей части участка, так и о длительном воздействии размещения отходов спиртовой промышленности [25].

В целом флора территории оскуднена и значительно трансформирована. Большинство видов являются представителями сорно-рудеральной группы. Основными доминантами в растительных группировках являются *Ambrosia trifida* L. и *Cannabis sativa* L.

2.1.4. Отбор проб компонентов окружающей среды и отходов послеспиртовой барды

Поверхность участка изысканий сформирована грунтами естественного и антропогенного происхождения. Антропогенные грунты представлены отходами ПСБ. Естественный почвенный покров на МН и БХ практически не сохранился. Для определения уровня и площадного распространения загрязнения пробы отбирались с пробных площадок, равномерно распределенных по обследуемой территории, при этом пробы грунтов и почв отбирались в местах их распространения. Отбор проб почв и грунтов для их экотоксикологической оценки как компонента природной среды, способного накапливать значительные количества загрязняющих веществ, осуществлялся:

- в периметральной полосе БХ;
- в периметральной полосе БН;
- в периметральной полосе МН;
- из периметрального обвалования БХ;
- из периметрального обвалования БН;
- из периметрального обвалования МН;
- с поверхности массива БХ;
- с поверхности БН;
- с поверхности массива МН.

Для оценки санитарно-бактериологического и санитарно-паразитологического состояния почвенного покрова был произведен отбор объединенных проб почв, состоящих из 3 точечных проб.

Перечень определяемых показателей для анализа химического состава отходов ПСБ, почвы и грунтов из скважин представлен в табл. 2.1. Карта отбора проб представлена в прил. 2.

Таблица 2.1

Перечень определяемых показателей для анализа химического состава

№, п/п	Наименование компонента	Определяемые показатели	Кол-во проб
1	Почва	Водородный показатель рН, свинец (валовая форма), свинец (подвижная форма), кадмий (валовая форма), кадмий (подвижная форма), цинк (валовая форма), цинк (подвижная форма), медь (валовая форма), медь (подвижная форма), никель (валовая форма), никель (подвижная форма), мышьяк, ртуть, марганец, сера общая, фосфор, азот нитритный, азот нитратный, азот аммонийный, формальдегид, сульфаты (сульфат-ион), цианиды, фенол, сухой остаток, нефтепродукты, органические вещества, хлориды (хлорид-ионы), натрий, калий	50
2	Грунт на поверхности	Водородный показатель рН, свинец (валовая форма), кадмий (валовая форма), цинк (валовая форма), медь (валовая форма), никель (валовая форма), мышьяк, ртуть, марганец, сера общая, фосфор, азот нитритный, азот нитратный, азот аммонийный, формальдегид, сульфаты, цианиды, фенол, сухой остаток, нефтепродукты, хлориды, натрий, калий	15

3	Грунт из скважин	Водородный показатель рН, свинец (валовая форма), кадмий (валовая форма), цинк (валовая форма), медь (валовая форма), никель (валовая форма), мышьяк, ртуть, марганец, сера общая, фосфор, азот нитритный, азот нитратный, азот аммонийный, формальдегид, сульфаты, цианиды, фенол, сухой остаток, нефтепродукты, хлориды, натрий, калий	255
4	Отходы ПСБ	Водородный показатель рН, свинец, кадмий, цинк, медь, никель, мышьяк, ртуть, марганец, сера, азот нитритный, азот нитратный, азот аммонийный, сульфаты (сульфат-ион), цианиды, фенол, сухой остаток, нефтепродукты, хлориды (хлорид-ионы), натрий, калий	15

2.2. Количественный химический анализ почв, грунтов и отходов

Почва

По результатам проведенных исследований почва, отобранная с поверхности на исследуемом объекте, имеет загрязнение. Превышены ПДК, установленные СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания», по следующим показателям: сера общая – до 18 ПДК, медь (подвижная форма) – до 2,1 ПДК, формальдегид – 7,17 ПДК. Результаты химического анализа почв представлены в прил. 3.

В почве также наблюдаются значительные превышения концентрации химических веществ по сравнению с фоновой пробой по следующим показателям: ртуть – 3,36 фонового значения (ф. зн.), азот нитритный – 37,75 ф. зн., азот аммонийный – 6,32 ф. зн., формальдегид – 14,09 ф. зн., фенол – 10,39 ф. зн., органические вещества – более 2 ф. зн. Повышенные значения по сере и сульфатам характерны для почв большей части Самарской области.

На основании рекогносцировочного обследования, а также проведенных лабораторных исследований выявлены деградированные территории, к которым в первую очередь относятся участки размещения ПСБ.

Прилегающие территории испытывают техногенное воздействие, оказываемое со стороны участков размещения ПСБ. В период размещения воздействие на прилегающие территории было связано с передвижением

техники и растеканием ПСБ, а в настоящее время – распространением ее компонентов с поверхностным стоком в период интенсивных дождей и схода снежного покрова. О воздействии на сопредельные участки свидетельствуют повышенные концентрации аммонийного, нитритного и нитратного азота за границами участков размещения ПСБ. Азотсодержащие вещества образуются в результате разложения белковых соединений, присутствующих в органических отходах, в том числе в ПСБ (ГОСТ 31809-2012).

Территория, прилегающая к объектам размещения ПСБ, также является деградированной, в результате размещения ПСБ отмечена существенная деградация растительных сообществ.

Грунты на поверхности

По результатам проведенных исследований грунты, отобранные с поверхности периметрального обвалования накопителей на исследуемом объекте, не соответствуют нормативам СанПиН 1.2.3685 по следующим показателям: сера общая (до 17,51 ПДК), азот нитратный (1,22 ПДК), формальдегид (2,34 ПДК). Результаты химического анализа грунтов представлены в прил. 4.

В грунте также наблюдаются повышенные концентрации химических веществ по следующим показателям: азот нитритный (до 8,284 мг/кг), азот аммонийный (до 1255,9 мг/кг), фенол (до 52,65 мг/кг).

По результатам санитарно-эпидемиологических исследований во всех образцах грунтов, кроме одной пробы, санитарно-бактериологические и санитарно-паразитологические показатели не превышают допустимых норм, установленных СанПиН 1.2.3685-21. Превышения индекса бактерий группы кишечной палочки (БГКП) и индекса энтерококков установлены в единичной пробе.

В целом уровень загрязненности грунтов не превышает загрязнения почвенного покрова, что связано с его расположением на более высоких отметках и предотвращением загрязнения с поверхностным стоком с участков размещения ПСБ.

Грунты из скважин

В соответствии с проведенными анализами грунтов из скважин по химическим показателям были выявлены особенности характера загрязнения геосреды. Результаты химического анализа грунтов из скважин представлены в прил. 5.

На территории и в непосредственной близости МН отходов ПСБ обнаружены высокие концентрации по следующим показателям: сера, азот нитратный, азот нитритный, азот аммонийный, фенол и марганец. При этом в 3 скважинах стоит отметить чрезвычайно высокие концентрации азота аммонийного (выше 10 000 мг/кг), азота нитратного, азота нитритного, что говорит о вымывании компонентов ПСБ. За обвалованием МН и на прилегающей территории концентрация загрязняющих веществ снижается по сравнению с грунтами в основании размещенной ПСБ. Распространение загрязнений в глубину на территории МН составляет в среднем 3–5 м.

Отходы

По результатам проведенных исследований отходы ПСБ, отобранные на исследуемой территории, по содержанию тяжелых металлов соответствуют требованиям СанПиН 1.2.3685. При этом наблюдается высокое содержание азота: средние значения азота аммонийного составляют 4340 мг/кг, нитритного – 20 мг/кг, нитратного – 220 мг/кг. Усредненное содержание серы составляет 4400 мг/кг. Сульфатов и хлоридов – 2000 мг/кг и 1860 мг/кг соответственно. Максимальное содержание нефтепродуктов составляет 376 мг/кг. Среднее содержание фенолов составляет 30 мг/кг, причем в разовой пробе концентрация фенолов превышает предел обнаружения методики измерения (> 100 мг/кг). Результаты химического анализа отходов представлены в прил. 6.

По результатам санитарно-эпидемиологических исследований во всех образцах отходов ПСБ, кроме одной пробы, отобранной в северной секции БХ,

санитарно-бактериологические и санитарно-паразитологические показатели не превышают допустимых норм, установленных СанПиН 1.2.3685-21. В единичной пробе установлены превышения индекса БГКП и индекса энтерококков.

В соответствии с проведенными токсикологическими исследованиями отходы ПСБ относятся к 4-му классу опасности для окружающей природной среды.

2.3. Обработка результатов химического анализа методом многомерного анализа

Распространение загрязнения, согласно данным химического анализа, произошло не только по площади нарушенного биотопа, но также и в глубину геосреды. По результатам количественного химического анализа проб почвы, грунтов, грунтов из скважин и отходов получен массив данных с более чем 7000 значений. Для более эффективного анализа результатов количественного химического анализа (КХА) и выявления основных индикаторов загрязнения биотопа отходами ПСБ применен анализ многомерных данных методом главных компонент (МГК). Цель многомерного анализа – декомпозиция (разложение) данных, позволяющая выявить и промоделировать их «скрытые особенности». МГК в данном случае – один из наиболее широко используемых методов структурного анализа данных. Преимуществом данного метода является возможность представить структуру данных в простой графической интерпретации, а также выделить ценную информацию и избавиться от шума.

В применении МГК исходными данными являются матрица X , состоящая из числа исследованных проб (образцов) I и числа химических показателей (переменных) J . В результате использования МГК выполнили разложение матрицы X и представили ее в виде суммы произведения матриц T и P и матрицы E :

$$X = TP^T + E, \quad (1)$$

где T – матрица счетов размерностью $I \times A$;

P – матрица нагрузок размерностью $J \times A$;

E – матрица остатков размерностью $I \times J$.

Величина A называется числом главных компонент. В результате произведена проекция исходных данных на пространство меньшей размерности A . Набор элементов матрицы T из I векторов-строк представляет собой проекции исходных образцов на новое подпространство. Набор из J векторов-строк, составляющих матрицу P , представляет координаты единичных векторов, определяющих новое пространство в старом. Набор элементов из A векторов-столбцов матрицы T представляет проекцию всех образцов на a -тую ось главных компонент.

Для выполнения обработки данных КХА почвы, грунтов и отходов на исследуемом участке была получена матрица X размерностью 335×24 , где 335 – количество исследованных проб (I) и 24 – число определяемых показателей (J). Исходную матрицу X преобразовали в векторы, одни из которых – векторы счетов, а другие – векторы нагрузок. Количество векторов счетов соответствует количеству выбранных главных компонент.

Проведение многомерного анализа данных проводилось при помощи коммерческого программного продукта для анализа многомерных данных The Unscrambler, разработчиком которого является CAMO Software.

The Unscrambler позволил представить новое пространство в виде проекций – двухмерных графиков главных компонент – для более легкого визуального анализа. При анализе используются 2 графика – график счетов и график нагрузок. На графике счетов представлены проекции образцов на главные компоненты, обычно на первые две. Графики счетов позволяют увидеть взаимное расположение образцов на двумерном пространстве. График нагрузок отражает вносимый вклад каждой переменной в веса, определяющие

направление ГК. Применение графика нагрузок особенно полезно при сравнении с соответствующими графиками счетов.

Предварительная обработка матрицы данных заключалась в исключении переменных, не оказывающих влияния на данные. Значения концентраций цинка и цианидов были исключены в связи с низкими значениями, не превышающими ПДК и ниже предела обнаружения методик. Натрий и калий также были исключены в связи с отсутствием ПДК по данным показателям и отсутствием превышений в сравнении с фоновыми значениями. Максимальное количество возможных ГК – 23, однако в связи с большим количеством переменных наиболее информативными выступают 1-я и 2-я главные компоненты. Дополнительно значения всех переменных были подвергнуты процедуре взвешивания – автошкалирования – с целью преобразования данных и уравнивания весов переменных, имеющих различные шкалы. На графиках (рис. 2.19–2.20) представлены графики счетов и нагрузок по всем показателям и образцам.

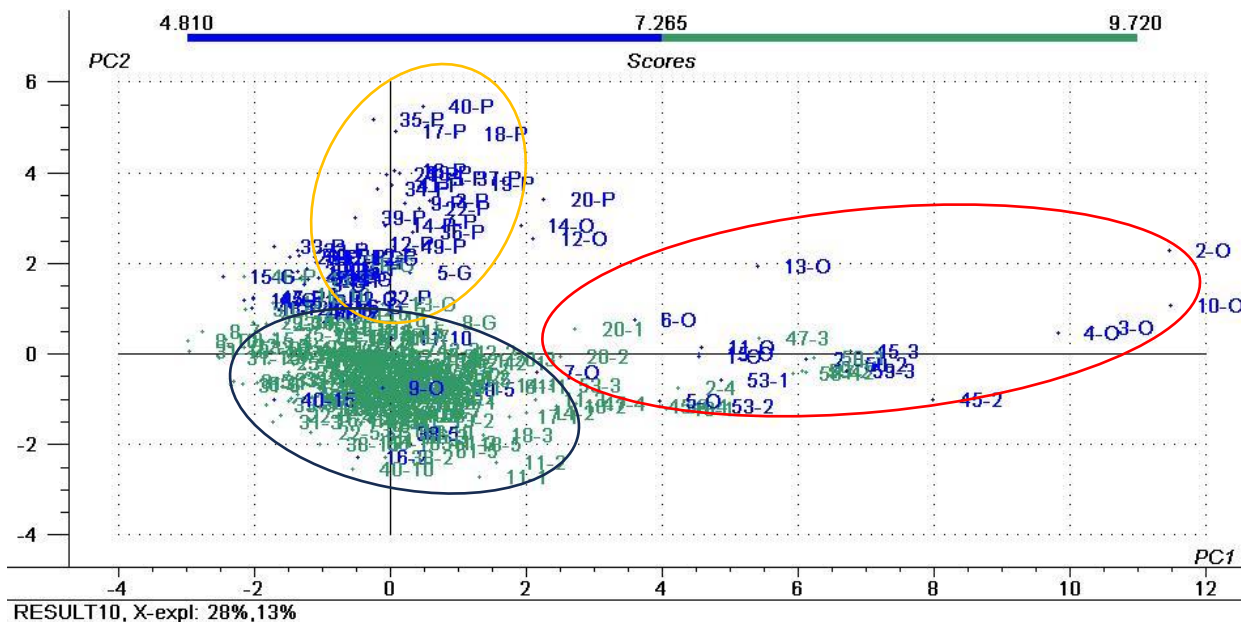


Рисунок 2.19. График счетов 1-й и 2-й главных компонент с распределением образцов

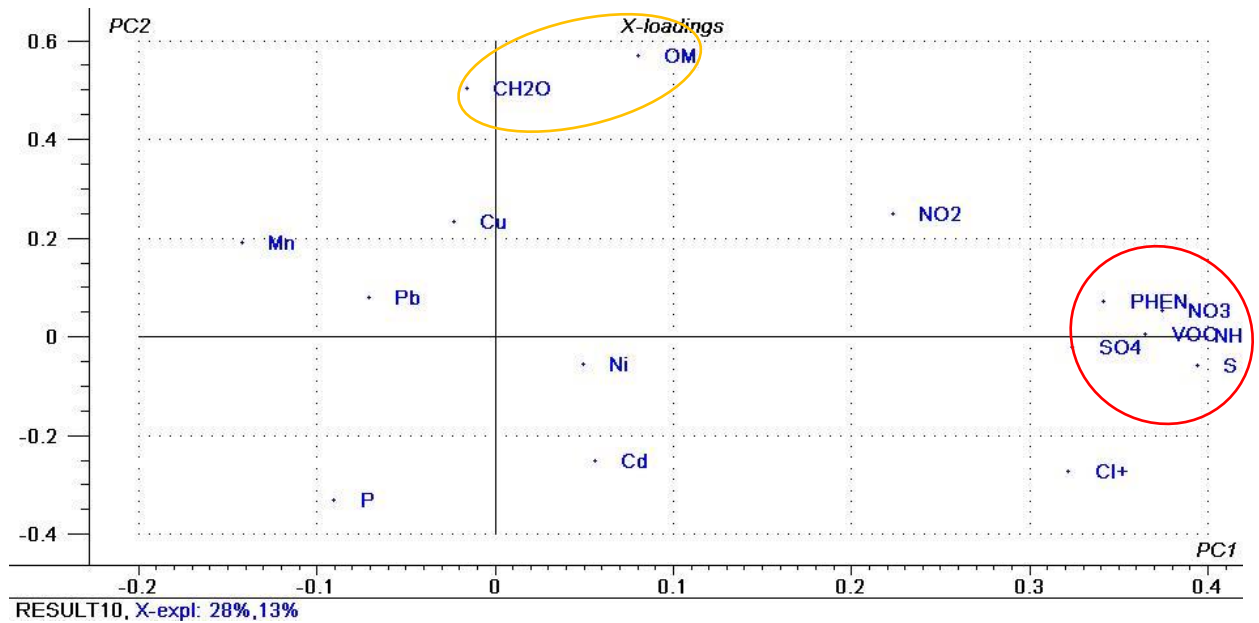


Рисунок 2.20. График нагрузок 1-й и 2-й главных компонент с определенными химическими показателями

1-я главная компонента определяется положительно следующими переменными:

- Наибольший вклад в ГК 1 вносят концентрации таких показателей, как фенолы (PHEN), сульфаты (SO_4), сухой остаток (VOC), сера (S), аммонийный (NH_4) и нитратный (NO_3) азот. Содержание данных показателей характерно для проб отходов, отобранных непосредственно из накопителей с низкой степенью минерализации. Анализ графика счетов позволил также отнести часть скважинных грунтов к отходам в связи с высокой концентрацией – выше представленных показателей. К таким пробам относят 45-2 (45 – номер скважины, 2 – глубина отбора 2 м), 45-3, 20-1, 20-3, 2-4, 53-1, 53-2 и т. д. Показатель хлоридов (Cl^+) также положительно коррелирует с ГК 1, однако данный показатель не является загрязнителем, им можно пренебречь.

- К показателям, характеризующим почву, представленную на объекте, отнесены такие показатели, как формальдегид (CH_2O) и органическое вещество (OM), положительно коррелирующие со 2-й главной компонентой. В большинстве проб присутствует повышенное содержание концентрации формальдегида, превышающее ПДК и фоновые значения. Большая часть проб

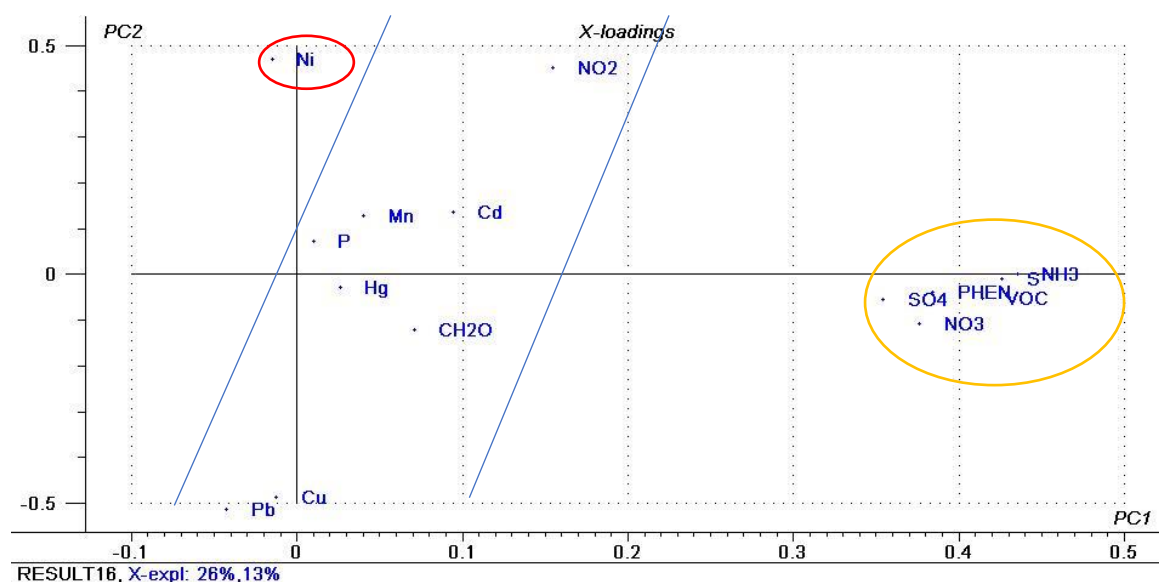


Рисунок 2.22. График нагрузок 1-й и 2-й главных компонент с определенными химическими показателями (скважинные грунты)

Согласно данным, полученным в результате использования МГК, получены следующие выводы:

- Анализ графика счетов показал, что наиболее значимыми показателями скважинных грунтов являются нитратный азот (NO_3), аммонийный азот (NH_4), сухой остаток (VOC), фенолы (PHEN), сера (S), сульфаты (SO_4).
- График счетов позволил выделить наиболее загрязненные грунты, схожие с характеристиками отходов. К таким пробам относят следующие: 2-3, 2-4, 45-2, 45-3, 45-4, 47-2, 47-3, 47-4, 50-2, 50-3, 50-4, 53-1, 53-2, 59-2, 59-3, 59-4.
- К показателям, слабо влияющим на результаты, относятся фосфор (P), марганец (Mn), кадмий (Cd), ртуть (Hg), формальдегид (CH_2O), свинец (Pb), медь (Cu).
- Положительная корреляция на графике счетов по 2-й ГК наблюдается по никелю (Ni), свидетельствуя о превышениях по данному показателю по сравнению с концентрациями в других пробах. Однако превышение ПДК не отмечено.

На территории БН в настоящее время ПСБ отсутствует, что связано с характером рельефа. Размещаемая ПСБ размывалась и мигрировала с поверхностным стоком на нижележащие участки. Территория покрыта густой рудеральной растительностью. Грунты из скважин на территории БН характеризуются повышенным содержанием триады азота, что связано с размещением ПСБ. Грунты, отобранные из скважин за обвалованием БН и на удалении от его границы, характеризуются низким уровнем загрязненности по сравнению с грунтами, отобранными на территории БН. При этом в данных скважинах существуют незначительные превышения концентраций химических показателей по азоту аммонийному, азоту нитритному, азоту нитратному. Как и в случае с МН, загрязнения сосредоточены в верхних слоях почвы и грунта.

Наиболее загрязненной частью объекта изысканий является БХ. В трех скважинах наблюдается высокое содержание азота аммонийного (выше предела обнаружения), азота нитритного, азота нитратного, марганца и сухого остатка. Глубина распространения загрязнения достигает 4 м. Отобранные грунты из скважин, расположенных по периметру БХ, имеют повышенное содержание азота аммонийного, азота нитритного, азота нитратного на глубине до 2 м.

Пробы из скважин, расположенных на удалении от основного места расположения отходов ПСБ, также имеют незначительное количество азота нитритного и азота нитратного. Повышенные концентрации обусловлены ранее размещаемой ПСБ, а также смывом ее компонентов с поверхностным стоком через разрушенные обваловки накопителей.

В соответствии с проведенными исследованиями, а также обработкой результатов при помощи многомерного анализа выявлено почти полное отсутствие загрязнения компонентов природной среды тяжелыми металлами, нефтепродуктами, цианидами и т. д. Однако наблюдается значительное превышение концентраций соединений азота, содержания органического вещества и значений рН. Зафиксировано незначительное превышение над

фоновыми концентрациями по никелю, фенолу и сухому остатку. Превышения также наблюдались по сере, сульфатам и сухому остатку, что также незначительно отличается от фоновых значений. Глубина проникновения отходов ПСБ составляет в среднем не более 5 м.

В качестве основных показателей воздействия отходов ПСБ на почвы и грунты были выбраны следующие соединения азота – нитратный, нитритный и аммонийный азот. Выбор указанных компонентов обусловлен химическими превращениями в процессе нитрификации. Нитрификация – это микробиологический процесс, инициированный бактериями-нитрификаторами, который завершает трансформацию органических азотсодержащих соединений в почве. В ходе этого процесса образуются нитраты и нитриты [2, 32, 36]. В связи со значительным количеством размещенных отходов интенсивность процесса нитрификации была снижена за счет отсутствия доступа кислорода, что привело к развитию анаэробных условий.

Соотношение C/N в исходных отходах застарелой ПСБ составило 10-15/1, после добавления опилок возросло до 25-30/1, что является необходимой концентрацией для успешного компостирования.

Основным индикатором загрязнения застарелых отходов ПСБ является высокая концентрация аммонийного азота, имеющего токсичное воздействие на почву и растения.

2.4. Исследование глубины загрязнения с применением индекса потенциала нитрификации

Для более детального исследования распространения глубины проникновения отходов ПСБ были дополнительно отобраны пробы непосредственно из накопителей.

Точки отбора проб из накопителей представлены на рис. 2.23–2.25.

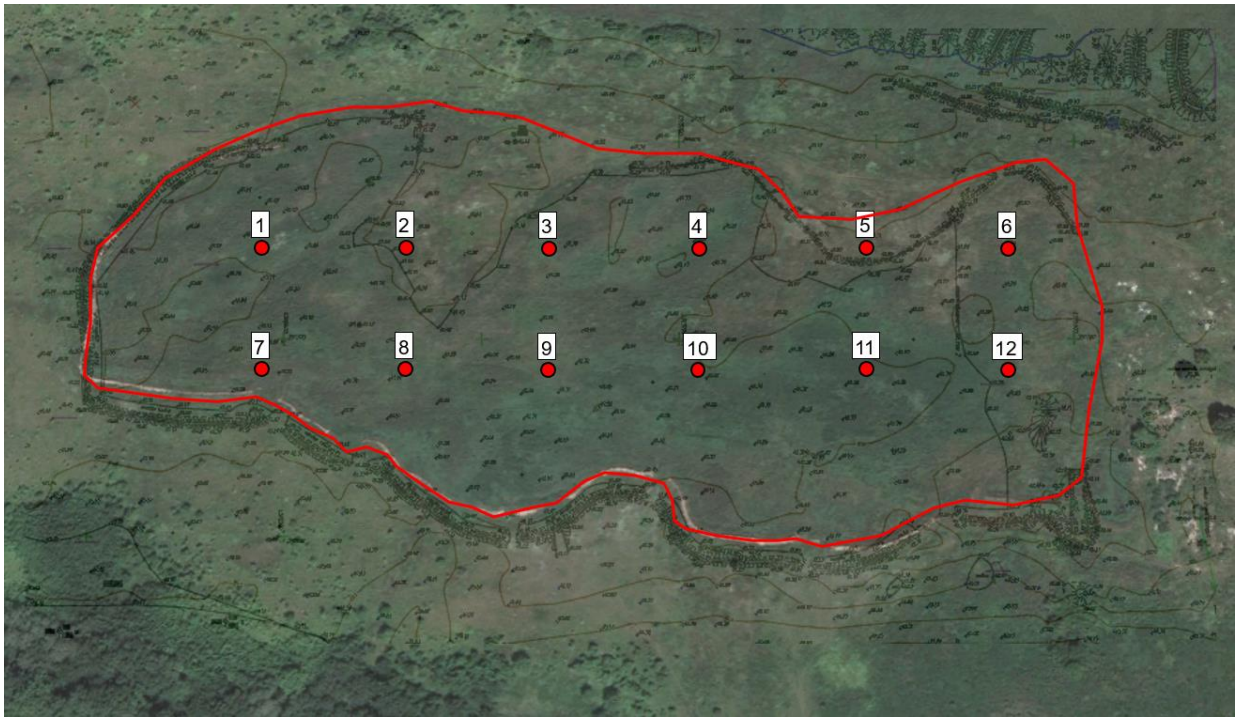


Рисунок 2.23. Схема отбора проб из большого накопителя (БН)

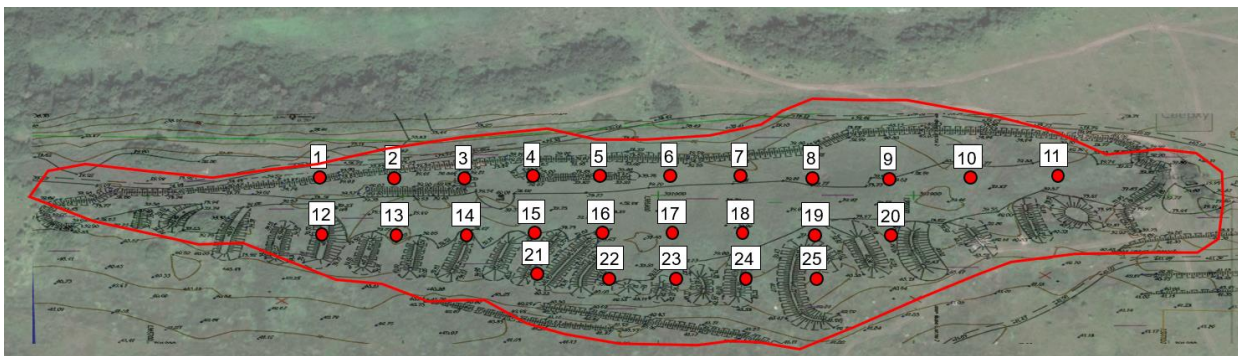


Рисунок 2.24. Схема отбора проб из малого накопителя (МН)

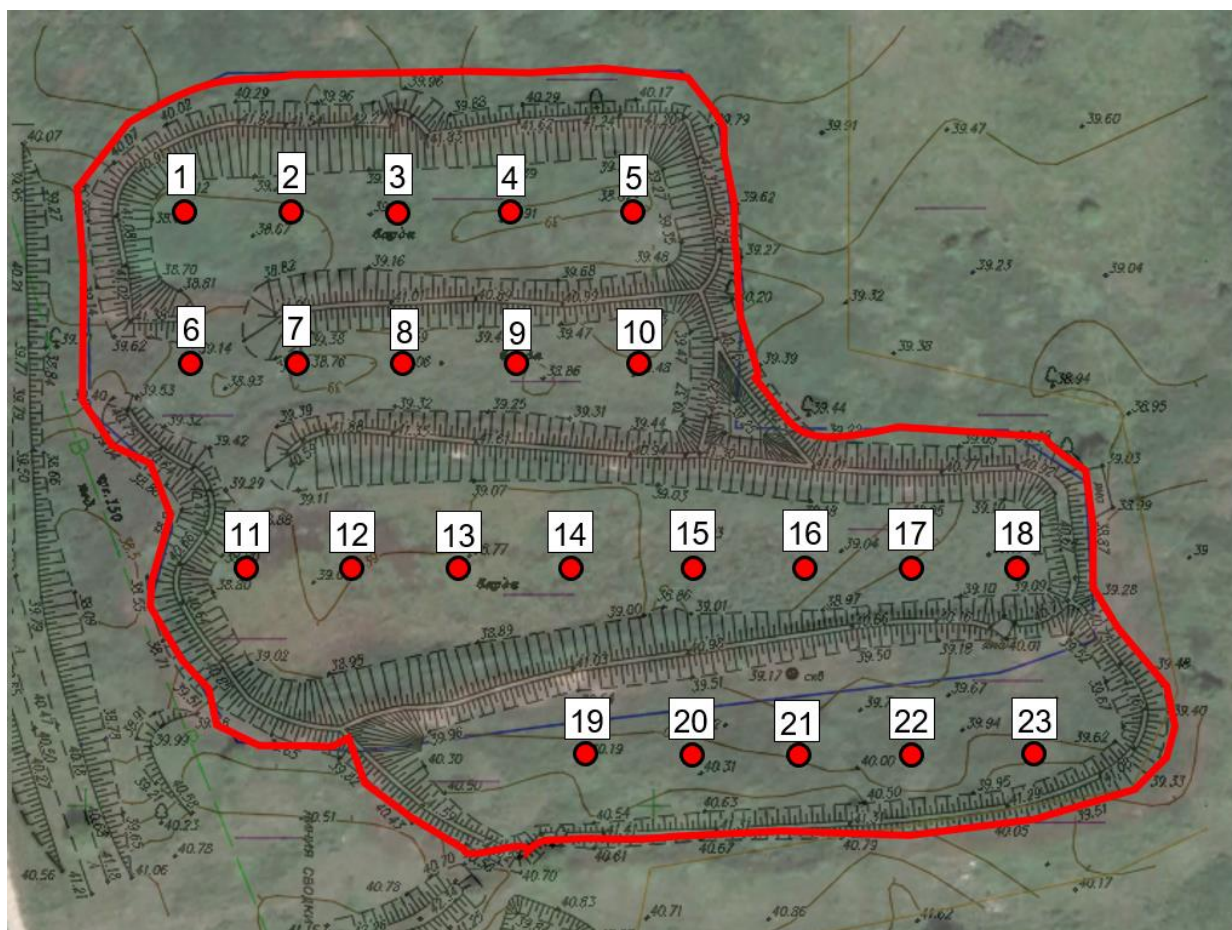


Рисунок 2.25. Схема отбора проб из бардохранилища (БХ)

Отбор проб проводился из скважин глубиной до 5 м, периодичность отбора составляла 1 м. В пробах при выполнении КХА определены нитратный азот, нитритный азот, аммонийный азот и рН.

Согласно проведенному литературному обзору, существуют такие термины, как нитрификационная способность почвы [56] и английский термин Soil nitrification potential [93].

Для оценки глубины распространения и степени загрязнения грунтов предложена классификация на основе индекса потенциала нитрификации, рассчитанного следующим образом (2):

$$N = \frac{(3 \times C_{\text{NH}_4\text{-N}} + 1 \times C_{\text{NO}_2\text{-N}})}{C_{\text{NO}_3\text{-N}}} \quad (2)$$

Согласно проведенным расчетам, определена классификация грунтов по загрязнению отходами ПСБ:

- сильнозагрязненные ($N > 25$);
- среднезагрязненные ($25 > N > 5$);
- слабозагрязненные ($N < 5$).

Применение индекса потенциала нитрификации позволило разграничить загрязненные и незагрязненные грунты, отобранные из скважин. В соответствии с картограммами размещения антропогенного грунта рассчитан объем отходов ПСБ на участках, который отражен в табл. 2.2. Также в таблице представлены площади размещения ПСБ, определенные на основании инженерных изысканий, и масса отхода, рассчитанная исходя из плотности 1,1 кг/дм³.

Таблица 2.2

Расчет объема отходов ПСБ

№ п/п	Участок	Площадь, м ²	Объем отходов ПСБ, м ³	Масса отходов ПСБ, т
1	МН	24 829	14 671	16 138,1
2	Южная секция БХ	3606	4609	5069,9
3	Средняя секция БХ	1723	1948	2142,8
4	Северная секция БХ	1861	1779	1956,9
5	Траншея восточнее БН	274,4	686	754,6
ИТОГО		32 293,4	23 693	26 062,3

После определения характеристик нарушенного биотопа в результате размещения отходов ПСБ, а также расчета объема загрязненных грунтов были проведены лабораторные эксперименты по компостированию отходов ПСБ.

Выводы по главе 2

Проведена комплексная оценка воздействий отходов застарелой ПСБ на биотоп, включающая результаты химического и микробиологического анализа проб почв, грунтов, грунтов из скважин и отходов. Выделены приоритетные химические показатели загрязнения – концентрации аммонийного, нитритного и нитратного азотов, органического вещества.

Описаны результаты геоботанического обследования нарушенного биотопа с описанием видов угнетенной и рудеральной растительности.

При помощи данных многомерного анализа выявлены неоднородности и фрагменты в накопителях отходов застарелой ПСБ, что позволило уточнить границы деградации биотопа.

Уточнена глубина распространения отходов застарелой ПСБ в накопителях, а также определен объем отходов при помощи расчета индекса потенциала нитрификации для отдельных пространственных элементов, представленных исследуемыми образцами.

ГЛАВА 3. КОМПОСТИРОВАНИЕ ОТХОДОВ ПОСЛЕСПИРТОВОЙ БАРДЫ В ЛАБОРАТОРНЫХ УСЛОВИЯХ

3.1. Методика эксперимента по компостированию отходов послеспиртовой барды в лабораторных условиях

В лабораторных условиях был поставлен эксперимент по компостированию отходов застарелой ПСБ. Компостирование отходов осуществлялось в контейнерах объемом 50 л с предварительно установленными каналами аэрации. Для интенсификации процесса биодеструкции в компостируемую массу был внесен биопрепарат «Ленойл»[®] СХП. Данный препарат включает в себя микроорганизмы, принадлежащие к родам *Ochrobactrum* sp. и *Acinetobacter* sp. Схема лабораторной установки представлена на рис. 3.1.

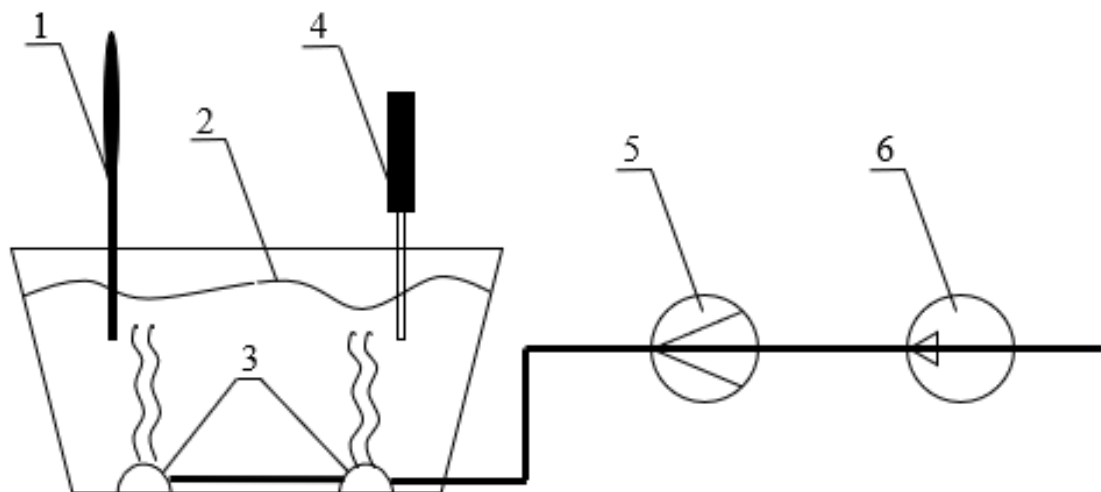


Рисунок 3.1. Внешний вид и принципиальная схема экспериментальной установки:
1 – датчик влажности; 2 – компостируемая масса; 3 – каналы аэрации; 4 – термометр;
5 – расходомер; 6 – компрессор

В связи с высокой влажностью и плотной структурой отходов ПСБ для эффективной аэрации в компостируемую массу в соотношении 1:2 был внесен порообразователь – древесные опилки. Древесные опилки не только позволяют повысить проницаемость, но и являются природным адсорбентом, способным сорбировать различные органические соединения.

Длительность проведения эксперимента – 12 недель, на протяжении всего периода проводился ежедневный контроль влажности и температуры компостируемой массы. Для оценки эффективности компостирования отходов ПСБ оценивались величины таких показателей, как влажность, азот нитратный, азот нитритный, азот аммонийный, органическое вещество, БПК₅ и ХПК.

В процессе производства этилового спирта образуются такие токсичные вещества, как эфиральдегидная фракция и сивушные масла, что подтвердили результаты КХА почв и грунтов, в соответствии с которыми обнаружены высокие концентрации формальдегида. Для контроля химических превращений органических составляющих пробы компостируемой массы анализировались на газовом хроматографе «Хроматэк-Кристалл 5000» согласно ГОСТ Р 52363-2005 «Спиртосодержащие отходы спиртового и ликеро-водочного производства. Газохроматографический метод определения содержания летучих органических примесей». Отбор проб для газохроматографического анализа проводился еженедельно.

Результаты количественного химического анализа ПСБ представлены в табл. 3.1.

Таблица 3.1

Результаты количественного химического анализа

Показатели	Начало	1-я нед.	2-я нед.	3-я нед.	4-я нед.	5-я нед.	6-я нед.	7-я нед.	8-я нед.	10-я нед.	12-я нед.
Влажность, %	81,9	67,2	58,3	51,2	49,6	54,4	52,3	50,4	47,9	49,6	50,7
Азот нитратный, мг/кг	1,49	1,42	2,49	2,96	3,55	5,14	7,36	9,38	12,77	13,06	12,95
Азот нитритный, мг/кг	37,09	36,45	31,84	28,87	25,12	16,9	11,83	6,29	4,56	4,33	4,28
Азот аммонийный, мг/кг	3667	3587	3124	2742	2467	2278	2153	1773	1636	1578	1530
Органическое вещество, %	32,04	30,29	29,43	25,72	18,49	10,95	6,49	6,04	5,72	5,43	5,13
БПК ₅ , мгО ₂ /дм ³	198	194	185	177	174	153	126	111	96	94	91
ХПК, мг/дм ³	366	357	329	321	315	276	261	213	194	185	177

В исходном отходе отмечены высокая влажность и значительное содержание аммонийного азота. Высокая концентрация аммонийного азота по сравнению с нитритным и нитратным азотом свидетельствует об отсутствии

процесса нитрификации вследствие препятствия доступа кислорода в естественных условиях размещения отхода. Дополнительно проводилось определение биологического и химического потребления кислорода водной вытяжки. Основным показателем эффективности протекания процесса компостирования является содержание органического вещества, в табл. 3.1 представлено содержание данного показателя на сухое вещество. Соотношение C/N в исходных отходах застарелой ПСБ составило 10-15/1.

В результате эксперимента достигнуто снижение содержания органического вещества в образце отхода с 32,04 до 5,13 % (рис. 3.2). На 1-й стадии компостирования (1-я неделя) температура компостируемой массы с 24 °С поднялась до 28 °С, что свидетельствует об адаптации мезофильных бактерий и начале процесса аэробной биодеструкции. Концентрация органического вещества после 1-й стадии составила 30,29 %. 2-я стадия компостирования (2–6-я недели) характеризовалась развитием мезофильных, а затем и термофильных бактерий. Температура компостируемой массы на 2-й стадии достигла 57 °С, наблюдалась интенсивная биодеструкция органических компонентов отхода, концентрация органического вещества на 42-й день эксперимента составила 6,49 %. На этой стадии произошло значительное изменение органолептических свойств отхода, почти полностью исчез неприятный запах. На 3-й стадии вызревания компоста (7–8-я недели) содержание органического вещества снизилось до 5,72 %, а температура компостируемой массы снизилась до 26 °С. Эксперимент по компостированию продолжался вплоть до 12-й недели, что определено минимально возможным сроком благоприятного климатического сезона в условиях положительных температур на большей части России. По окончании 12-й недели содержание органического вещества составило 5,13 %, а температура компоста соответствовала температуре окружающей среды.

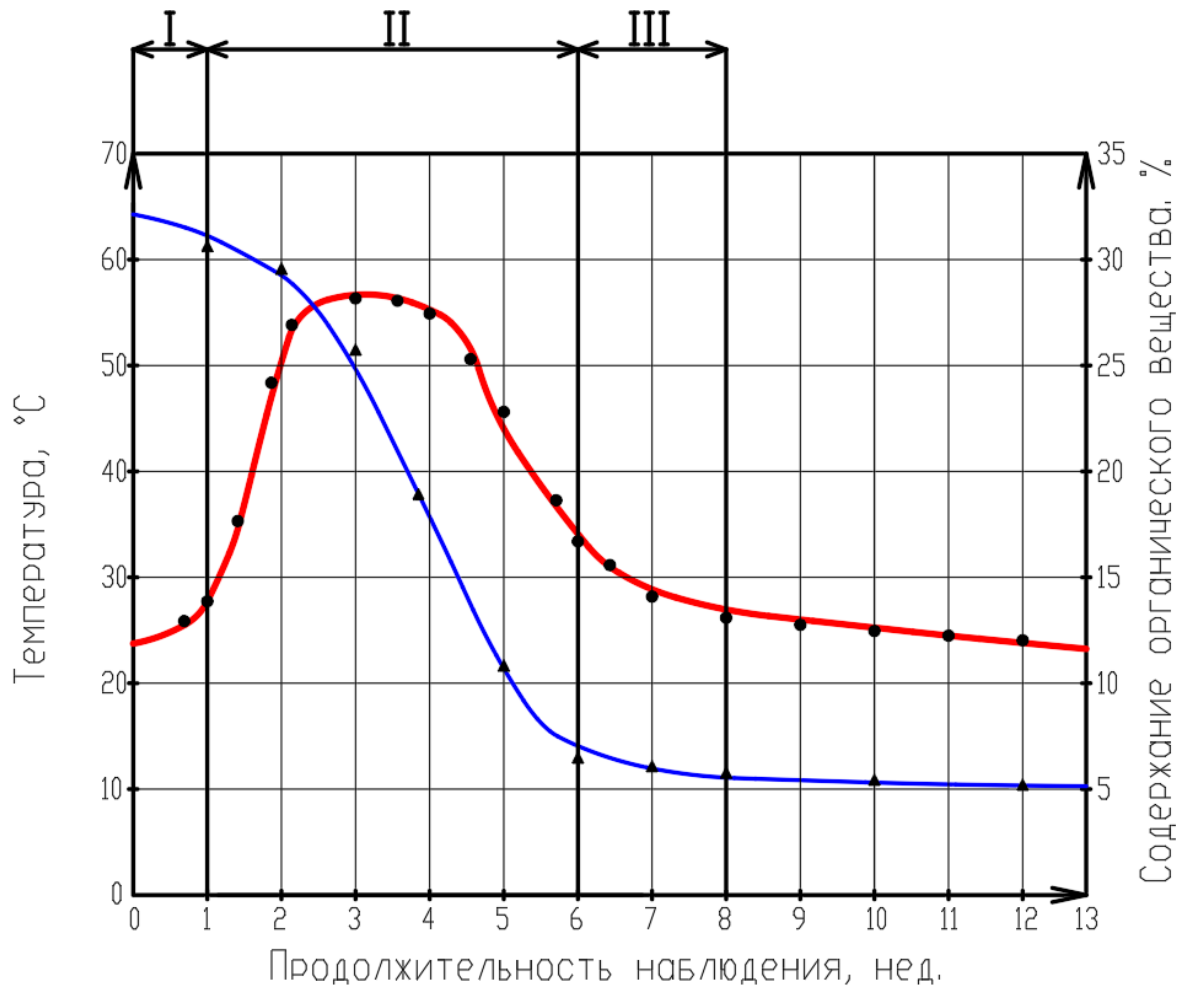


Рисунок 3.2. Оценка эффективности процесса компостирования отходов застарелой ПСБ

Согласно табл. 3.1, в первые 8 недель компостирования наблюдалось значительное снижение содержания аммонийного и нитритного азота до 43 и 12 % соответственно. Параллельно происходило увеличение содержания нитратного азота более чем в 8 раз, что свидетельствует о протекании реакции нитрификации при интенсивной аэрации.

Результаты хроматографического анализа отходов ПСБ представлены в табл. 3.2.

Результаты газохроматографического анализа застарелых отходов ПСБ

№	Компонент	Группа	Нач.	1-я нед.	2-я нед.	3-я нед.	4-я нед.	5-я нед.	6-я нед.	7-я нед.	8-я нед.	10-я нед.	12-я нед.	Ед. конц.
1	Ацетальдегид	Альдегиды	88,44	85,62	78,41	45,26	29,35	15,51	8,74	1,43	–	–	–	мг/дм ³
2	Бензальдегид	Альдегиды	27,46	23,84	11,22	7,23	5,66	2,05	–	–	–	–	–	мг/дм ³
3	Ацетон	Кетоны	1,15	1,08	0,88	0,55	0,34	–	–	–	–	–	–	% об.
4	Метиловый спирт	Спирты	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	мг/дм ³
5	Бензиловый спирт	Ароматические спирты	–	0,09	0,51	1,04	1,89	0,93	–	–	–	–	–	мг/дм ³
6	Фенилэтиловый спирт	Ароматические спирты	59,88	52,35	8,83	6,34	5,95	5,39	3,91	2,46	1,00	0,36	–	мг/дм ³
7	Изопропиловый спирт	Сивушное масло	6,83	1,13	–	–	–	–	–	–	–	–	–	мг/дм ³
8	Пропиловый спирт	Сивушное масло	47,56	22,94	–	–	–	–	–	–	–	–	–	мг/дм ³
9	Н-бутиловый спирт	Сивушное масло	75,23	38,76	–	–	–	–	–	–	–	–	–	мг/дм ³
10	Изоамиловый спирт	Сивушное масло	34,44	30,47	24,99	17,98	10,53	4,62	–	–	–	–	–	мг/дм ³
11	Амиловый спирт	Сивушное масло	31,47	29,83	28,54	21,62	13,09	6,10	–	–	–	–	–	мг/дм ³
12	Гексиловый спирт	Сивушное масло	2,73	2,61	1,85	1,69	1,54	1,02	0,73	0,18	–	–	–	мг/дм ³

Застарелые отходы ПСБ, согласно газохроматографическому анализу, содержат органические вещества различных групп: альдегиды, кетоны, сивушные масла и ароматические спирты.

Во всех проанализированных пробах отсутствует метанол, который является высокотоксичным веществом. Отделение метилового спирта происходило в результате ректификации спирта-сырца на заводе по производству этилового спирта, и в состав ПСБ он не попадает, но даже в случае попадания он быстро испаряется в период стабилизации отхода.

Высокая концентрация ацетальдегида (88,44 мг/дм³) является следствием процесса окисления этилового спирта при хранении ПСБ в условиях контакта с окружающей средой. Ацетальдегид является веществом с высокой летучестью и испаряется в компосте при интенсивной аэрации к 8-й неделе. Бензальдегид из ряда альдегидов является менее летучим соединением в сравнении с ацетальдегидом, образуется при окислении бензилового спирта. При компостировании часть данного соединения окисляется до бензойной

кислоты и связывается ионами кальция и магния в соли (в ходе хроматографического анализа не определяется), другая же часть улетучивается.

Ацетон из ряда кетонов в первоначальном отходе является продуктом реакции ацетоно-бутилового брожения углеводов, в результате которого также образуются бутиловый и этиловый спирты. При высоком содержании в начальном образце (1,15 % об.) полностью испаряется благодаря интенсивной отдувке воздухом компостируемой массы.

Концентрация бензилового спирта, в отличие от других соединений, возрастает во время процесса компостирования. Это может быть вызвано окислением органических компонентов до бензойного альдегида. Начало роста концентрации бензилового спирта происходит со 2-й недели, а заканчивается на 4-й. Данное вещество предположительно является полупродуктом биохимической реакции и после определенного роста концентрации начинает расходоваться. Содержание фенилэтилового спирта, напротив, с достаточно высокого значения $59,88 \text{ мг/дм}^3$ постепенно снижается до $0,36 \text{ мг/дм}^3$ на 10-й неделе. Фенилэтиловый спирт, как и остальные составляющие, испаряется под действием аэрации, при этом не являясь полупродуктом. За счет высокой концентрации в первоначальном отходе, а также низкой летучести процесс идет медленно. Фенилэтиловый спирт является единственным из выбранных соединений, концентрация которого детектируется по прошествии 10 недель.

Сивушные масла (смесь спиртов) являются основными побочными продуктами спиртового брожения. В первоначальной пробе отходов ПСБ присутствует 6 соединений, такие как изопропиловый, пропиловый, н-бутиловый, изоамиловый, амиловый и гексиловый спирты. Изопропиловый, пропиловый и н-бутиловый спирты за счет низкой температуры кипения и высокой летучести не детектировались уже на 2-й неделе эксперимента. Изоамиловый, а также амиловый спирты не обнаруживались на 6-й неделе,

являясь менее летучими соединениями. Концентрация гексилового спирта детектировалась вплоть до 7-й недели, постепенно снижаясь до нуля.

В процессе компостирования были интенсифицированы процессы полного разложения всех органических составляющих ПСБ, определенных при помощи газохроматографического анализа (табл. 3.2), к 12-й неделе.

По результатам работы выявлены некоторые закономерности компостирования застарелой ПСБ. При отсутствии контакта отхода с воздухом не происходят процессы разложения аммонийного и нитритного азота. В результате компостирования при аэрировании было выявлено значительное снижение концентраций аммонийного и нитритного азота, а также увеличение содержания нитратного, что свидетельствует о протекании нитрификации. Отмечено развитие термогенеза, что сопровождалось снижением концентрации органического вещества с 32,04 до 5,72 % в конце 8-й недели. В результате анализа компонентного состава отходов ПСБ отмечено полное разложение 11 детектируемых компонентов к 12-й неделе. Между тем наибольшая минерализация органического вещества застарелой ПСБ наблюдается в первые 8 недель компостирования. За указанный период отмечено удаление 10 из 11 компонентов. Единственным компонентом, детектируемым на 8-й неделе с концентрацией 1,00 мг/дм³, является фенилэтиловый спирт.

Проведенный эксперимент доказал эффективность метода компостирования для утилизации отходов застарелой ПСБ с использованием древесных опилок в качестве наполнителя. По результатам эксперимента выявлено, что процесс утилизации с наибольшей эффективностью протекает в первые 8 недель, далее как изменение концентраций веществ, так и снижение температуры остаются незначительными.

Однако стоит отметить, что цикл компостирования длиной 8 недель является достаточно продолжительным в лабораторных условиях из-за небольшой массы компоста и, следовательно, интенсивного теплообмена с окружающей средой. Наибольшая достигнутая температура составила 57 °С,

что может быть недостаточным для утилизации компостируемой массы при содержании патогенных микроорганизмов. При компостировании в промышленных условиях предполагается более резкий рост температуры, а также снижение длительности утилизации отходов.

3.2. Микробиологическое исследование отходов послеспиртовой барды в процессе компостирования

Для анализа эффективности применения биопрепарата для интенсификации процесса компостирования отходов застарелой ПСБ была проведена качественная оценка микробного консорциума.

Для анализа были взяты образцы как необработанной ПСБ, так и ПСБ, подвергнутой обработке бактериальным препаратом.

Данный препарат включает в себя микроорганизмы, принадлежащие к родам *Ochrobactrum* sp. и *Acinetobacter* sp., которые играют ключевую роль в процессе разложения углеводов по целевому назначению биопрепарата.

Микроорганизмы указанных родов известны своей высокой адаптивностью к разнообразным экосистемам и способностью эффективно разлагать углеводороды и прочие органические соединения [28, 86, 134, 143]. Использование биопрепарата для утилизации отходов застарелой ПСБ обосновано тем, что микроорганизмы рода *Acinetobacter* sp. имеют превосходную способность по снижению концентрации неорганического азота [168, 171, 180]. Интеграция родов *Ochrobactrum* sp. и *Acinetobacter* sp. в микробный консорциум может ускорить процессы разложения остатков спиртового производства, что имеет весомое значение для снижения экологической нагрузки.

Биопрепарат демонстрирует потенциал для биодеструкции нефтепродуктов и углеводов, а также в очистке сточных вод. Эффективность препарата обусловлена активностью специально отобранных штаммов бактерий, способных эффективно разлагать широкий спектр органических соединений. Использование данного препарата способствует не

только улучшению экологической обстановки, но и существенному сокращению расходов на утилизацию отходов и очистку сточных вод по сравнению с традиционными методами [24, 61].

Процесс выделения микроорганизмов из ПСБ проводился на питательном агаре с последующим культивированием при температурах 30 и 50 °С в течение 24 ч.

Для изучения морфологических и физиолого-биохимических характеристик микроорганизмов были применены следующие методы:

- описание морфологии колоний микроорганизмов на плотной питательной среде;

- окрашивание по методу Грама;
- окрашивание по методу Нейссера;
- окрашивание по методу Циля – Нильсена;
- окрашивание по методу Дюгида;
- окрашивание по методу Грэя;
- окрашивание для выявления включений гликогена и липидов;
- определение ферментативной активности, включая

протеолитическую, каталазную, оксидазную активность и способность к сбраживанию углеводов.

Было проведено детальное сравнительное изучение микробного консорциума ПСБ до и после обработки биопрепаратом.

В целях установления родовой принадлежности изолированных культур были применены традиционные микробиологические методы, описанные в справочнике Берджи (табл. 3.3–3.5).

Морфология колоний микроорганизмов, выделенных из ПСБ

Шифр	Морфология колоний на плотной питательной среде	
До обработки	A.1.1	Мелкая колония с гладкой поверхностью и изогнутым профилем. Имеет блестящую поверхность белого цвета с ровным краем. Структура однородная, консистенция сметанообразная. Рост колонии наблюдается на поверхности питательной среды
	A.1.2	Средняя матовая колония с гладкой изогнутой поверхностью. Структура колонии однородная, консистенция пастообразная, цвет кремовый. Рост колонии наблюдается на поверхности питательной среды
	C.1.1	Средняя колония неправильной формы. Профиль колонии плоский, имеет блеск. Цвет колонии желто-белый, край волнистый. Структура колонии струйчатая, консистенция пастообразная. Рост колонии наблюдается на поверхности питательной среды
	C.2.1	Крупная круглая колония с фестончатым краем. Поверхность гладкая, профиль плоский. Колония блестящая, бело-желтого цвета. Структура однородная, консистенция пастообразная. Рост колонии наблюдается на поверхности питательной среды
	C.3.1	Крупная круглая колония. Поверхность гладкая, профиль плоский. Бело-серого цвета. Структура однородная, консистенция пастообразная. Рост колонии наблюдается на поверхности питательной среды
	C.3.2	Средняя непрозрачная колония кремово-желтого цвета. Колония гладкая, ровная, выпуклая с четкими краями. Рост колонии наблюдается на поверхности питательной среды
	C.4.1	Крупная круглая колония с фестончатым краем. Поверхность гладкая, профиль плоский. Матовая, серо-белого цвета. Структура крупнозернистая, консистенция пастообразная. Рост колонии наблюдается на поверхности питательной среды
После обработки	B.4.1	Крупная матовая колония с гладкой поверхностью. Цвет колонии желто-белый, край неровный. Структура колонии однородная, консистенция пастообразная. Рост колонии наблюдается на поверхности питательной среды
	D.1.1	Средняя колония неправильной формы. Профиль колонии плоский, имеет блеск. Цвет колонии желто-белый, край волнистый. Структура колонии струйчатая, консистенция пастообразная. Рост колонии наблюдается на поверхности питательной среды
	D.2.2	Крупная круглая колония с фестончатым краем. Поверхность гладкая, профиль плоский. Колония блестящая, бело-желтого цвета. Структура однородная, консистенция пастообразная. Рост колонии наблюдается на поверхности питательной среды
	D.2.3	Крупная круглая колония. Поверхность шероховатая, профиль плоский. Бледно-серого цвета. Структура однородная, консистенция сухая. Рост колонии наблюдается на поверхности питательной среды
	D.3.1	Крупная круглая колония. Поверхность гладкая, профиль плоский. Бело-серого цвета. Структура однородная, консистенция пастообразная. Рост колонии наблюдается на поверхности питательной среды
	D.3.2	Средняя непрозрачная колония кремово-желтого цвета. Колония гладкая, ровная, выпуклая с четкими краями. Рост колонии наблюдается на поверхности питательной среды
	D.4.2	Крупная круглая колония с фестончатым краем. Поверхность гладкая, профиль плоский. Матовая, серовато-белого цвета. Структура крупнозернистая, консистенция пастообразная. Рост колонии наблюдается на поверхности питательной среды

Таблица 3.4

**Морфологические признаки культур микроорганизмов,
выделенных из ПСБ**

Шифр	Форма клеток	Окраска по Граму	Наличие жгутиков	Наличие спор	Наличие включений				
					Гликоген	Волютин	Липиды	Капсулы	
До обработки	A.1.1	Палочки	–	–	–	–	–	–	–
	A.1.2	Палочки	–	+	–	–	–	–	–
	C.1.1	Палочки	–	+	–	–	+	–	–
	C.2.1	Палочки	+	+	+	–	–	–	–
	C.3.1	Палочки	–	+	–	–	–	–	+
	C.3.2	Кокки	+	–	–	–	–	–	–
	C.4.1	Палочки	–	+	–	–	–	–	–
После обработки	B.4.1	Палочки	–	+	–	–	+	–	–
	D.1.1	Палочки	–	+	–	–	+	–	–
	D.2.2	Палочки	+	+	+	–	–	–	–
	D.2.3	Палочки	–	–	–	–	–	–	–
	D.3.1	Палочки	–	+	–	–	–	–	+
	D.3.2	Кокки	+	–	–	–	–	–	–
	D.4.2	Палочки	–	+	–	–	–	–	–

Таблица 3.5

**Физиолого-биохимические свойства культур микроорганизмов,
выделенных из ПСБ**

Code	Отношение к температуре	Отношение к кислороду	Протеолитическая активность	Ката-лазная активность	Окси-дазная активность	Способность к сбраживанию углеводов				Род
						Глю-коза	Маль-тоза	Саха-роза	Лак-тоза	
До обработки	A.1.1	Термофилы	Аэробы	–	+	+	+	+	–	<i>Acidothermus</i> sp.
	A.1.2	Термофилы	Факультативные анаэробы	–	+	–	+	+	–	<i>Proteus</i> sp.
	C.1.1	Мезофилы	Аэробы	+	+	+	–	–	–	<i>Pseudomonas</i> sp.
	C.2.1	Мезофилы	Факультативные анаэробы	+	+	–	+	+	+	<i>Bacillus</i> sp.
	C.3.1	Мезофилы	Факультативные анаэробы	–	+	–	+	+	+	<i>Escherichia</i> sp.
	C.3.2	Мезофилы	Факультативные анаэробы	+	+	–	+	+	–	<i>Staphylococcus</i> sp.
	C.4.1	Мезофилы	Факультативные анаэробы	–	+	–	+	+	–	<i>Enterobacter</i> sp.
После обработки	B.4.1	Термофилы	Аэробы	–	–	–	+	–	–	<i>Ochrobactrum</i> sp.
	D.1.1	Мезофилы	Аэробы	+	+	+	–	–	–	<i>Pseudomonas</i> sp.
	D.2.2	Мезофилы	Факультативные анаэробы	+	+	–	+	+	+	<i>Bacillus</i> sp.
	D.2.3	Мезофилы	Аэробы	–	+	–	+	–	–	<i>Acinetobacter</i> sp.
	D.3.1	Мезофилы	Факультативные анаэробы	–	+	–	+	+	+	<i>Escherichia</i> sp.
	D.3.2	Мезофилы	Факультативные анаэробы	+	+	–	+	+	–	<i>Staphylococcus</i> sp.
	D.4.2	Мезофилы	Факультативные анаэробы	–	+	–	+	+	–	<i>Enterobacter</i> sp.

На начальном этапе анализа были идентифицированы следующие рода микроорганизмов: *Acidothermus* sp., *Proteus* sp., *Pseudomonas* sp., *Bacillus* sp., *Escherichia* sp., *Staphylococcus* sp. и *Enterobacter* sp.

После применения биопрепарата в образцах отходов ПСБ были обнаружены рода бактерий *Ochrobactrum* sp. и *Acinetobacter* sp. Эти результаты указывают на то, что использование биопрепарата не только поддерживает существующие популяции микроорганизмов, но и способствует инвазии родов, содержащихся в препарате, что может существенно улучшить функциональные характеристики микробного сообщества в направлении интенсификации микробных процессов и выживаемости. Проведенные исследования демонстрируют, что использование микроорганизмов *Ochrobactrum* sp. и *Acinetobacter* sp. обладает потенциалом значительного сокращения временного периода, необходимого для процесса декомпозиции органических соединений [96, 115, 166, 171, 180].

Биопрепарат «Ленойл»[®] СХП эффективен для улучшения функциональных характеристик микробных сообществ, участвующих в биодegradации органических веществ. Использование биопрепарата является перспективным подходом для утилизации отходов ПСБ, поскольку он способствует не только поддержанию существующих популяций микроорганизмов, но и интродукции новых видов, ускоряющих процессы разложения органических отходов.

3.3. Подбор соотношения компонентов компостируемой массы отходов послеспиртовой барды

Проведение лабораторного эксперимента по компостированию отходов застарелой ПСБ с внесением биопрепарата позволило доказать эффективность применяемых штаммов микроорганизмов для утилизации отходов. Результаты эксперимента также позволили снизить продолжительность компостирования с 12 до 8 недель. Фото лабораторной установки представлено на рис. 3.3.



Рисунок 3.3. Фото лабораторной установки

В связи с большим объемом отходов ПСБ необходимо выявить наиболее подходящее соотношение компонентов компостной массы, включающей отходы ПСБ, древесные опилки и рециркуляционный компост, для более эффективной и быстрой утилизации отходов.

Для эффективной аэрации из-за высокой влажности и плотной структуры отходов ПСБ в компостируемую массу был внесен порообразователь – древесные опилки. Для ускорения процесса компостирования также был внесен рециркуляционный компост на термофильной стадии, протекающей на 3–4-й неделе компостирования отходов ПСБ и древесных опилок, в соотношении 1:1.

Длительность эксперимента – 8 недель, общее количество образцов, содержащих различное количество отходов послеспиртовой барды (ПСБ), опилок (О) и рециркуляционного компоста (РК), – 8. Соотношение компонентов компостной массы представлено в табл. 3.6.

Соотношение компонентов компостной массы

№	Отходы ПСБ, %	Опилки, %	Рециркуляционный компост, %
1. Без внесения биопрепарата			
1.1	75	25	0
1.2	50	50	–
1.3	50	25	25
1.4	33	33	33
2. С внесением биопрепарата			
2.1	75	25	0
2.2	50	50	–
2.3	50	25	25
2.4	33	33	33

Процесс компостирования контролировался при помощи проведения химического анализа проб компостируемой массы, а также измерения температуры и влажности в процессе компостирования еженедельно. В рамках эксперимента в отходах оценивалось содержание органического вещества, аммонийного, нитритного и нитратного азота.

Применение биопрепарата способствовало развитию существующих популяций микроорганизмов, а также интродукции новых видов. Использование биопрепарата позволило увеличить количество микроорганизмов, способствующих более эффективному разложению органических соединений и снижению концентрации неорганического азота при утилизации отходов застарелой ПСБ методом аэробного компостирования.

Температурно-временные характеристики, а также изменение концентрации органического вещества в процессе компостирования без внесения биопрепарата (1.1–1.4) и с внесением биопрепарата (2.1–2.4) представлены на рис. 3.4–3.7.

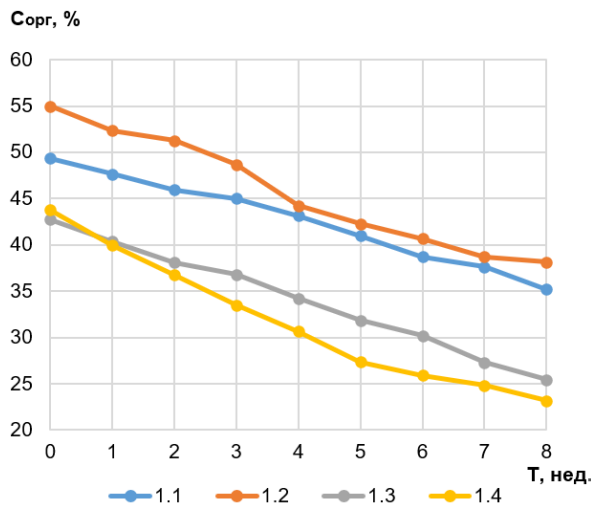


Рисунок 3.4. Изменение органического вещества при компостировании отходов ПСБ без внесения биопрепарата

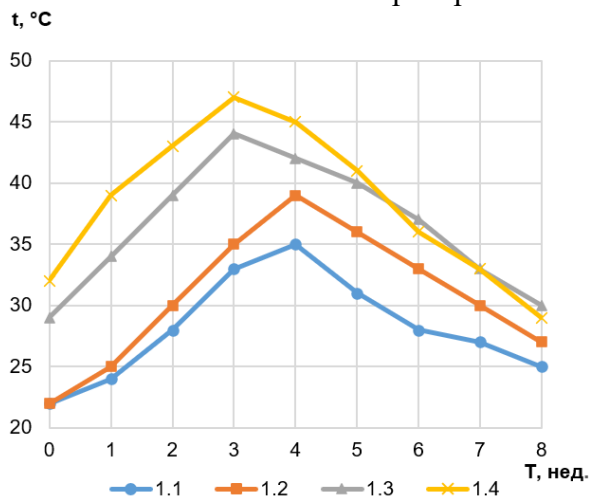


Рисунок 3.6. Температурно-временная характеристика при компостировании отходов ПСБ без внесения биопрепарата

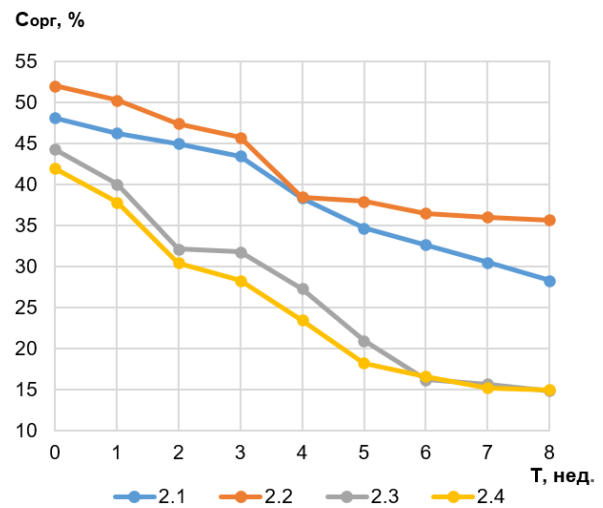


Рисунок 3.5. Изменение органического вещества при компостировании отходов ПСБ с внесением биопрепарата

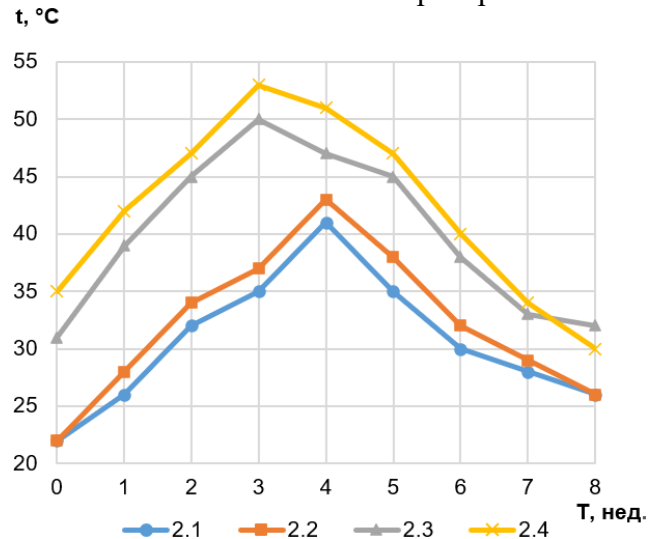


Рисунок 3.7. Температурно-временная характеристика при компостировании отходов ПСБ с внесением биопрепарата

Согласно результатам проведенного эксперимента, максимальная температура в образцах 1.1–1.4 без внесения биопрепарата составила не более 47 °С. Наиболее высокие температуры наблюдались в образцах 1.3 (50 % О, 25 % ПСБ, 25 % РК) и 1.4 (33 % О, 33 % ПСБ, 33 % РК). Температуры в образцах 1.1, 1.2 и 2.1, 2.2 практически не превышали 40 °С, следовательно, в данных образцах не было выхода на термофильную стадию, что негативно сказалось на снижении концентрации органической части отходов.

Внесение биопрепарата способствовало более быстрому снижению доли органического вещества. Снижение органического вещества в образцах 1.3 и

1.4 (без внесения биопрепарата) произошло с 43 и 44 % до 25 и 23 % соответственно. В случае с изменением концентраций в образцах 2.3 и 2.4 с внесением биопрепарата наблюдалось снижение концентраций с 45 и 42 % до 15 % в обоих образцах.

Дополнительно пробы компостной массы были проанализированы на содержание аммонийного, нитратного и нитритного азотов. Результаты компостирования без внесения биопрепарата представлены в табл. 3.7, а с внесением биопрепарата – в табл. 3.8.

Таблица 3.7

Изменение структурно-временных характеристик при компостировании образцов без внесения биопрепарата

1.1. 25 % О, 75 % ПСБ, 0% РК									
Показатели	Начало	1-я нед.	2-я нед.	3-я нед.	4-я нед.	5-я нед.	6-я нед.	7-я нед.	8-я нед.
Влажность, %	73,4	61,2	64,5	60,1	61,8	54,3	55,9	57,2	58,4
Азот нитратный, мг/кг	2,36	2,46	2,15	2,69	2,78	3,34	3,41	3,49	4,33
Азот нитритный, мг/кг	48,12	46,31	45,48	43,65	41,03	38,2	37,36	37,05	34,59
Азот аммонийный, мг/кг	4645	4489	4246	4106	3864	3793	3802	3677	3618
Органическое вещество, %	49,34	47,65	45,94	45,03	43,16	40,97	38,69	37,61	35,18
Температура, °С	22	24	28	33	35	31	28	27	25
1.2. 50 % О, 50 % ПСБ, 0 % РК									
Показатели	Начало	1-я нед.	2-я нед.	3-я нед.	4-я нед.	5-я нед.	6-я нед.	7-я нед.	8-я нед.
Влажность, %	62,6	58,5	56,3	61,9	60,3	62,8	54,9	56,7	55,3
Азот нитратный, мг/кг	1,78	1,93	2,06	2,61	2,93	2,48	3,11	3,36	3,89
Азот нитритный, мг/кг	32,96	30,13	28,75	26,79	24,31	23,47	21,84	20,17	20,18
Азот аммонийный, мг/кг	3369	3233	3206	3123	3041	2898	2826	2779	2636
Органическое вещество, %	54,96	52,37	51,25	48,67	44,26	42,3	40,69	38,74	38,17
Температура, °С	22	25	30	35	39	36	33	30	27
1.3. 25 % О, 50 % ПСБ, 25 % РК									
Показатели	Начало	1-я нед.	2-я нед.	3-я нед.	4-я нед.	5-я нед.	6-я нед.	7-я нед.	8-я нед.
Влажность, %	71,1	69,6	67,3	62,7	55,8	58,1	54,7	56,8	56,3
Азот нитратный, мг/кг	3,42	3,62	4,97	5,43	5,94	6,37	7,76	9,23	13,94
Азот нитритный, мг/кг	27,63	25,98	24,37	21,09	20,47	18,93	16,78	14,97	14,56
Азот аммонийный, мг/кг	3467	3238	2942	2795	2536	2493	2347	2298	2253
Органическое вещество, %	42,76	40,39	38,12	36,78	34,23	31,87	30,18	27,31	25,45
Температура, °С	29	34	39	44	42	40	37	33	30
1.4. 33 % О, 33 % ПСБ, 33 % РК									
Показатели	Начало	1-я нед.	2-я нед.	3-я нед.	4-я нед.	5-я нед.	6-я нед.	7-я нед.	8-я нед.
Влажность, %	63,6	60,1	65,4	55,6	58,3	57,3	52,6	48,7	48,6
Азот нитратный, мг/кг	4,36	5,31	6,09	7,35	9,37	11,26	13,45	15,67	17,23
Азот нитритный, мг/кг	26,74	24,97	24,91	23,02	20,01	18,37	16,57	14,59	12,13
Азот аммонийный, мг/кг	3197	3037	2879	2631	2549	2363	2223	2169	2046
Органическое вещество, %	43,78	39,97	36,74	33,49	30,65	27,34	25,91	24,81	23,17
Температура, °С	32	39	43	47	45	41	36	33	29

Согласно проведенному КХА, во всех 4 пробах наблюдалось снижение первоначальных значений по влажности, при этом во время компостирования поддерживался оптимальный уровень увлажнения – 45–60 %.

Во всех пробах наблюдалось увеличение концентрации нитратного азота ($\text{NO}_3\text{-N}$) и снижение концентраций нитритного ($\text{NO}_2\text{-N}$) и аммонийного ($\text{NH}_4\text{-N}$) азота, что свидетельствует о протекании процесса нитрификации.

Однако темпы по снижению концентрации аммонийного азота, а также скорость протекания биодеструкции не являются достаточными для эффективной утилизации отходов ПСБ.

Таблица 3.8

Изменение структурно-временных характеристик при компостировании образцов с внесением биопрепарата

2.1. 25 % О, 75 % ПСБ, 0 % РК									
Показатели	Начало	1-я нед.	2-я нед.	3-я нед.	4-я нед.	5-я нед.	6-я нед.	7-я нед.	8-я нед.
Влажность, %	75,2	69,4	61,7	62,9	51,3	54,3	57,8	53,1	55,4
Азот нитратный, мг/кг	1,26	1,37	1,52	1,94	2,54	3,87	5,51	7,46	8,32
Азот нитритный, мг/кг	41,31	39,11	37,35	34,28	32,11	36,03	30,72	24,78	21,94
Азот аммонийный, мг/кг	4461	4347	4206	4039	3718	2469	3261	3046	2887
Органическое вещество, %	48,12	46,25	45,01	43,46	38,39	34,73	32,7	30,53	28,32
Температура, °С	22	26	32	35	41	35	30	28	26
2.2. 50% О, 50 % ПСБ, 0 % РК									
Показатели	Начало	1-я нед.	2-я нед.	3-я нед.	4-я нед.	5-я нед.	6-я нед.	7-я нед.	8-я нед.
Влажность, %	61,9	57,2	58,3	51,2	49,6	54,4	52,3	50,4	47,9
Азот нитратный, мг/кг	1,49	1,42	2,49	2,96	3,55	5,14	7,36	9,38	12,77
Азот нитритный, мг/кг	27,09	26,45	21,84	18,87	15,12	16,9	11,83	6,29	4,56
Азот аммонийный, мг/кг	3667	3587	3124	2742	2467	2278	2153	1773	1636
Органическое вещество, %	52,04	50,29	47,43	45,72	38,49	37,95	36,49	36,04	35,72
Температура, °С	22	28	34	37	43	38	32	29	26
2.3. 25 % О, 50 % ПСБ, 25 % РК									
Показатели	Начало	1-я нед.	2-я нед.	3-я нед.	4-я нед.	5-я нед.	6-я нед.	7-я нед.	8-я нед.
Влажность, %	72,1	65,7	54,3	51	53,9	57,2	59,1	52,4	53,5
Азот нитратный, мг/кг	2,38	2,27	4,12	3,83	5,14	7,83	12,66	18,39	24,03
Азот нитритный, мг/кг	30,47	32,73	26,41	23,12	18,76	12,59	8,67	8,31	3,79
Азот аммонийный, мг/кг	3288	3097	2768	2431	2045	1898	2243	2014	1963
Органическое вещество, %	44,32	40,07	32,14	31,79	27,31	21,02	16,24	15,74	14,89
Температура, °С	31	39	45	50	47	45	38	33	32
2.4. 33 % О, 33 % ПСБ, 33 % РК									
Показатели	Начало	1-я нед.	2-я нед.	3-я нед.	4-я нед.	5-я нед.	6-я нед.	7-я нед.	8-я нед.
Влажность, %	64,6	62,8	54,6	48,7	50,8	48,1	49,6	54,3	50,1
Азот нитратный, мг/кг	5,09	4,58	6,41	9,02	15,39	23,16	32,67	42,17	45,75
Азот нитритный, мг/кг	25,48	28,15	26,34	20,66	13,46	7,13	4,39	2,47	1,96
Азот аммонийный, мг/кг	3917	3674	3248	2861	2478	2139	1843	1683	1482
Органическое вещество, %	41,96	37,86	30,49	28,34	23,51	18,26	16,67	15,24	15,01
Температура, °С	35	42	47	53	51	47	40	34	30

В пробах компостной массы, обработанной биопрепаратом, происходят аналогичные процессы нитрификации и снижения концентрации органического вещества с более высокой интенсивностью, сопровождаемая более высокой температурой. Наибольшее снижение концентрации аммонийного азота наблюдалось в образце 2.4 – с 3917 мг/кг до 1482 мг/кг после 8 недель компостирования. Концентрация нитратного азота выросла с 5,09 мг/кг до 45,75 мг/кг, при этом концентрация нитритного азота снизилась с 25,48 мг/кг до 1,96 мг/кг.

Соотношение компостируемой массы 33 % О, 33 % ПСБ, 33 % РК было выбрано для проведения эксперимента в промышленных условиях.

Выводы по главе 3

Для оценки эффективности утилизации большого объема отходов застарелой ПСБ, выявленных в результате обследования нарушенного биотопа, были проведены эксперименты по компостированию длительностью 12 недель с внесением биопрепарата с родами микроорганизмов *Ochrobactrum* sp. и *Acinetobacter* sp.

Эксперимент по компостированию отходов застарелой ПСБ в лабораторных условиях позволил составить температурно-временные и структурно-временные характеристики процесса, свидетельствующие об эффективности применения данного метода для утилизации отходов.

Внесение биопрепарата с родами микроорганизмов *Ochrobactrum* sp. и *Acinetobacter* sp. способствовало размножению не только данных микроорганизмов, но также и существующих популяций микроорганизмов *Acidothermus* sp., *Proteus* sp., *Pseudomonas* sp., *Bacillus* sp., *Escherichia* sp., *Staphylococcus* sp. и *Enterobacter* sp.

Последовательный эксперимент длительностью 8 недель позволил определить наиболее эффективное соотношение компостной массы, включающей отходы (33 %), древесные опилки (33 %) и рециркуляционный компост (33 %), для биодеструкции отходов застарелой ПСБ.

ГЛАВА 4. КОМПСТИРОВАНИЕ ОТХОДОВ ПОСЛЕСПИРТОВОЙ БАРДЫ В ПРОМЫШЛЕННЫХ УСЛОВИЯХ

Проведение лабораторного эксперимента по компстированию отходов ПСБ позволило подтвердить эффективность используемого метода.

При разработке проекта по утилизации отходов ПСБ, размещенных в границах Национального парка «Самарская Лука», было принято решение по компстированию отходов на месте во временных ангарах. Это связано с ограниченной транспортной доступностью объекта и требованиями к содержанию ООПТ.

4.1. Конструктивное оформление площадки компстирования

Для минерализации легкоразлагаемых органических веществ в отходах застарелой ПСБ была реализована технология аэробного компстирования в ангарах. Технология направлена на получение рекультивационного почвогрунта и его использование для обратной засыпки котлованов, образованных в результате экскавации отходов ПСБ.

При компстировании органических отходов происходит биотермическое разложение органического вещества в результате жизнедеятельности аэробных микроорганизмов, способных выделять при биохимических реакциях обмена веществ определенное количество тепла. Активизацию жизнедеятельности компстной микрофлоры обеспечивают за счет таких параметров, как:

- увеличение удельной поверхности при внесении порообразующих добавок (древесных опилок);
- аэрация компстируемой массы;
- поддержание оптимальной влажности массы;
- теплоизоляция, способствующая сохранению выделяющегося тепла и подъему температуры компстируемого материала.

В связи с тем, что компостная масса, состоящая из отходов ПСБ, вязкая, пластичная и трудно аэрируется в буртах с пассивной аэрацией, лучшим технологическим решением по утилизации отходов является компостирование с периодическим ворошением буртов ворошителем в защищенных от атмосферных осадков условиях (тентовом ангаре). Компостирование в ангарах позволяет устранить влияние атмосферных осадков, заключающееся в излишнем увлажнении буртов, и снизить температурные колебания. Преимуществами такой технологии являются:

- 1) равномерная аэрация частиц отхода по всей массе бурта с измельчением комков и одновременным подсушиванием;
- 2) отсутствие стока фильтрата, так как при ворошении верхние подсохшие слои смешиваются с нижними и впитывают фильтрат;
- 3) возможность поддержания температуры окружающей среды при компостировании в ангаре в холодный период года;
- 4) возможность обработки массы буртов биопрепаратами и рециркуляции для значительного ускорения процесса компостирования;
- 5) облегченный визуальный и приборный контроль за процессом компостирования;
- 6) повышение эффективности технологических процессов за счет возможности сквозного проезда через массу буртов и сам тентовый ангар.

Согласно нормативным документам Российской Федерации, внесение биопрепаратов позволяет сократить сроки компостирования органических отходов. Обработка компостируемой массы осуществляется с помощью ворошительной машины, на которой установлен бак для препарата и конструктивно выполнен опрыскиватель с регулировкой скорости подачи жидкости в форсунку. Ускорению процесса разложения органических отходов способствует непрерывная аэрация, а также ворошение с целью равномерного перемешивания, измельчения, выравнивания температуры, дополнительной аэрации и ускорения удаления влаги.

Утилизация отходов застарелой ПСБ проводилась в тентовом ангаре, возводимом на месте проведения рекультивационных работ. Длина ангара – 120 м, ширина – 26 м, и высота – 9,2 м. Согласно технологии, отходы ПСБ экскавируются из мест размещения и перевозятся для формирования буртов в виде пирамиды высотой 2 м с длиной основания 100 м и шириной основания 4,0 м (рис. 4.1).

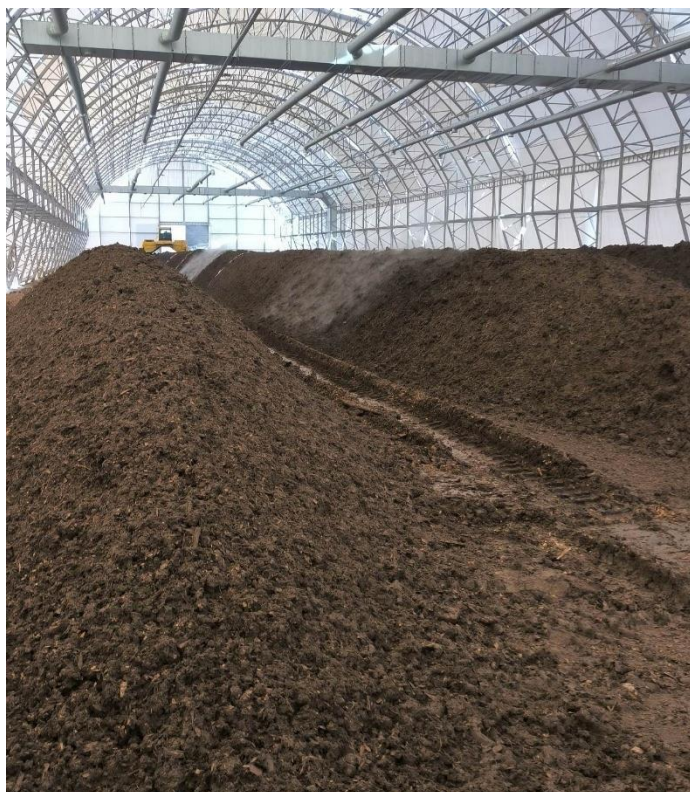


Рисунок 4.1. Формирование буртов отходов ПСБ для утилизации

Технологические параметры временной площадки компостирования представлены в табл. 4.1.

Таблица 4.1

Сводные технологические параметры площадки компостирования

Наименование характеристики	Величина
Объем отходов ПСБ, м ³	23 693
Плотность отходов ПСБ, т/м ³	1,1
Масса отходов ПСБ, т	26 062,3
Объем наполнителя, м ³	11 846,5
Плотность наполнителя, т/м ³	0,3
Масса наполнителя, т	3554,0

Плотность смеси, т/м ³	0,83
Масса смеси за период рекультивации, т	29 616,3
Объем смеси за период рекультивации, м ³	35 539,2
Габариты бурта, длина/ширина/высота, м	100,0×4,0×2,0
Количество буртов в ангарах, шт.	12
Объем материалов, закладываемых в бурт для смешения, м ³	400
Кол-во получаемого продукта за один цикл в бурте (60–70 %), м ³	280
Кол-во получаемого продукта за один цикл площадки (60–70 %), м ³	3360
Кол-во получаемого продукта за всё время (60–70 %), м ³	25 200

Схема площадки компостирования представлена на рис. 4.2.

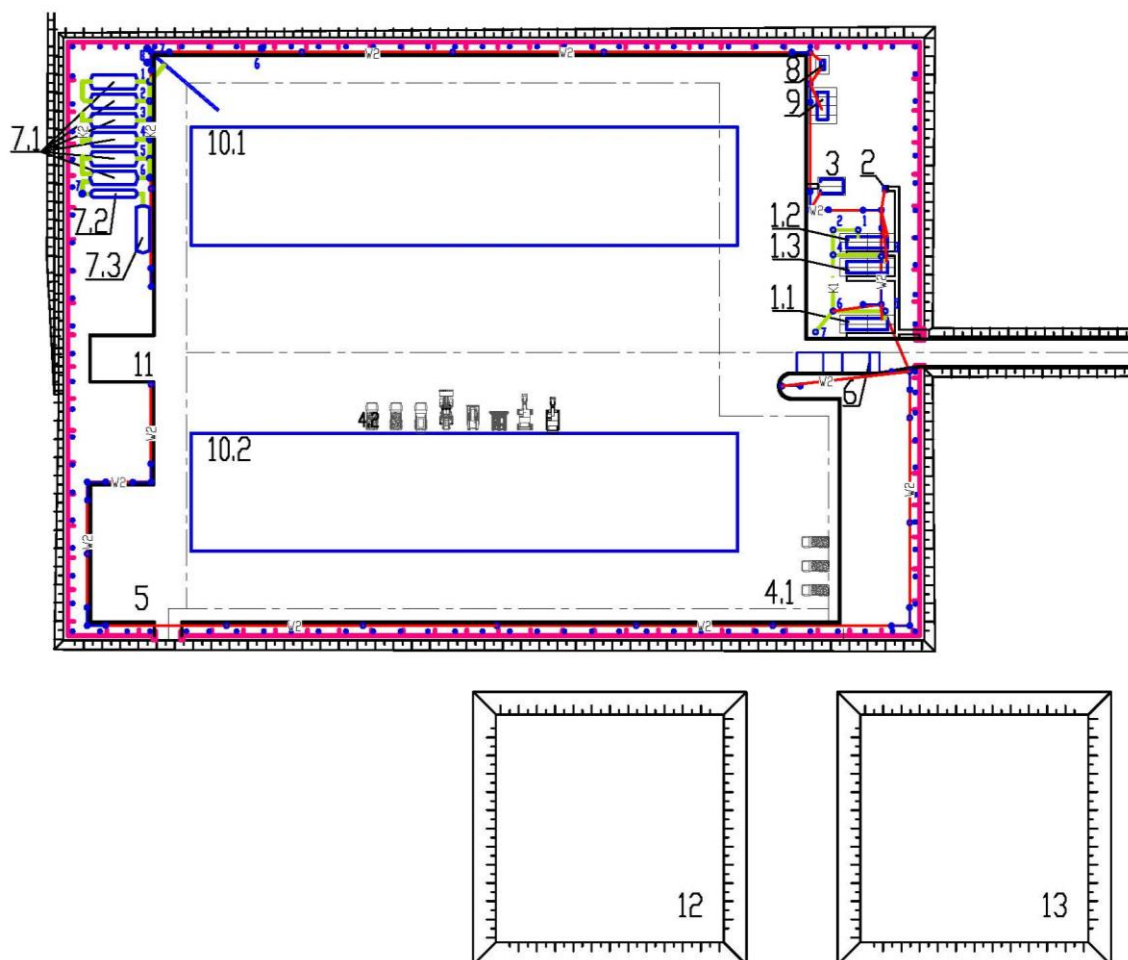


Рисунок 4.2. Схема площадки компостирования:

- 1, 2 – бытовая зона, 3 – пожинвентарь, 4 – открытая стоянка техники, 5 – карта накопления готового компоста, 6 – дезинфицирующая ванна, 7.1–7.3 – зона очистки стоков, 8 – дизель-генератор, 9 – автономный комплекс нейтрализации запахов, 10 – временные ангары, 11 – площадка заправки техники, 12 – площадка хранения плодородного грунта, 13 – площадка хранения минерального грунта

Утилизация отходов ПСБ методом компостирования основана на термическом обеззараживании при температуре от 55 до 80 °С, с одновременным окислением органического субстрата ферментами микроорганизмов, содержащихся в компостной массе и в наполнителе, дополнительно привнесенных обработкой компостной массы микробиологическими препаратами. Компостирование осуществляется в неотапливаемом, закрытом от осадков тентовом ангаре, с ограждающими конструкциями стен из тентового материала. Временное сооружение предназначено для складирования и обработки массы ПСБ и наполнителя.

Компостирование отходов ПСБ происходит под тентовым ангаром при температуре не ниже 10 °С, которая зимой поддерживается за счет разогретых компостных буртов, а также продуванием через бурты снизу подогреваемого воздуха. Загрузка массы производится самосвалом, формирование бурта – фронтальным погрузчиком. Для компостирования используется ворошительная машина. Принцип ворошения – перемешивание массы барабаном с лопатками (ротором) и перекидывание компостной массы назад по ходу движения.

Временное сооружение оборудовано приточной и вытяжной вентиляционной системой, удаляющей загрязненный воздух и включающей биофильтр контейнерного типа (далее – биофильтр) с органическим наполнителем (опилки, обработанные препаратом микроорганизмов, утилизирующих газообразные соединения азота, серы). Биофильтр представляет собой металлический контейнер из сэндвич-панелей, устойчивых к влаге и коррозии. Фото оборудования и сооружений временной площадки компостирования представлены в прил. 7.

4.2. Апробация технологии аэробного компостирования в промышленных условиях

Утилизация отходов методом компостирования происходит в результате минерализации органической компоненты и описывается классической

теорией биохимической кинетики. Основной этап утилизации проходит во время термофильной стадии компостирования. Поддержание необходимых параметров для перехода с мезофильной на термофильную стадию обеспечивается за счет аэрации компостируемой массы, внесения порообразующих добавок (древесных опилок) и незрелого компоста, а также периодического ворошения. Для более интенсивного развития микробного консорциума в компостируемую массу вносится биопрепарат-деструктор с микроорганизмами, принадлежащими к родам *Ochrobactrum* и *Acinetobacter*. Объемная доля застарелой ПСБ в первоначальной компостируемой массе составляет 30–35 %, незрелого (рециркуляционного) компоста – 30–35 %, древесных опилок – 30–35 %. Незрелый (рециркуляционный) компост после цикла неполного компостирования (от 7 до 10 сут) вносится в компостируемую массу для ускорения процесса. Необходимая температура для утилизации отходов при термофильной стадии должна составлять от 55 до 80 °С. При термофильной стадии происходит изменение микробного сообщества с мезофильного на термофильное, патогенные бактерии и грибы подавляются [16]. В результате компостирования образуется зрелый стабильный компост – органоминеральный грунт.

Длительность эксперимента по утилизации отходов ПСБ в промышленных условиях – 3 недели. Для оценки эффективности утилизации предусматривался отбор проб с периодичностью 1 неделя. Было отобрано 5 проб:

- 1-я проба – отход ПСБ в исходном состоянии;
- 2-я проба – отход ПСБ, смешанный с древесными опилками и рециркуляционным компостом;
- 3-я проба – смесь после 1-й недели компостирования;
- 4-я проба – органоминеральный грунт после двух недель компостирования;
- 5-я проба – органоминеральный грунт после трех недель компостирования.

В течение трех недель производился контроль температуры бурта, из которого отбирались пробы. Отобранные пробы отходов, компостной массы и органоминерального грунта анализировались на наличие органических и неорганических компонентов.

Основными показателями для количественного химического анализа были выбраны влажность, органическое вещество, водородный показатель (рН), азот нитратный, нитритный и аммонийный. Основным показателем, свидетельствующим об успешной утилизации отхода, является снижение содержания органического вещества ввиду высокого содержания данного компонента в исходном отходе. Изменение концентраций различных форм азота, в свою очередь, позволяет контролировать процессы минерализации органических веществ. Не менее важным является рН, позволяющий оценить изменение кислотности среды в результате жизнедеятельности микроорганизмов. Оптимальным для компостируемых органических отходов является рН 5,0–8,0 [3].

Кроме того, проводился анализ образцов отходов ПСБ газохроматографическим методом на хроматографе Agilent Technologies GC 6890N с пламенно-ионизационным детектором. Прибор оснащен капиллярной колонкой с нанесенной жидкой фазой (полиэтиленгликоль, модифицированный нитротерефталевой кислотой) длиной 50 м, внутренним диаметром 0,32 мм, толщиной нанесения жидкой фазы 0,50 мкм. Отобранные пробы были экстрагированы в этиловом спирте класса «Альфа» и проанализированы по методикам, аналогичным ГОСТ Р 52363-2005, ГОСТ 31684-2012 и ГОСТ Р 51762-2001, с соблюдением условий проведения измерений. За результат измерений принималось среднеарифметическое значение двух параллельных определений массовой концентрации веществ, полученных в условиях повторяемости, относительные погрешности приняты в соответствии со значениями, указанными в методиках выполнения измерений. Среднее квадратичное отклонение повторяемости измерений составило не более 4 % от полученных значений концентраций веществ.

В рамках эксперимента также производился ежедневный контроль температуры в бурте, результаты представлены на рис. 4.3.

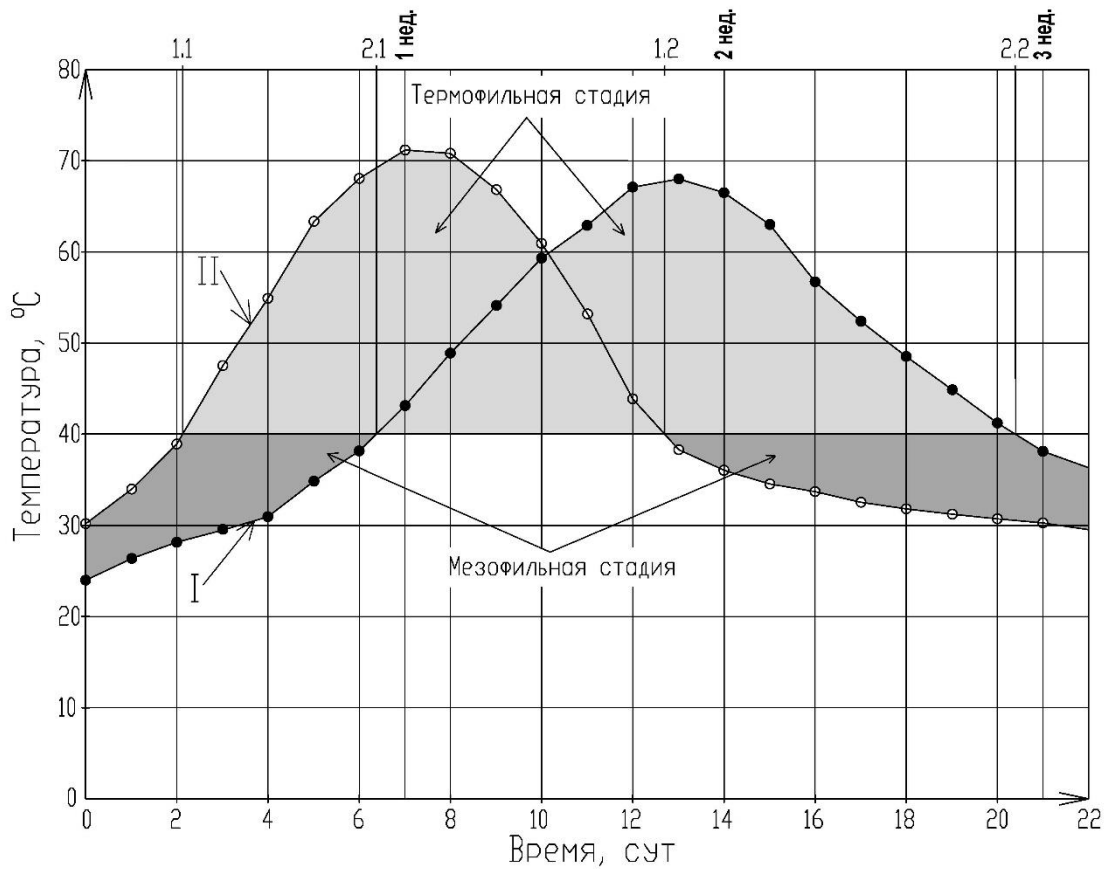


Рисунок 4.3. Температурно-временная характеристика компостируемой массы:

I – бурт 1 (без внесения рециркуляционного компоста); II – бурт 2 (с внесением рециркуляционного компоста). 1.1 – начало термофильной фазы бурта 2; 1.2 – окончание термофильной фазы бурта 2; 2.1 – начало термофильной фазы бурта 1; 2.2 – окончание термофильной фазы бурта 1

Согласно рис. 4.3, внесение рециркуляционного компоста и древесных опилок способствовало более быстрому росту температуры компостируемой массы с сокращением продолжительности мезофильной стадии с 6 до 2 сут. Температура смеси на термофильной стадии ($> 40^{\circ}\text{C}$) в бурте № 2 сохранялась в течение 10 сут, с максимумом в 71°C на 7-е сут, что является достаточным для разложения токсичных органических веществ, а также ликвидации патогенных микроорганизмов [102, 174].

После начала процесса компостирования из бурта № 2 еженедельно отбирались пробы для отслеживания химических превращений. Результаты

хроматографического анализа отходов ПСБ, компостируемой массы и органоминерального грунта представлены в табл. 4.2.

Таблица 4.2

**Результаты хроматографического анализа отходов ПСБ,
компостируемой массы и органоминерального грунта**

Компоненты	Концентрация анализируемых веществ в отобранных пробах, мг/кг				
	№ 1 Исходный отход	№ 2 Смешанный образец	№ 3 После 1-й недели	№ 4 После 2-й недели	№ 5 После 3-й недели
Этаналь	29,20 ± 3,80	8,81 ± 1,32	6,00 ± 0,90	4,00 ± 0,60	4,99 ± 0,75
(2E)-бут-2-эналь	20,07 ± 2,61	—*	—	—	—
Альдегиды	49,27	8,81	6,00	4,00	4,99
Пропан-2-он	5,47 ± 0,82	—	—	—	—
Кетоны	5,47	—	—	—	—
Этилформиат	—	—	—	—	—
Этилацетат	8,21 ± 1,23	—	—	—	—
Этиллактат	—	—	—	—	—
Изобутилацетат	—	—	—	—	—
Изоамилацетат	28,28 ± 3,68	—	—	—	—
Этилоктаноат	175,18 ± 22,77	—	—	—	—
Этилдеcanoат	2792,88 ± 363,07	—	—	—	—
Этиллаурат	1,82 ± 0,27	—	—	—	—
Сложные эфиры	3006,39	—	—	—	—
Пропан-1-ол	1688,87 ± 219,55	50,88 ± 6,61	—	—	—
Пропан-2-ол	9,12 ± 1,37	—	—	—	—
Бутан-1-ол	16,42 ± 2,46	1,96 ± 0,29	—	—	—
2-Метилпропанол-1	—	—	—	—	—
Бутан-2-ол/Butan-2-ol	23,72 ± 3,08	7,83 ± 1,17	—	—	—
3-метил-1-бутанол	—	—	—	—	—
Спирты	1738,14	60,66	—	—	—
Этановая кислота	13671,53 ± 1640,58	1808,13 ± 216,98	19,00 ± 2,28	18,01 ± 2,16	15,96 ± 1,92
Пропановая кислота	10352,19 ± 1242,26	2664,25 ± 319,71	25,00 ± 3,00	—	—
2-метилпропановая кислота	668,80 ± 80,26	299,40 ± 35,93	—	—	—
Бутановая кислота	16647,81 ± 1997,74	4647,52 ± 557,70	35,00 ± 4,20	11,00 ± 1,32	13,96 ± 1,68
3-метилбутановая кислота	1652,37 ± 198,28	713,27 ± 85,59	—	—	—
Пентановая кислота	4051,09 ± 486,13	1526,34 ± 183,16	15,00 ± 1,80	—	—
Кислоты	47 043,80	11 658,92	94,00	29,01	29,92
2-фенилэтанол	6,39 ± 0,96	—	—	—	—
Ароматические спирты	6,39	—	—	—	—

* Отсутствие детектируемых веществ.

По результатам анализа выявлены высокие концентрации токсичных органических веществ в исходном отходе ПСБ (проба № 1). С наибольшими концентрациями детектировались органические кислоты, сложные эфиры (этилдеcanoат) и высшие спирты (пропан-1-ол).

После смешения застарелой ПСБ с древесными опилками и рециркуляционным компостом (проба № 2) произошло значительное снижение концентраций изопропилового спирта и органических кислот, а также наблюдалось отсутствие сложных эфиров в пробе. Снижение концентрации органического вещества в смеси, направляемой на компостирование, относительно исходного отхода обусловлено внесением компонентов с ее меньшим содержанием (рециркуляционный компост, разрыхляющие добавки).

По окончании 1-й недели компостирования (проба № 3) наблюдалось полное отсутствие содержания высших и ароматических спиртов, а также сложных эфиров. Также была отмечена полная элиминация изобутановой и изовалериановой кислот.

На 2-й неделе компостирования произошло разложение большей части детектируемых ранее органических веществ, в пробе № 4 обнаружено менее 0,1 % концентрации веществ по сравнению с результатами, полученными после анализа исходного отхода (проба № 1).

На 3-й неделе компостирования в пробе № 5 не произошло значительного изменения содержания загрязнителей по сравнению с пробой № 4. После 2-й и 3-й недель компостирования в отобранных пробах детектировали всего 2 кислоты – этановую и бутановую – с суммарным их содержанием 29,01 мг/кг после 2-й недели и 29,92 мг/кг после 3-й недели.

Результаты химического анализа отходов ПСБ, компостируемой массы и органоминерального грунта представлены в табл. 4.3.

**Результаты количественного химического анализа отходов ПСБ
компостируемой массы и органоминерального грунта**

Показатели	Концентрация анализируемых веществ в отобранных пробах, мг/кг				
	№ 1 Исходны й отход	№ 2 Смешанны й образец	№ 3 После 1-й недели	№ 4 После 2-й недели	№ 5 После 3- й недели
Влажность, %	76,6	72,5	47,2	48,3	42,9
Органическое вещество, %	31,81	26,32	21,63	11,09	9,82
Водородный показатель (рН), ед. рН	4,92	5,37	5,63	6,01	6,09
Азот нитратный, мг/кг	2,56	2,78	24,92	48,77	51,21
Азот нитритный, мг/кг	33,56	29,63	13,51	1,95	0,12
Азот аммонийный, мг/кг	3865,2	3240,4	2984,2	2812,8	2731,4

Согласно результатам, представленным в табл. 4.3, в исследуемых пробах в процессе компостирования произошло несколько значительных изменений химических показателей. Высокая влажность в исходном отходе, а также в смешанном образце со значения более 70 % в процессе компостирования снизилась до 42,8–48,3 %. Также произошло снижение содержания органического вещества с 31,8 до 9,8 % по сухому веществу, что является основным показателем эффективности утилизации. В ходе эксперимента наблюдалось повышение значения рН с 4,92 в исходном образце до 6,09 в конечной пробе. По результатам изменения концентрации форм азота возможно сделать вывод о протекании процесса нитрификации со снижением концентраций нитритного азота и повышением содержания нитратного азота. Разложение аммонийного азота до воды и азота происходило за счет поддержания высокой температуры 60–70 °С во время термофильной стадии.

В результате проведенного эксперимента подтверждена эффективность переработки отходов застарелой ПСБ методом аэробного компостирования. Внесение древесных опилок в качестве разрыхлителя, а также рециркуляционного компоста для ускорения процесса компостирования позволило сократить мезофильную стадию с 6 до 2 сут по сравнению с компостированием массы без соответствующих добавок. Рециркуляционный

компост также способствовал быстрому разогреву компостируемой массы и достижению высокой температуры – 71 °С.

Анализ проб при помощи газового хроматографа позволил отследить снижение концентрации основных видов загрязнителей в процессе компостирования. При определении концентрации органических составляющих в пробах, отобранных после 2-й и 3-й недель компостирования, детектировались только этановая и бутановая кислоты с незначительной разницей в 0,91 мг/кг.

Результаты химического анализа нитратного, нитритного и аммонийного азота, органического вещества, рН и влажности в пробах после 2-й и 3-й недель компостирования не имеют значительного различия.

Согласно проведенному эксперименту доказано, что внесение рециркуляционного компоста и древесных опилок позволяет сократить продолжительность процесса утилизации отходов застарелой ПСБ с 3 до 2 недель. Двухнедельный цикл компостирования с применением ворошителя и непрерывной аэрации обусловлен снижением времени нахождения компостируемой массы в тентовых ангарах из-за значительного количества отходов, которые необходимо утилизировать в короткие сроки. Органоминеральный грунт после 2 недель компостирования складировался для дозревания на открытую площадку. Результаты химического анализа проб, отобранных из 4 буртов дозревания, представлены в табл. 4.4. Пробы из буртов отбирались после формирования, далее после 1-й, 2-й и 3-й недель для определения наиболее подходящего времени нахождения компостной массы на площадке дозревания.

**Результаты количественного химического анализа
органоминерального грунта на стадии дозревания**

Показатели	Концентрация анализируемых веществ в отобранных пробах, мг/кг			
	№ 1 Исх. бурт	№ 2 После 1-й недели	№ 3 После 2-й недели	№ 4 После 3-й недели
Бурт № 1				
Азот нитратный, мг/кг	48,69	56,94	59,38	63,75
Азот нитритный, мг/кг	1,91	1,76	1,56	1,43
Азот аммонийный, мг/кг	2543,4	2249,1	1948,5	1863,7
Бурт № 2				
Азот нитратный, мг/кг	50,57	52,81	54,36	57,35
Азот нитритный, мг/кг	2,27	1,53	1,28	0,85
Азот аммонийный, мг/кг	2549,5	2316,2	2029,6	1946,8
Бурт № 3				
Азот нитратный, мг/кг	47,32	51,23	58,69	65,17
Азот нитритный, мг/кг	1,22	1,06	1,01	0,92
Азот аммонийный, мг/кг	2641,7	2359,7	2174,8	2055,7
Бурт № 4				
Азот нитратный, мг/кг	49,20	55,74	61,25	69,48
Азот нитритный, мг/кг	0,98	1,09	0,87	0,79
Азот аммонийный, мг/кг	2706,8	2405,1	2198,4	1983,2

Среднее значение концентрации аммонийного азота в четырех буртах после 2 недель дозревания составило 2087,8 мг/кг, а после 3 недель – 1962,35 мг/кг. С учетом незначительного различия концентрации аммонийного азота между 2-й и 3-й неделями дозревания полученного почвогрунта было принято решение проводить дозревание грунта в двухнедельный срок. Таким образом, общий срок утилизации отходов ПСБ – 4 недели. Первый этап – 2 недели интенсивного аэробного компостирования с внесением биопрепарата для интенсификации термофильной стадии с целью ликвидации патогенной микрофлоры и испарения легколетучей органической части. Второй этап – проведение дозревания полученного органоминерального грунта длительностью 2 недели с целью удаления неприятных запахов и снижения концентрации аммонийного азота. После проведения компостирования наблюдалось снижения соотношения C/N с 25-30/1 до 14-18/1.

Полученный органоминеральный грунт после утилизации был использован для заполнения выемок, образованных при экскавации отходов ПСБ. Акты внедрения технологии утилизации отходов ПСБ представлены в прил. 8.

4.3. Оценка состояния биотопа после проведения рекультивационных работ

Ключевая практическая значимость работы заключалась в рекультивации нарушенного биотопа и восстановлении растительного покрова в результате последовательного прохождения сукцессионных процессов, контроль которых осуществлялся при проведении геоботанической экспертизы [57].

Геоботаническая экспертиза выполняется для оценки состояния растительного покрова и определения степени его антропогенной трансформации. Геоботаническое исследование проводилось в несколько ступеней [26]. Первая ступень – подготовительная, подразумевающая изучение архивных и литературных данных о растительном покрове изучаемой территории. На второй ступени проводились непосредственно натурные исследования. Для классификации растительных сообществ использовались общепринятые методики, такие как маршрутная съемка, описание пробных площадок и GPS-привязка исследуемых участков.

Под геоботаническими описаниями принято подразумевать характеристику, составляемую исследователем в ходе полевых изысканий для конкретного фитоценоза. Описание составляется на ограниченном участке фитоценоза – пробной площади (ПП) обычно 10×10 м (для травянистой растительности), которая закладывается в наиболее типичном месте фитоценоза. Было проведено описание крупных, морфологически хорошо выраженных выделов растительности на площадках, однородных по структуре и флористическому составу, в пределах ПП или в реальном контуре фитоценоза.

Стандартные геоботанические описания выполнялись в полевом дневнике и бланках с указанием всех необходимых показателей и характеристик растительного сообщества, необходимых для оценки состава и структуры фитоценоза на пробной площади: номер описания, дата, фамилия автора, размер и форма ПП, географическое положение ПП с указанием географических координат с помощью GPS, особенности геоморфологических условий (указывается положение фитоценоза в макро-, мезо- и микрорельефе), список видов флоры, экологические нарушения, виды антропогенного воздействия и пр.

Видовой состав конкретного фитоценоза выявляется путем тщательного осмотра пробной площади и составления списка зафиксированных на ней видов с учетом обилия и фенофаз. Неизвестные и нетвердо установленные виды растений собирают в гербарий для дальнейшего уточнения и определения при камеральной обработке.

Проективное покрытие древесного (при наличии), кустарникового, травяно-кустарничкового и мохово-лишайникового ярусов, а также обилие слагающих их видов растений в описании указываются в процентах.

В камеральный период все выполненные геоботанические описания обобщаются в виде сводной таблицы с указанием GPS-координат, полевого названия фитоценоза, типа ландшафтно-геоботанического комплекса, основных видов-доминантов по ярусам.

Названия сообществ и выделение ассоциаций осуществлялись согласно доминантной классификации и методикам отечественных авторов [4, 8, 55].

Дополнительно к полевым работам проведена оценка состояния растительности при помощи данных ДЗЗ. Космические снимки со спутников Landsat-8 и Landsat-9 получены с интернет-ресурса Геологической службы США (United States Geological Survey) <https://earthexplorer.usgs.gov>.

Для оценки динамики развития растительного покрова использовался наиболее распространенный вегетационный индекс – нормализованный относительный вегетационный индекс NDVI (Normalized Difference Vegetation

Index) [135]. Спутниковые снимки изучаемой территории были обработаны с использованием NDVI в геоинформационной системе QGIS [133]. Формула NDVI имеет следующий вид (3):

$$\text{NDVI} = \frac{\text{NIR} - \text{red}}{\text{NIR} + \text{red}}, \quad (3)$$

где red – красная область спектра (Band 4);

NIR – ближняя инфракрасная область спектра (Band 8) [135].

На основе результатов геоботанических исследований была разработана программа по созданию устойчивых растительных сообществ для выполнения биологического этапа рекультивации. При выборе видов учитывались следующие критерии:

1. Устойчивость к загрязнению: использовались виды, способные переносить повышенное содержание тяжелых металлов и органических загрязнителей.

2. Фитомелиоративные свойства: включались растения, способные к аккумуляции токсичных веществ и улучшению структуры почвы.

3. Местная адаптация: предпочтение отдавалось местным видам, хорошо приспособленным к климатическим условиям региона.

Для создания начального травостоя рекомендовано использовать смесь многолетних злаковых и бобовых культур: овсяницы (*Festuca* sp.), вейника (*Calamagrostis epigejos* L.), люцерны (*Medicago sativa* L.). Эти виды обладают высокой конкурентоспособностью, способны к симбиозу с азотфиксирующими бактериями и имеют мощную корневую систему, способствующую укреплению грунта.

Выбранные растения использовались для биологической рекультивации нарушенной территории после выполнения технического этапа рекультивации, заключающейся в выемке отходов ПСБ и их утилизации методом компостирования.

Работы по рекультивации проводились с апреля по ноябрь 2024 г. с восстановлением почвенного покрова и засевом семян многолетних трав. Для первичной оценки восстановления растительности на рекультивированной территории в июне 2025 г. был проведен экологический мониторинг, включающий полевые геоботанические исследования. Периодический анализ позволит своевременно выявлять отклонения и принимать корректирующие меры. Так, натурные исследования растительного покрова на следующий полевой сезон позволили выявить следующие закономерности:

1. По результатам этапа биологической рекультивации формируется первичный растительный покров с видами, заявленными в составе биоматов.

2. На данном этапе покров только начинает формироваться и имеет отчасти мозаичную структуру, представленную в основной массе наиболее толерантными видами растений вегетационных матов и сохранившимися чаще монодоминантными сообществами *Ambrosia trifida* L. и *Cannabis sativa* L.

3. В результате экспертирования выявлено две стадии сукцессии – группировки злаков (заявленных в вегетационных матах) и простые фитоценозы, представленные видами с высокой степенью толерантности: *Ambrosia trifida* L., *Cirsium arvense* (L.) Scop., *Convolvulus arvensis* L., *Polygonum aviculare* L., *Cannabis sativa* L., *Atriplex nitens* Schkuhr, *Chenopodium album* L., *Chenopodium glaucum* L.

4. Состав культур, отраженный в проектной документации, различен – от 30 % в районе злаковых группировок до 70 % в районе сорно-рудеральных фитоценозов.

5. Наличие простых сорно-рудеральных фитоценозов свидетельствует о пионерной стадии сукцессии. В дальнейшем при отсутствии влияния экстремальных факторов среды (как абиотических, так и антропогенных) будет происходить усложнение структуры и состава фитоценозов.

Для оценки изменения и восстановления растительного покрова при помощи методов ДЗЗ выбраны космические снимки в наиболее активный

вегетационный период 2022 и 2025 гг. Спутниковая съемка участка работ в 2022 г., выполненная 15.06.2022 и 18.07.2022, позволила оценить состояние растительного покрова до начала выполнения рекультивационных работ. Спутниковые снимки за 2025 г. от 08.06.2025 и 09.07.2025 были выбраны с разницей не более 10 дней по сравнению с датами 2022 г. в связи с наличием большого количества снимков с высокой облачностью в районе изучаемой территории. Космические снимки 2022 и 2025 гг., обработанные при помощи NDVI, представлены на рис. 4.4.

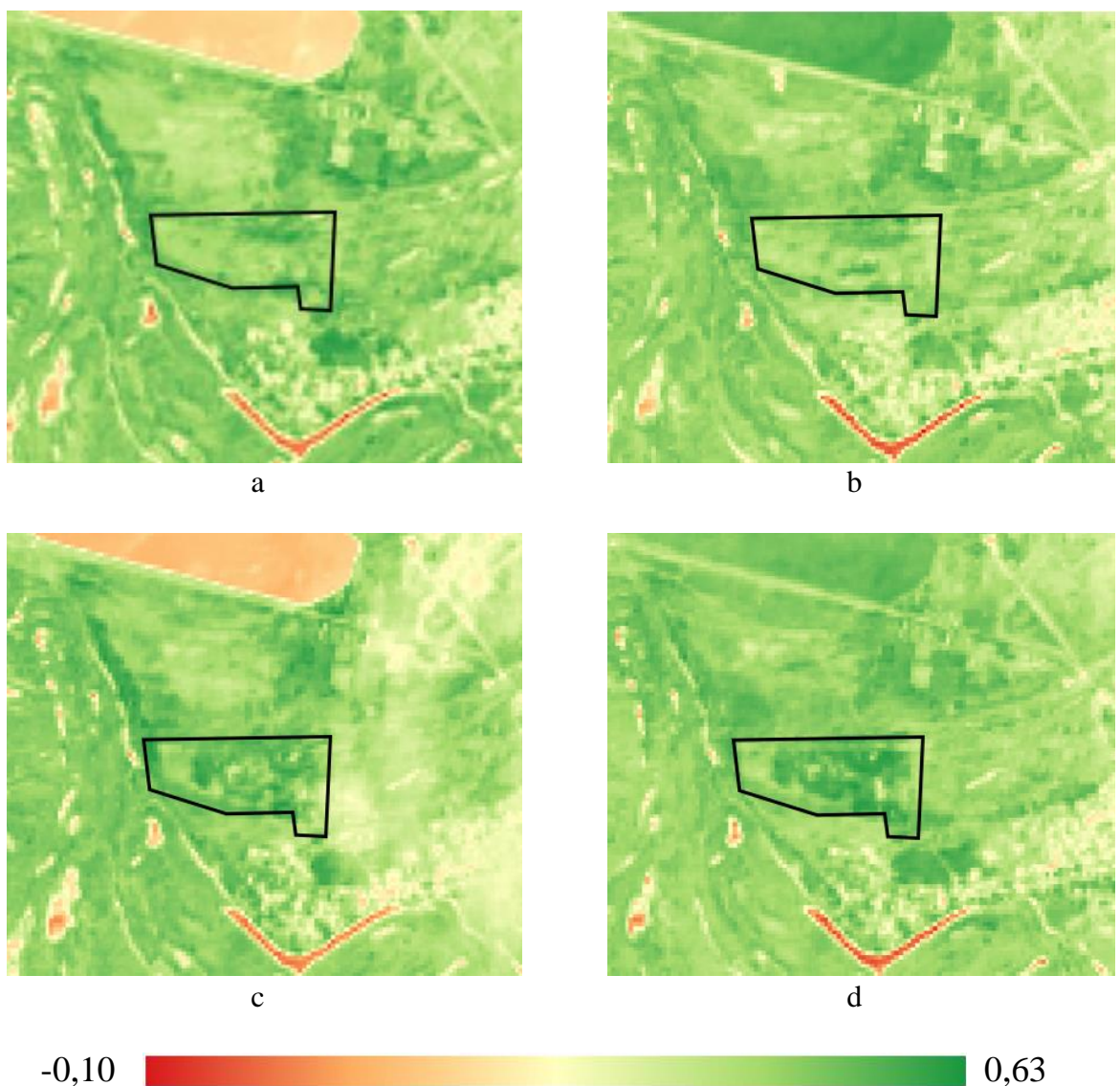


Рисунок 4.4. Космические снимки 2022 и 2025 гг., обработанные при помощи NDVI:

а – дата снимка 15.06.2022; б – дата снимка 18.07.2022, с – дата снимка 08.06.2025, д – дата снимка 09.07.2025

Шкала измерения NDVI после обработки космических снимков в геоинформационной системе QGIS составила от $-0,1$ (вода) до $0,63$ (густая зеленая растительность). Среднее значение NDVI на участке рекультивации в 2022 г. составило $0,34$ (15.06.2022) и $0,37$ (18.07.2022). После проведения рекультивационных работ наблюдается увеличение значений NDVI относительно значений 2022 г. – $0,47$ (08.06.2025) и $0,49$ (09.07.2025). Увеличение значений NDVI с 2022 по 2025 г. составило $27,7\%$ в июне и $24,5\%$ в июле, что указывает на интенсивное развитие растительности после проведения рекультивационных работ. Проведенный анализ растительности на рекультивируемом участке при помощи ДЗЗ подтверждает результаты полевого геоботанического исследования.

Для количественной оценки восстановления растительности после проведения рекультивационных работ был применен коэффициент восстановления растительности (K_B) на основе VRR (Vegetation Recovery Rate) [116]. Коэффициент восстановления растительности (K_B) рассчитывается как отношение среднего значения NDVI на участке работ до и после выполнения работ по рекультивации к среднему значению NDVI на фоновом участке.

Формула расчета коэффициента восстановления растительности представлена ниже (4):

$$K_B = \frac{NDVI_{\text{уч}}}{NDVI_{\text{фон}}} . \quad (4)$$

Значения $K_B < 1$ свидетельствуют о неполном восстановлении, $K_B = 1$ – о полном восстановлении, $K_B > 1$ – о превышении фоновых показателей.

Результаты расчета коэффициента восстановления растительности (K_B) представлены в табл. 4.5.

**Результаты оценки восстановления растительности
рекультивированного участка на основе коэффициента
восстановления растительности (K_v)**

Показатель	Июнь 2022 г.	Июль 2022 г.	Июнь 2025 г.	Июль 2025 г.
NDVI _{уч}	0,34	0,37	0,47	0,49
NDVI _{фон}	0,41	0,43	0,42	0,44
K_v	0,83	0,86	1,12	1,11

Коэффициент восстановления растительности (K_v) увеличился с 0,83–0,86 в 2022 г. (снижение на 14–17 % относительно фона) до 1,11–1,12 в 2025 г. (превышение фона на 11–12 %), что свидетельствует об успешном восстановлении растительного покрова после проведения рекультивационных работ.

Проведенные исследования показали, что на начальном этапе биологической рекультивации формируется мозаичный растительный покров, представленный преимущественно толерантными видами из вегетационных матов и устойчивыми рудеральными растениями, такими как *Ambrosia trifida* L. и *Cannabis sativa* L. Выявлены две стадии сукцессии – злаковые группировки и простые сорно-рудеральные фитоценозы, что свидетельствует о пионерной стадии восстановления. При отсутствии экстремальных воздействий в дальнейшем ожидается усложнение структуры фитоценозов и переход к более устойчивым растительным сообществам.

Выводы по главе 4

Разработана технология по утилизации отходов ПСБ методом аэробного компостирования в ангарах. Особенности технологии являются установка оборудования непрерывной автоматической аэрации, биофильтров для очистки выбросов, внесение биопрепарата, а также применение ворошителя для равномерной обработки компостной массы.

Проведена апробация принятой технологии аэробного компостирования с выбранным соотношением компонентов компостной массы, с определением

температурно-временных и структурно-временных характеристик. По результатам промышленного эксперимента по компостированию отходов ПСБ длительностью 2 недели отмечено снижение концентрации ряда органических веществ до 0,1 % концентрации по сравнению с результатами, полученными для исходного отхода.

По результатам анализа содержания неорганических веществ в процессе компостирования отмечено снижение концентрации аммонийного азота с 3865,2 мг/кг до 2812,8 мг/кг после 2 недель аэробного компостирования и до 2087,8 мг/кг после двухнедельного цикла дозревания. Эффективность по снижению концентрации составила 185 %.

Для оценки восстановления биотопа после проведения рекультивационных работ было проведено геоботаническое обследование для сравнения с исходным состоянием нарушенного биотопа. Дополнительно были обработаны космические снимки участка работ с расчетом NDVI, что позволило зафиксировать увеличение значений NDVI с 2022 по 2025 г. Рост значений индекса на участке после рекультивационных работ составил 27,7 % в июне и 24,5 % в июле. Также отмечен рост значений коэффициента восстановления растительности K_B на рекультивированном участке по отношению к фону на 11–12 % в июне и июле 2025 г.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Оценена площадь нарушенной территории (42,4421 га), проведен отбор проб почвы, грунтов и отходов в количестве 335 проб с изучением химического состава и объема депонированных отходов застарелой ПСБ с использованием анализа многомерных данных при помощи МГК. Изучены технологии утилизации органических отходов, включая применение компостирования для утилизации ТКО, осадков сточных вод. Обосновано его применение для утилизации отходов спиртовой промышленности.

2. Определен состав органических поллютантов. Выбран основной индикатор загрязнения – соотношение нитратного, нитритного и аммонийного азота на основе индекса потенциала нитрификации. Определена средняя глубина загрязнения – 5 м и объем отходов – 23 693 м³.

3. На основе изучения температурно-временных и структурно-временных характеристик процесса подобрано оптимальное содержание компонентов компостируемой массы застарелых отходов ПСБ: 33 % опилок, 33 % ПСБ, 33 % рециркуляционного компоста. Максимальная температура компоста составила 71 °С. Снижение доли органического вещества в компосте с выбранным соотношением составило с 41,96 до 15,01 %.

4. Разработана технология аэробного компостирования отходов застарелой ПСБ с оценкой эффективности утилизации при помощи изучения изменения химического состава компостируемой массы и органоминерального грунта. После 2 недель компостирования наблюдалось снижение концентрации токсичных веществ в отходах ПСБ до 0,1 % от исходного состояния. Содержание органического вещества снизилось с 31,81 до 9,82 %.

5. Выполнена оценка восстановления биотопа при помощи выполнения полевого геоботанического исследования, а также изучения спутниковых снимков. Увеличение значений вегетационного индекса с 2022 по 2025 г. составило 27,7 % в июне и 24,5 % в июле. Определен рост коэффициента

восстановления растительности (K_v) на 11–12 % по отношению к фоновым значениям.

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ

DDGS (Dried Distillers Grains with Solubles) – высушенные дистилляционные зерна с растворимыми веществами

NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) – нормализованный разностный индекс вегетации

VRR (Vegetation Recovery Rate) – коэффициент восстановления растительности

АОА – аммоний-окисляющие археи

АОБ – аммоний-окисляющие бактерии

БГКП – бактерии группы кишечной палочки

БН – большой накопитель

БПК – биологическое потребление кислорода

БРУ – брагоректификационная установка

БХ – бардохранилище

ВОУ – водорастворимый органический углерод

ДЗЗ – дистанционное зондирование Земли

ДКК – дрожжевой кормовой концентрат

ЕКО – емкость катионного обмена

ИВ – индекс всхожести

ИТС – информационно-технический справочник

КРС – крупный рогатый скот

КХА – количественный химический анализ

МГК (РСА – Principal Component Analysis) – метод главных компонент

МН – малый накопитель

НДТ – наилучшие доступные технологии

ОКВЭД – общероссийский классификатор видов экономической деятельности

ОНВОС – объект накопленного вреда окружающей среде

ООПТ – особо охраняемая природная территория

ООУ – общий органический углерод

ОРО – объект размещения отходов

ОС – окружающая среда

ОСВ – осадки сточных вод

ПДК – предельно допустимая концентрация

ПП – пробная площадка

ПСБ – послеспиртовая барда

РК – рециркуляционный компост

СВ – сухие вещества

СХП – сухой порошок

ТКО – твердые коммунальные отходы

ХПК – химическое потребление кислорода

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Андросов, А.Л. Промышленные технологии переработки послеспиртовой барды / А.Л. Андросов, И.А. Елизаров, А.А. Третьяков // Вестник ТГТУ. – 2010. – Т. 16, №4. – С. 954–963.
2. Беляева, О.Н. Система No-Till и ее влияние на доступность азота почв и удобрений: обобщение опыта / О.Н. Беляева // Земледелие. – 2013. – № 7. – С. 16–18.
3. Бойцова, Л.В. Исследование и экологическая оценка сложного компоста / Л.В. Бойцова, К.Г. Моисеев, В.Н. Пищик, Е.Г. Зинчук, Ю.В. Хомяков // Теоретическая и прикладная экология. – 2020. – №3. – С. 133–139. – DOI: 10.25750/1995-4301-2020-3-133-139.
4. Быков, Б.А. Геоботаника / Б.А. Быков. – Алма-Ата: Наука, 1978. – 287 с.
5. Быкова, М.В. Комплексная утилизация осадков городских сточных вод с получением техногенного почвогрунта / М.В. Быкова, Д.М. Малюхин, Д.О. Нагорнов, А.А. Дука // Записки Горного института. – 2024. – №267. – С. 453–462.
6. Вайсман, Я.И. Тенденции и перспективы управления твёрдыми бытовыми отходами на урбанизированных территориях / Я.И. Вайсман // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Урбанистика. – 2011. – №1(1). – С. 81–99.
7. Валиев, В.С. Способы утилизации осадков городских сточных вод (обзор) / В.С. Валиев, Д.В. Иванов, Р.Р. Шагидуллин // Российский журнал прикладной экологии. – 2020. – №4(24). – С. 52–63. – DOI: 10.24411/2411-7374-2020-10034.
8. Василевич, В.И. Очерки теоретической фитоценологии / В.И. Василевич. – Л.: Наука, 1983. – 248 с.

9. Винаров, А.Ю. Безотходная биотехнология этилового спирта / А.Ю. Винаров, А.А. Кухаренко, Н.Е. Николайкина. – М.: Издательство Юрайт, 2019. – 217 с.

10. Гаврилов, М.М. Температурные характеристики процесса биологической утилизации осадков сточных вод с получением рекультивационного почвогрунта / М.М. Гаврилов, А.А. Пименов, П.Е. Красников // Природообустройство. – 2019. – №1. – С. 66–73.

11. ГОСТ Р 54534-2011. Ресурсосбережение. Осадки сточных вод. Требования при использовании для рекультивации нарушенных земель. – М.: Стандартинформ, 2011.

12. ГОСТ Р 54651-2011. Удобрения органические на основе осадков сточных вод. Технические условия. – М.: Стандартинформ, 2011.

13. Графова, Е.О. Исследование методов обработки осадков сточных вод петрозаводских очистных сооружений / Е.О. Графова, Н.В. Паршин // Resources and Technology. – 2019. – №4. – С. 94–118.

14. Гурин, А.Г. Агрохимическая оценка использования отходов производства в виде спиртовой барды на посевах кукурузы на силос / А.Г. Гурин, А.Д. Кожухов // Вестник Орловского государственного аграрного университета. – 2013. – №1(40). – С. 23–28.

15. Дзанагов, С.Х. Влияние нетрадиционных удобрений на рост и урожайность кукурузы / С.Х. Дзанагов, А.А. Езеев, Р.В. Калагова, З.А. Гутиева // Известия Горского государственного аграрного университета. – 2014. – Т. 51, №2. – С. 45–50.

16. Дроганова, Т.С. Оценка применимости почвогрунтов, произведённых из твёрдых отходов для выращивания лекарственных растений / Т.С. Дроганова, Л.В. Поликарпова, М.А. Севостьянов, А.А. Мазуркевич // Теоретическая и прикладная экология. – 2023. – №4. – С. 157–164. – DOI: 10.25750/1995-4301-2023-4-157-164.

17. Дыганова, Р.Я. Разработка методики выбора технологий переработки отходов спиртовой промышленности как инструмента

экологического менеджмента / Р.Я. Дыганова, Ю.С. Беляева // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2014. – №4(2). – С. 1728–1736.

18. Забелина, А.В. Особенности применения технологического грунта, полученного методом компостирования твёрдых коммунальных отходов / А.В. Забелина, Н.Р. Молодкина, О.И. Сергиенко // Московский экономический журнал. – 2022. – №6. – С. 293–301.

19. ИТС 15-2021. Информационно-технический справочник по наилучшим доступным технологиям. Утилизация и обезвреживание отходов (кроме термических способов). – URL: <https://docs.cntd.ru/document/728318728> (дата обращения: 11.09.2025).

20. Капелькина, Л.П. Подходы к проведению исследований объектов накопленного экологического вреда / Л.П. Капелькина, Т.В. Бардина // Биосфера. – 2023. – Т. 15, №3. – С. 184–192.

21. Карякина, С.Д. Компостирование осадка городских сточных вод с использованием биологических препаратов / С.Д. Карякина, М.С. Матюхин, В.А. Касатиков, А.В. Карякин // Плодородие. – 2017. – №3(96). – С. 40–42.

22. Касатиков, В.А. Влияние компостирования осадков сточных вод на их агроэкологические свойства / В.А. Касатиков, Н.П. Шабардина // Известия ОГАУ. – 2008. – №18-1. – С. 28–31.

23. Классификация ОКВЭД 2.0. – URL: <https://www.rusprofile.ru/codes/110140> (дата обращения: 03.01.2025).

24. Кобызева, Н.В. Локальная очистка промышленных сточных вод с помощью биопрепарата «Ленойл»: дис. ... канд. биол. наук / Н.В. Кобызева. – Уфа: Институт биологии УНЦ РАН, 2009.

25. Козловская, О.В. Эколого-флористическое зонирование территории несанкционированного размещения барды с. Рождествено / О.В. Козловская, В.Н. Ильина // Известия Тульского государственного университета. Естественные науки. – 2024. – №2. – С. 91–98. – DOI: 10.24412/2071-6176-2024-2-91-98.

26. Козловская, О.В. Алгоритм комплексного изучения растительного покрова для инженерно-экологических изысканий / О.В. Козловская, В.Н. Ильина, О.Ф. Галдеева, Е.Г. Агакишиева // Известия Тульского государственного университета. Естественные науки. – 2024. – №1. – С. 86–98. – DOI: 10.24412/2071-6176-2024-1-86-98.

27. Корчевская, Ю.В. Обезвреживание отходов методом экологической биотехнологии / Ю.В. Корчевская, А.А. Кадысева, Г.А. Горелкина, А.А. Маджугина, И.А. Троценко // Вестник АГАУ. – 2016. – №3(137). – С. 170–173.

28. Коршунова, Т.Ю. Бактерии родов *Acinetobacter* и *Ochrobactrum* в процессах биоремедиации нефтезагрязнённых объектов (обзор) / Т.Ю. Коршунова, Е.В. Кузина, Д.А. Шарипов, Г.Ф. Рафикова // Теоретическая и прикладная экология. – 2021. – №3. – С. 13–20. – DOI: 10.25750/1995-4301-2021-3-013-020.

29. Кузнецов, А.Е. Прикладная экобиотехнология: в 2 т. Т. 2 / А.Е. Кузнецов, Н.Б. Градова, С.В. Лушников [и др.]. – М.: БИНОМ, 2015. – 629 с.

30. Кузнецов, И.Н. Анализ мирового опыта в технологии переработки послеспиртовой барды / И.Н. Кузнецов, Н.С. Ручай // Труды БГТУ. Серия: Химия, технология органических веществ и биотехнология. – 2010. – Т. 1, №4. – С. 294–301.

31. Кухаренко, А.А. Безотходная биотехнология этилового спирта / А.А. Кухаренко, А.Ю. Винаров. – М.: Энергоатомиздат, 2001. – 272 с.

32. Курчевский, С.М. Роль агромелиоративных приемов в улучшении основных агрофизических свойств супесчаной дерново-подзолистой почвы / С.М. Курчевский, Д.В. Виноградов // Агропанорама. – 2013. – № 6. – С. 10–12.

33. Малюхин, Д.М. Экспериментальное задержание многолетними травами грунта техногенного из твёрдых бытовых/коммунальных отходов, используемого при рекультивации полигонов в качестве плодородного грунта / Д.М. Малюхин, В.А. Поздняков, Л.Г. Бакина [и др.] // Биосфера. – 2018. – №3. – С. 224–232.

34. Манеева, Э.Ш. Комплексное решение проблем производства высококачественного этилового спирта и утилизации послеспиртовой барды / Э.Ш. Манеева, А.В. Куприянов, В.П. Попов, В.Л. Касперович // Техника и технологии пищевых производств. – 2000. – С. 122–126.

35. Матюхин, М.С. Опыт утилизации осадка сточных вод / М.С. Матюхин, С.Д. Карякина, Ю.А. Мажайский, А.В. Карякин // Плодородие. – 2018. – №4(103). – С. 56–58.

36. Минникова, Т.В. Влияние технологии No-Till на нитрифицирующую активность черноземов Ростовской области / Т.В. Минникова, Г.В. Мокриков, К.Ш. Казеев, Ю.В. Акименко, С.И. Колесников // Агрохимия. – 2017. – № 9. – С. 33–38. – DOI: 10.7868/S0002188117090034.

37. Миронов, В.В. Биотермокомпостирование органических отходов / В.В. Миронов, А.А. Седых, А.В. Миронов, К.В. Палюткина // Техника и технологии в животноводстве. – 2019. – №4(36). – С. 37–44.

38. Мочалова, Л.А. Система обращения с твёрдыми коммунальными отходами: зарубежный и отечественный опыт / Л.А. Мочалова, Д.А. Гриненко, В.В. Юрак // Известия УГГУ. – 2017. – Вып. 3(47). – С. 97–101. – DOI: 10.21440/2307-2091-2017-3-97-101.

39. Новиков, В.Б. Барда в законе / В.Б. Новиков, С.В. Зверев // Производство спирта и ликёроводочных изделий. – 2007. – №2. – С. 20–23.

40. Нуртдинов, М.Г. Экспериментальная оценка и обоснование безвредности применения кормовых добавок в животноводстве / М.Г. Нуртдинов, В.В. Громаков, А.Е. Нефедьев [и др.] // Ветеринарный врач. – 2010. – №3. – С. 6–8.

41. Оверченко, М.Б. Исследование различных сортов тритикале для использования в спиртовом производстве / М.Б. Оверченко, М.И. Игнатова, Е.М. Серба [и др.] // Пиво и напитки. – 2014. – №6. – С. 14–18.

42. Павленков, М.Н. Проблемы развития сферы твёрдых коммунальных отходов муниципального образования / М.Н. Павленков, П.М. Воронин // Вестник Кемеровского государственного университета. Серия: Политические,

социологические и экономические науки. – 2018. – №3. – С. 130–139. – DOI: 10.21603/2500-3372-2018-3-130-139.

43. Паршикова, М.В. Методика проведения экспериментальных исследований по получению почвогрунта и компоста из осадков сточных вод и отходов животноводства / М.В. Паршикова, К.А. Кузнецов, З.Р. Муфтахутдинова, С.Г. Паршиков // Вестник НГИЭИ. – 2024. – №4(155). – С. 50–61.

44. Пат. № 159395 СССР. Способ получения концентрированных кормов из отходов свеклосахарного и спиртового производства / Н.Г. Глинкин, Д.Н. Педан, В.И. Чопик. – 1963.

45. Пат. № 2159287 РФ. Способ получения белковой кормовой добавки / А.Ю. Винаров, А.И. Заикина, А.П. Захарычев [и др.]. – 2000.

46. Пат. № 2203315 РФ. Способ производства белково-витаминного корма / Л.В. Римарева, Т.И. Лозанская, Н.М. Худякова. – 2012.

47. Пат. № 2259394 РФ. Способ переработки спиртовой барды / В.Т. Кравченко, А.А. Антонюк, Л.А. Воропанова [и др.]. – 2003.

48. Пат. № 2554491 РФ. Способ утилизации спиртовой барды из зернового сырья / В.А. Доморацкий, Е.И. Култыгин, В.И. Винокуров. – 2014.

49. Пат. № 2590600 РФ. Способ утилизации спиртовой барды из зернового сырья / В.А. Доморацкий, Е.И. Култыгин, В.И. Винокуров. – 2014.

50. Пат. № 2681295 РФ. Способ получения корма на основе утилизированной спиртовой барды / Т.Х. Кабалоев, С.А. Бекузарова, Б.С. Калоев, Т.О. Томаев. – 2018.

51. Пат. № 614784 СССР. Способ получения белково-витаминных добавок из отходов ацетонобутилового и спиртового производства / Ф.П. Бабаков, Ф.М. Пухилевич, Я.А. Клименко. – 1978.

52. Пахненко, Е.П. Осадки сточных вод и другие нетрадиционные органические удобрения / Е.П. Пахненко. – 3-е изд. – М.: БИНОМ, 2015. – 314 с.

53. Попов, Д.С. Производство ректификационного этилового спирта из крахмалосодержащего сырья / Д.С. Попов // Академическая публицистика. – 2021. – №6. – С. 62–83.

54. Приказ Федеральной службы по регулированию алкогольного рынка от 17 декабря 2020 г. № 400 «Порядок полной переработки барды (основного отхода спиртового производства)».

55. Работнов, Т.А. Фитоценология / Т.А. Работнов. – М.: Изд-во МГУ, 1992. – 352 с.

56. Сайфуллина, Л.Б. Формирование азотного режима в паровых полях степной зоны Нижнего Поволжья / Л.Б. Сайфуллина, Ю.Ф. Курдюков, Г.В. Шубитидзе, О.А. Воронцова // Успехи современного естествознания. – 2018. – № 5. – С. 50–56.

57. Свод правил СП 502.1325800.2021. Инженерно-экологические изыскания для строительства. Общие правила производства работ. – М., 2021.

58. Севостьянов, С.М. Компостирование обработанных аминокислотными реагентами осадков сточных вод / С.М. Севостьянов, Д.В. Дёмин, И.В. Татаркин // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2013. – Т. 15, №3(4). – С. 1432–1435.

59. Соломин, И.А. Организация системы управления муниципальными органическими отходами / И.А. Соломин // Природообустройство. – 2019. – №2. – С. 60–65.

60. Субракова, Л.К. Экономика обращения с пищевыми отходами в России / Л.К. Субракова // Вестник ВГУ. Серия: Экономика и управление. – 2021. – №1. – С. 37–48.

61. Тавадзе, Б.Д. Применение биоремедиации в лабораторных условиях для очистки почв, загрязненных нефтепродуктами, и её экономическая эффективность / Б.Д. Тавадзе, Е.В. Белокурова // Успехи современного естествознания. – 2024. – №5. – С. 84–89. – DOI: 10.17513/use.38270.

62. Тен Хак Мун. Влияние условий компостирования осадков сточных вод на рост кишечных палочек / Тен Хак Мун, Г.Н. Ганин, О.А. Кириенко // Гигиена и санитария. – 2010. – №2. – С. 26–28.

63. Трофимов, В.Т. Эколого-геологическая система, ее типы и положение в структуре экосистемы / В.Т. Трофимов // Вестник Московского университета. Серия 4: Геология. – 2009. – № 2. – С. 48–52.

64. Федеральная служба по регулированию алкогольного рынка. Основные показатели, характеризующие рынок алкогольной продукции в 2022–2024 годах: статистический сборник. – URL: https://fsrar.gov.ru/files/35328_статсборник%20rap_2022-2024.pdf (дата обращения: 10.10.2025).

65. Чекаев, Н.П. Изменение свойств чернозёма выщелоченного под действием компостов из осадков сточных вод / Н.П. Чекаев // Нива Поволжья. – 2010. – №1. – С. 31–34.

66. Чертес, К.Л. Интенсификация биотермической обработки осадков сточных вод / К.Л. Чертес, А.К. Стрелков, А.П. Смородин // Водоснабжение и санитарная техника. – 1991. – №4. – С. 45–49.

67. Чертес, К.Л. Утилизация осадков сточных вод в качестве материала для изоляции ТБО / К.Л. Чертес, А.К. Стрелков, Д.Е. Быков, Д.И. Тараканов // Водоснабжение и санитарная техника. – 2001. – №6. – С. 36–38.

68. Шилова, К.М. Промышленные отходы в виде спиртовой барды и перспективы её использования в сельском хозяйстве в качестве органического удобрения / К.М. Шилова, Н.И. Шилова // Вестник ОмГАУ. – 2016. – №2(22). – С. 81–85.

69. Якимов, А.В. Эффективность замены в рационах дойных коров подсолнечникового шрота сухой спиртовой бардой в сочетании с ферментным препаратом / А.В. Якимов, М.Г. Нуртдинов, В.В. Громаков, А.И. Рахматуллин // Учёные записки Казанской государственной академии ветеринарной медицины им. Н.Э. Баумана. – 2012. – Т. 212. – С. 446–449.

70. Яшкина, А.А. Агрехимические показатели компостов на основе осадков сточных вод, полученных при добавлении различных наполнителей / А.А. Яшкина, О.А. Федорова, Е.А. Кирдишова // Проблемы региональной экологии. – 2018. – №1. – С. 45–49.

71. Abu Qdais, H.A. Enhancement of carbon and nitrogen transformations during composting of municipal solid waste / H.A. Abu Qdais, M.F. Hamoda // Journal of Environmental Science and Health. – 2004. – Vol. 39. – P. 409–420. – DOI: 10.1081/ESE-120027539.

72. Albrecht, A. Detection of airborne microbes in a composting facility by cultivation-based and cultivation-independent methods / A. Albrecht, R. Witzemberger, U. Bernzen, U. Jackel // Annals of Agricultural and Environmental Medicine. – 2007. – Vol. 14. – P. 81–85.

73. Antunes, L.P. Microbial community structure and dynamics in thermophilic composting viewed through metagenomics and metatranscriptomics / L.P. Antunes, L.F. Martins, R.V. Pereira [et al.] // Scientific Reports. – 2016. – Vol. 6(1). – Art. no. 38915. – DOI: 10.1038/srep38915.

74. Awasthi, M.K. Evaluation of thermophilic fungal consortium for organic municipal solid waste composting / M.K. Awasthi, A.K. Pandey, J. Khan [et al.] // Bioresource Technology. – 2014. – Vol. 168. – P. 214–221. – DOI: 10.1016/j.biortech.2014.01.048.

75. Barlaz, M.A. Microbiology of Solid Waste / M.A. Barlaz, A.C. Palmisano (eds.). – 1st ed. – Boca Raton: CRC Press, 1996. – DOI: 10.1201/9780138747268.

76. Barrena Gómez, R. The use of respiration indices in the composting process: a review / R. Barrena Gómez, F. Vázquez Lima, A. Sánchez Ferrer // Waste Management Research. – 2006. – Vol. 24(1). – P. 37–47. – DOI: 10.1177/0734242X06062385.

77. Barthod, J. Composting with additives to improve organic amendments. A review / J. Barthod, C. Rumpel, M.F. Dignac // Agronomy for Sustainable Development. – 2018. – Vol. 38. – Art. no. 17. – DOI: 10.1007/s13593-018-0491-9.

78. Bernal, M.P. Composting of animal manures and chemical criteria for compost maturity assessment. A review / M.P. Bernal, J.A. Albuquerque, R. Moral // *Bioresource Technology*. – 2009. – Vol. 100. – P. 5444–5453. – DOI: 10.1016/j.biortech.2008.11.027.

79. Bernal, M.P. Maturity and stability parameters of compost prepared with a wide range of organic wastes / M.P. Bernal, C. Paredes, M.A. Sánchez-Monedero, J. Cegarra // *Bioresource Technology*. – 1998. – Vol. 63. – P. 91–99. – DOI: 10.1016/S0960-8524(97)00084-9.

80. Borges Silva, L. Composting of distillery spent wash / L. Borges Silva, L. Kardos // *Journal of Environmental Geography*. – 2024. – Vol. 17. – P. 15–28. – DOI: 10.14232/jengeo-2024-44674.

81. Burg, P. Evaluating of selected parameters of composting process by composting of grape pomace / P. Burg, Z. Pavel, M. Milan // *Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis*. – 2014. – Vol. 59. – P. 75–80. – DOI: 10.11118/actaun201159060075.

82. Bustamante, M.A. Evolution of the pathogen content during co-composting of winery and distillery wastes / M.A. Bustamante, R. Moral, C. Paredes [et al.] // *Bioresource Technology*. – 2008. – Vol. 99(15). – P. 7299–7306. – DOI: 10.1016/j.biortech.2007.12.051.

83. Bustamante, M.A. Study of the composting process of winery and distillery wastes using multivariate techniques / M.A. Bustamante, C. Paredes, J. Morales [et al.] // *Bioresource Technology*. – 2009. – Vol. 100, iss. 20. – P. 4766–4772. – DOI: 10.1016/j.biortech.2009.04.033.

84. Byeon, J.H. Size distributions of total airborne particles and bioaerosols in a municipal composting facility / J.H. Byeon, C.W. Park, K.Y. Yoon [et al.] // *Bioresource Technology*. – 2008. – Vol. 99. – P. 5150–5154. – DOI: 10.1016/j.biortech.2007.09.014.

85. Cao, X. Municipal solid waste compost: Global trends and biogeochemical cycling / X. Cao, P.N. Williams, Y. Zhan [et al.] // *Soil &*

Environmental Health. – 2023. – Vol. 1, iss. 4. – Art. no. 100038. – DOI: 10.1016/j.seh.2023.100038.

86. Carvalho, M. Acinetobacter / M. Carvalho, T. Bento de Carvalho, J.B. Barbosa [et al.] // Encyclopedia of Food Safety. – 2nd ed. – 2024. – P. 58–67. – DOI: 10.1016/B978-0-12-822521-9.00212-4.

87. Chefetz, B. Chemical and biological characterization of organic matter during composting of municipal solid waste / B. Chefetz, P.G. Hatcher, Y. Hadar, Y. Chen // Journal of Environmental Quality. – 1996. – Vol. 25. – P. 776–785. – DOI: 10.2134/jeq1996.00472425002500040018x.

88. Chen, M. Bioremediation of soils contaminated with polycyclic aromatic hydrocarbons, petroleum, pesticides, chlorophenols and heavy metals by composting: applications, microbes and future research needs / M. Chen, P. Xu, G.M. Zeng [et al.] // Biotechnology Advances. – 2015. – Vol. 33. – P. 745–755. – DOI: 10.1016/j.biotechadv.2015.05.003.

89. Chowdhary, P. Environmental pollution and health hazards from distillery wastewater and treatment approaches to combat the environmental threats: a review / P. Chowdhary, A. Raj, R.N. Bharagava // Chemosphere. – 2018. – Vol. 194. – P. 229–246. – DOI: 10.1016/j.chemosphere.2017.11.163.

90. De Gannes, V. Insights into fungal communities in composts revealed by 454-pyrosequencing: implications for human health and safety / V. De Gannes, G. Eudoxie, W.J. Hickey // Frontiers in Microbiology. – 2013. – Vol. 4. – Art. no. 164. – DOI: 10.3389/fmicb.2013.00164.

91. Dias, B.O. Use of biochar as bulking agent for the composting of poultry manure: effect on organic matter degradation and humification / B.O. Dias, C.A. Silva, F.S. Higashikawa [et al.] // Bioresource Technology. – 2010. – Vol. 101. – P. 1239–1246. – DOI: 10.1016/j.biortech.2009.09.024.

92. Dien, B.S. Enzyme characterization for hydrolysis of AFEX and liquid hot-water pretreated distillers' grains and their conversion to ethanol / B.S. Dien, E.A. Ximenes, P.J. O'Bryan [et al.] // Bioresource Technology. – 2008. – Vol. 99. – P. 5216–5225. – DOI: 10.1016/j.biortech.2007.09.051.

93. Ding, K. Soil type affects partitioning of ruminant urine-15N due to variation in nitrification potential, immobilisation and drainage under autumn-winter conditions / K. Ding, J. Luo, T.J. Clough [et al.] // *Soil Biology and Biochemistry*. – 2025. – Vol. 205. – Art. no. 109782. – DOI: 10.1016/j.soilbio.2025.109782.

94. Dumontet, S. Pathogen reduction in sewage sludge by composting and other biological treatments: A review / S. Dumontet, H. Dinel, S.B. Baloda // *Biological Agriculture & Horticulture*. – 1999. – Vol. 16(4). – P. 409–430. – DOI: 10.1080/01448765.1999.9755243.

95. Farrell, M. Critical evaluation of municipal solid waste composting and potential compost markets / M. Farrell, D.L. Jones // *Bioresource Technology*. – 2009. – Vol. 100(19). – P. 4301–4310. – DOI: 10.1016/j.biortech.2009.04.029.

96. Feritas, J.F. Genomic and phenotypic characterization of novel *Ochrobactrum* species isolated from Brazilian oil reservoirs: Genomic diversity and bioremediation potential / J.F. Feritas, D.F.L. Silva, J.N.F. Castro, L.F. Agnez-Lima // *Process Biochemistry*. – 2025. – Vol. 149. – P. 74–84. – DOI: 10.1016/j.procbio.2024.11.036.

97. Finstein, M.S. Microbiology of municipal solid waste composting / M.S. Finstein, M.L. Morris // *Advances in Applied Microbiology*. – 1975. – Vol. 19. – P. 113–151. – DOI: 10.1016/S0065-2164(08)70427-1.

98. Fürhacker, M. Composting of sewage sludge in a rotating vessel / M. Fürhacker, R. Haberl // *Water Science and Technology*. – 1995. – Vol. 32(11). – P. 121–125. – DOI: 10.2166/wst.1995.0418.

99. Gao, M. Evaluation of stability and maturity during forced-aeration composting of chicken manure and sawdust at different C/N ratios / M. Gao, F. Liang, A. Yu [et al.] // *Chemosphere*. – 2010. – Vol. 78(5). – P. 614–619. – DOI: 10.1016/j.chemosphere.2009.10.056.

100. Gill, S.S. Aerobic bacterial degradation of kitchen waste: A review / S.S. Gill, A.M. Jana, A. Shrivastav // *Journal of Microbiology, Biotechnology and Food Sciences*. – 2014. – Vol. 3(6). – P. 477–483.

101. Gómez-Brandón, M. Recycling and valorization of distilled grape marc through vermicomposting: a pilot-scale study / M. Gómez-Brandón, M. Lores, J. Domínguez // *Journal of Material Cycles and Waste Management*. – 2023. – Vol. 25(3). – P. 1509–1518. – DOI: 10.1007/s10163-023-01627-6.

102. Grewal, S.K. Persistence of *Listeria* and *Salmonella* during swine manure treatment / S.K. Grewal, S. Sreevatsan, F.C. Michel // *Compost Science & Utilization*. – 2007. – Vol. 15(1). – P. 53–62. – DOI: 10.1080/1065657X.2007.10702311.

103. Grigorevski de Lima, A.L. *Streptomyces drozdowiczii* cellulase production using agro-industrial by-products and its potential use in the detergent and textile industries / A.L. Grigorevski de Lima, R. Pires do Nascimento, E.P. da Silva Bon, R.R.R. Coelho // *Enzyme and Microbial Technology*. – 2005. – Vol. 37(2). – P. 272–277. – DOI: 10.1016/j.enzmictec.2005.03.016.

104. Guo, R. Effect of aeration rate, C/N ratio and moisture content on the stability and maturity of compost / R. Guo, G. Li, T. Jiang [et al.] // *Bioresource Technology*. – 2012. – Vol. 112. – P. 171–178. – DOI: 10.1016/j.biortech.2012.02.099.

105. Harada, Y. The measurement of the cation-exchange capacity of composts for estimation of degree of maturity / Y. Harada, A. Inoko // *Soil Science and Plant Nutrition*. – 1980. – Vol. 26. – P. 127–134. – DOI: 10.1080/00380768.1980.10433219.

106. Hassen, A. Microbial characterization during composting of municipal solid waste / A. Hassen, K. Belguith, N. Jedidi [et al.] // *Bioresource Technology*. – 2001. – Vol. 80, iss. 3. – P. 217–225. – DOI: 10.1016/S0960-8524(01)00065-7.

107. Haug, R.T. *The Practical Handbook of Compost Engineering* / R.T. Haug. – Boca Raton: Routledge, 1993. – DOI: 10.1201/9780203736234.

108. He, X.T. Physical and chemical characteristics of selected U.S. municipal solid waste composts / X.T. He, T.J. Logan, S.J. Traina // *Journal of Environmental Quality*. – 1995. – Vol. 24(3). – P. 543–552. – DOI: 10.2134/jeq1995.00472425002400030022x.

109. Hernandez, T. The effects on soil aggregation and carbon fixation of different organic amendments for restoring degraded soil in semiarid areas / T. Hernandez, M.C. Hernandez, C. Garcia // *European Journal of Soil Science*. – 2017. – Vol. 68(6). – P. 941–950. – DOI: 10.1111/ejss.12474.

110. Hrčka, M. Changes in the content of emerging pollutants and potentially hazardous substances during vermi/composting of a mixture of sewage sludge and moulded pulp / M. Hrčka, T. Hřebečková, A. Hanč [et al.] // *Environmental Pollution*. – 2024. – Vol. 348. – Art. no. 123736. – DOI: 10.1016/j.envpol.2024.123736.

111. Hue, N.V. Predicting compost stability / N.V. Hue, J. Liu // *Compost Science and Utilisation*. – 1995. – Vol. 3(2). – P. 8–15. – DOI: 10.1080/1065657X.1995.10701777.

112. Iglesias Jiménez, E. Determination of maturity indexes for city refuse composts / E. Iglesias Jiménez, V. Pérez García // *Agriculture, Ecosystems and Environment*. – 1992. – Vol. 38. – P. 331–343. – DOI: 10.1016/0167-8809(92)90154-4.

113. Iqbal, M.K. Characterization of bulking agents and its effects on physical properties of compost / M.K. Iqbal, T. Shafiq, K. Ahmed // *Bioresource Technology*. – 2010. – Vol. 101(6). – P. 1913–1919. – DOI: 10.1016/j.biortech.2009.10.030.

114. Jara-Samaniego, J. Composting as sustainable strategy for municipal solid waste management in the Chimborazo Region, Ecuador / J. Jara-Samaniego, M.D. Pérez-Murcia, M.A. Bustamante [et al.] // *Journal of Cleaner Production*. – 2017. – Vol. 141. – P. 1349–1358. – DOI: 10.1016/j.jclepro.2016.09.178.

115. Jiang, W. Isolation of phloridzin-degrading, IAA-producing bacterium *Ochrobactrum haematophilum* and its effects on the apple replant soil environment / W. Jiang, R. Chen, Ya. Duan [et al.] // *Horticultural Plant Journal*. – 2023. – Vol. 9, iss. 2. – P. 199–208. – DOI: 10.1016/j.hpj.2022.08.010.

116. Jin, C. Evaluation of MODIS-based Vegetation Restoration After the 2008 Wenchuan Earthquake / C. Jin, K. Yu, K. Zhang // *E3S Web of Conferences*. – 2021. – Vol. 308. – Art. no. 02005. – DOI: 10.1051/e3sconf/202130802005.

117. Jordao, C.P. Heavy metal availability in soil amended with composted urban solid wastes / C.P. Jordao, C.C. Nascentes, P.R. Cecon [et al.] // *Environmental Monitoring and Assessment*. – 2006. – Vol. 112. – P. 309–326. – DOI: 10.1007/s10661-006-1072-y.

118. Kits, K.D. Kinetic analysis of a complete nitrifier reveals an oligotrophic lifestyle / K.D. Kits, C.J. Sedlacek, E.V. Lebedeva [et al.] // *Nature*. – 2017. – Vol. 549. – P. 269–272. – DOI: 10.1038/nature23679.

119. Komilis, D.P. Emission of volatile organic compounds during composting of municipal solid wastes / D.P. Komilis, R.K. Ham, J.K. Park // *Water Research*. – 2004. – Vol. 38. – P. 1707–1714. – DOI: 10.1016/j.watres.2003.12.039.

120. Kosobucki, P. Sewage sludge composting / P. Kosobucki, A. Chmarzyński, B. Buszewski // *Polish Journal of Environmental Studies*. – 2000. – Vol. 9, no. 4. – P. 243–248.

121. Kozlovskaya, O. To the condition of the territory of unauthorised disposal of alcohol production waste / O. Kozlovskaya, V. Ilyina, A. Mitroshenkova [et al.] // *E3S Web of Conferences*. RSE-III-2024. – 2024. – Vol. 539. – Art. no. 01042. – DOI: 10.1051/e3sconf/202453901042.

122. Kulcu, R. Determination of aeration rate and kinetics of composting some agricultural wastes / R. Kulcu, O. Yaldiz // *Bioresource Technology*. – 2004. – Vol. 93(1). – P. 49–57. – DOI: 10.1016/j.biortech.2003.10.022.

123. Kumar, S. Composting of municipal solid waste / S. Kumar // *Critical Reviews in Biotechnology*. – 2011. – Vol. 31(2). – P. 112–136. – DOI: 10.3109/07388551.2010.492207.

124. Lei, H. Microwave pyrolysis of distillers dried grain with solubles (DDGS) for biofuel production / H. Lei, S. Ren, L. Wang [et al.] // *Bioresource Technology*. – 2011. – Vol. 102(10). – P. 6208–6213. – DOI: 10.1016/j.biortech.2011.02.050.

125. Li, G. Chemical evaluation of sewage sludge composting as a mature indicator for composting process / G. Li, F. Zhang, Y. Sun [et al.] // *Water, Air & Soil Pollution*. – 2001. – Vol. 132. – P. 333–345. – DOI: 10.1023/A:1013254815976.

126. Li, X.J. Characteristics of dairy manure composting with rice straw / X.J. Li, R.H. Zhang, Y.Z. Pang // *Bioresource Technology*. – 2008. – Vol. 99(2). – P. 359–367. – DOI: 10.1016/j.biortech.2006.12.009.

127. Liu, Y.H. Step enzymatic hydrolysis of sodium hydroxide-pretreated Chinese liquor distillers' grains for ethanol production / Y.H. Liu, Z.Y. Wu, J. Yang [et al.] // *Preparative Biochemistry and Biotechnology*. – 2014. – Vol. 44(5). – P. 464–479. – DOI: 10.1080/10826068.2013.833113.

128. Lodge, S.L. Evaluation of corn and sorghum distillers byproducts / S.L. Lodge, R.A. Stock, T.J. Klopfenstein [et al.] // *Journal of Animal Science*. – 1997. – Vol. 75(1). – P. 37–43. – DOI: 10.2527/1997.75137x.

129. Mao, L.F. Critical components of odors in evaluating the performance of food waste composting plants / L.F. Mao, C.J. Tsai, D.H. Shen [et al.] // *Science of the Total Environment*. – 2006. – Vol. 370. – P. 323–329. – DOI: 10.1016/j.scitotenv.2006.06.016.

130. Marhuenda-Egea, F.C. Dissolved organic matter fractions formed during composting of winery and distillery residues / F.C. Marhuenda-Egea, E. Martínez-Sabater, J. Jordá [et al.] // *Chemosphere*. – 2007. – Vol. 68. – P. 301–309. – DOI: 10.1016/j.chemosphere.2006.12.072.

131. Maulini-Duran, C. Gaseous emissions in municipal wastes composting: effect of the bulking agent / C. Maulini-Duran, A. Artola, X. Font, A. Sánchez // *Bioresource Technology*. – 2014. – Vol. 172. – P. 260–268. – DOI: 10.1016/j.biortech.2014.09.050.

132. Meena, M.D. Maturity indices as an index to evaluate the quality of sulphur enriched municipal solid waste compost / M.D. Meena, M.L. Dotaniya, M.K. Meena [et al.] // *Waste Management*. – 2021. – Vol. 126. – P. 180–190. – DOI: 10.1016/j.wasman.2021.03.004.

133. Moyroud, N. Introduction to QGIS / N. Moyroud, F. Portet // *QGIS and Generic Tools 1*. – 2018. – P. 1–17.

134. Mujumdar, S. Acinetobacter: A versatile plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR) / S. Mujumdar, J. Bhoyar, A. Akkar [et al.] // *Plant-Microbe*

Interaction – Recent Advances in Molecular and Biochemical Approaches. Vol. 1. – 2023. – P. 327–362. – DOI: 10.1016/B978-0-323-91875-6.00009-8.

135. Myneni, R.B. The interpretation of spectral vegetation indexes / R.B. Myneni, F.G. Hall, P.J. Sellers, A.L. Marshak // IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing. – 1995. – Vol. 33, no. 2. – P. 481–486. – DOI: 10.1109/TGRS.1995.8746029.

136. Nafez, A.H. Sewage sludge composting: quality assessment for agricultural application / A.H. Nafez, M. Nikaen, S. Kadkhodaie [et al.] // Environmental Monitoring and Assessment. – 2015. – Vol. 187. – Art. no. 709. – DOI: 10.1007/s10661-015-4940-5.

137. Nelson, K.A. Utility of dried distillers grain as a fertilizer source for corn / K.A. Nelson, P.P. Motavalli, R.L. Smoot // Journal of Agricultural Science. – 2009. – Vol. 1(1). – P. 3–12. – DOI: 10.5539/jas.v1n1p3.

138. Nogales, R. Vermicomposting of winery wastes: a laboratory study / R. Nogales, C. Cifuentes, E. Benítez // Journal of Environmental Science and Health. Part B. – 2005. – Vol. 40(4). – P. 659–673. – DOI: 10.1081/PFC-200061595.

139. Pearson, C. Exposures and health outcomes in relation to bioaerosol emissions from composting facilities: a systematic review / C. Pearson, E. Littlewood, P. Douglas [et al.] // Journal of Toxicology and Environmental Health. Part B. – 2015. – Vol. 18(1). – P. 43–69. – DOI: 10.1080/10937404.2015.1009961.

140. Rasapoor, M. The effects of aeration rate on generated compost quality, using aerated static pile method / M. Rasapoor, T. Nasrabadi, M. Kamali, H. Hoveidi // Waste Management. – 2009. – Vol. 29(2). – P. 570–573. – DOI: 10.1016/j.wasman.2008.04.012.

141. Romero, E. Humic acid-like fractions in raw and vermicomposted winery and distillery wastes / E. Romero, C. Plaza, N. Senesi [et al.] // Geoderma. – 2007. – Vol. 139(3–4). – P. 397–406. – DOI: 10.1016/j.geoderma.2007.03.009.

142. Ruggieri, L. Performance of different systems for the composting of the source-selected organic fraction of municipal solid waste / L. Ruggieri, T. Gea, M.

Mompeó [et al.] // *Biosystems Engineering*. – 2008. – Vol. 101, iss. 1. – P. 78–86. – DOI: 10.1016/j.biosystemseng.2008.05.014.

143. Ryan, M.P. The genus *Ochrobactrum* as major opportunistic pathogens / M.P. Ryan, J.T. Pembroke // *Microorganisms*. – 2020. – Vol. 8, no. 11. – Art. no. 1797. – DOI: 10.3390/microorganisms8111797.

144. Rynk, R. Compost feedstocks / R. Rynk, M. Schwarz, T.L. Richard [et al.] // *The Composting Handbook*. – Academic Press, 2022. – P. 103–157. – DOI: 10.1016/B978-0-323-85602-7.00005-4.

145. Said-Pullicino, D. Changes in the chemical characteristics of water-extractable organic matter during composting and their influence on compost stability and maturity / D. Said-Pullicino, F.G. Erriquens, G. Gigliotti // *Bioresource Technology*. – 2007. – Vol. 98, iss. 9. – P. 1822–1831. – DOI: 10.1016/j.biortech.2006.06.018.

146. Salis, L. Municipal solid waste compost use can improve crop barley production and enhance soil chemical fertility / L. Salis, A. Cabiddu, F. Sanna [et al.] // *European Journal of Agronomy*. – 2024. – Vol. 153. – Art. no. 127064. – DOI: 10.1016/j.eja.2023.127064.

147. Sánchez, Ó.J. Compost supplementation with nutrients and microorganisms in composting process / Ó.J. Sánchez, D.A. Ospina, S. Montoya // *Waste Management*. – 2017. – Vol. 69. – P. 136–153. – DOI: 10.1016/j.wasman.2017.08.012.

148. Saypariya, D.C. Composting of organic fraction of municipal solid waste in a three-stage biodegradable composter / D.C. Saypariya, D. Singh, A.K. Dikshit, M.B. Dangi // *Heliyon*. – 2024. – Vol. 10, iss. 17. – Art. no. e37444. – DOI: 10.1016/j.heliyon.2024.e37444.

149. Shou, Z. Buffering phosphate mitigates ammonia emission in sewage sludge composting / Z. Shou, N. Zhu, H. Yuan [et al.] // *Journal of Cleaner Production*. – 2019. – Vol. 227. – P. 189–198. – DOI: 10.1016/j.jclepro.2019.04.231.

150. Silva, A.C. Comparison of a variety of physico-chemical techniques in the chronological characterization of a compost from municipal wastes / A.C. Silva,

P. Rocha, J. Antelo [et al.] // *Process Safety and Environmental Protection*. – 2022. – Vol. 164. – P. 781–793. – DOI: 10.1016/j.psep.2022.06.057.

151. Singh, J. Bioremediation of distillery sludge into soil-enriching material through vermicomposting with the help of *Eisenia fetida* / J. Singh, A. Kaur, A.P. Vig // *Applied Biochemistry and Biotechnology*. – 2014. – Vol. 174(4). – P. 1403–1419. – DOI: 10.1007/s12010-014-1116-7.

152. Steger, K. Effects of differing temperature management on development of Actinobacteria populations during composting / K. Steger, Å. Jarvis, T. Vasara [et al.] // *Research in Microbiology*. – 2007. – Vol. 158(7). – P. 617–624. – DOI: 10.1016/j.resmic.2007.05.006.

153. Sun, Z.-Y. Production of nitrate-rich compost from the solid fraction of dairy manure by a lab-scale composting system / Z.-Y. Sun, J. Zhang, X.-Z. Zhong [et al.] // *Waste Management*. – 2016. – Vol. 51. – P. 55–64. – DOI: 10.1016/j.wasman.2016.03.002.

154. Sykes, P. Managing the potential public health risks from bioaerosol liberation at commercial composting sites in the UK / P. Sykes, K. Jones, J.D. Wildsmith // *Resources, Conservation and Recycling*. – 2007. – Vol. 52(2). – P. 410–424. – DOI: 10.1016/j.resconrec.2007.05.005.

155. Sykes, P. Workers' exposure to dust, endotoxin and β -(1–3) glucan at four large-scale composting facilities / P. Sykes, R.H.K. Morris, J.A. Allen [et al.] // *Waste Management*. – 2011. – Vol. 31(3). – P. 423–430. – DOI: 10.1016/j.wasman.2010.08.009.

156. Tian, X. The inoculation of thermophilic heterotrophic nitrifiers improved the efficiency and reduced ammonia emission during sewage sludge composting / X. Tian, W. Qin, Y. Zhang [et al.] // *Chemical Engineering Journal*. – 2024. – Vol. 479. – Art. no. 147237. – DOI: 10.1016/j.cej.2023.147237.

157. Tiquia, S.M. Dynamics of yard trimmings composting as determined by dehydrogenase activity, ATP content, arginine ammonification, and nitrification potential / S.M. Tiquia, J.H.C. Wan, N.F.Y. Tam // *Process Biochemistry*. – 2002. – Vol. 37. – P. 1057–1065. – DOI: 10.1016/S0032-9592(01)00317-X.

158. Tiwari, A. Spent-wash utilization in bio-composting: a sustainable solution / A. Tiwari, M.A. Khalid, M. Garg // *International Journal of Research and Analytical Reviews*. – 2019. – Vol. 6(2). – P. 399–404.

159. Tuomela, M. Biodegradation of lignin in a compost environment: a review / M. Tuomela // *Bioresource Technology*. – 2000. – Vol. 72(2). – P. 169–183. – DOI: 10.1016/S0960-8524(99)00104-2.

160. van Kampen, V. Concentration of bioaerosols in composting plants using different quantification methods / V. van Kampen, I. Sander, V. Liebers [et al.] // *Annals of Occupational Hygiene*. – 2014. – Vol. 58. – P. 693–706. – DOI: 10.1093/annhyg/meu023.

161. Vítková, M. Sustainable use of composted sewage sludge: Metal(loid) leaching behaviour and material suitability for application on degraded soils / M. Vítková, S. Zarzsevszkij, H. Šillerová [et al.] // *Science of the Total Environment*. – 2024. – Vol. 929. – Art. no. 172588. – DOI: 10.1016/j.scitotenv.2024.172588.

162. Vrablova, M. Co-composting of sewage sludge as an effective technology for the production of substrates with reduced content of pharmaceutical residues / M. Vrablova, K. Smutna, K. Chamradova [et al.] // *Science of the Total Environment*. – 2024. – Vol. 915. – Art. no. 169818. – DOI: 10.1016/j.scitotenv.2023.169818.

163. Wang, S.-P. Biochar addition reduces nitrogen loss and accelerates composting process by affecting the core microbial community during distilled grain waste composting / S.-P. Wang, L. Wang, Z.-Y. Sun [et al.] // *Bioresource Technology*. – 2021. – Vol. 337. – Art. no. 125492. – DOI: 10.1016/j.biortech.2021.125492.

164. Wang, S.-P. Aerobic composting of distilled grain waste eluted from a Chinese spirit-making process: The effects of initial pH adjustment / S.-P. Wang, X.-Z. Zhong, T.-T. Wang [et al.] // *Bioresource Technology*. – 2017. – Vol. 245, pt. A. – P. 778–785. – DOI: 10.1016/j.biortech.2017.08.178.

165. Wei, Y. Environmental challenges impeding the composting of biodegradable municipal solid waste: A critical review / Y. Wei, J. Li, D. Shi [et al.]

// Resources, Conservation and Recycling. – 2017. – Vol. 122. – P. 51–65. – DOI: 10.1016/j.resconrec.2017.01.024.

166. Wen, G. Aerobic denitrification performance of strain *Acinetobacter johnsonii* WGX-9 using different natural organic matter as carbon source / G. Wen, T. Wang, K. Li [et al.] // Water Research. – 2019. – Vol. 164. – Art. no. 114956. – DOI: 10.1016/j.watres.2019.114956.

167. Wery, N. Bioaerosols from composting facilities – a review / N. Wery // Frontiers in Cellular and Infection Microbiology. – 2014. – Vol. 4. – Art. no. 42. – DOI: 10.3389/fcimb.2014.00042.

168. Wu, L. Nitrogen removal by a novel heterotrophic nitrification and aerobic denitrification bacterium *Acinetobacter calcoaceticus* TY1 under low temperatures / L. Wu, X. Ding, Ya. Lin [et al.] // Bioresource Technology. – 2022. – Vol. 353. – Art. no. 127148. – DOI: 10.1016/j.biortech.2022.127148.

169. Xu, M. Mitigating greenhouse gas emission and enhancing fermentation by phosphorus slag addition during sewage sludge composting / M. Xu, B. Yu, Y. Chen [et al.] // Journal of Environmental Management. – 2024. – Vol. 370. – Art. no. 122740. – DOI: 10.1016/j.jenvman.2024.122740.

170. Yamamoto, N. Archaeal community dynamics and detection of ammonia-oxidizing archaea during composting of cattle manure using culture-independent DNA analysis / N. Yamamoto, R. Asano, H. Yoshii [et al.] // Applied Microbiology and Biotechnology. – 2011. – Vol. 90(4). – P. 1501–1510. – DOI: 10.1007/s00253-011-3153-2.

171. Yang, L. Excellent phenol removal ability of *Acinetobacter guillouiae* BY18 under different inorganic nitrogen conditions / L. Yang, T. He, M. Chen [et al.] // Environmental Technology & Innovation. – 2024. – Vol. 35. – Art. no. 103694. – DOI: 10.1016/j.eti.2024.103694.

172. Yañez, R. Influence of bulking agent on sewage sludge composting process / R. Yañez, J.L. Alonso, M.J. Díaz // Bioresource Technology. – 2009. – Vol. 100, iss. 23. – P. 5827–5833. – DOI: 10.1016/j.biortech.2009.05.073.

173. Yu, H. Bioelectrochemically-assisted anaerobic composting process enhancing compost maturity of dewatered sludge with synchronous electricity generation / H. Yu, J. Jiang, Q. Zhao [et al.] // *Bioresource Technology*. – 2015. – Vol. 193. – P. 1–7. – DOI: 10.1016/j.biortech.2015.06.057.

174. Zaleski, J.Z. Survival, growth, and regrowth of enteric indicator and pathogenic bacteria in biosolids, compost, soil, and land applied biosolids / J.Z. Zaleski, K.L. Josephson, C.P. Gerba, I.L. Pepper // *Journal of Residuals Science and Technology*. – 2005. – Vol. 2(1). – P. 49–63.

175. Zeng, G. Relative contributions of archaea and bacteria to microbial ammonia oxidation differ under different conditions during agricultural waste composting / G. Zeng, J. Zhang, Y. Chen [et al.] // *Bioresource Technology*. – 2011. – Vol. 102(19). – P. 9026–9032. – DOI: 10.1016/j.biortech.2011.07.076.

176. Zeng, J. Evaluation of an aerobic composting process for the management of Specified Risk Materials (SRM) / J. Zeng, G.W. Price, P. Arnold // *Journal of Hazardous Materials*. – 2012. – Vol. 219–220. – P. 260–266. – DOI: 10.1016/j.jhazmat.2012.03.077.

177. Zhang, C. Influence of microbial agents-loaded biochar on bacterial community assembly and heavy metals morphology in sewage sludge compost / C. Zhang, M. Zhou, H. Du [et al.] // *Bioresource Technology*. – 2025. – Vol. 419. – Art. no. 132070. – DOI: 10.1016/j.biortech.2025.132070.

178. Zhang, J. A comparison of different dilute solution explosions pretreatment for conversion of distillers' grains into ethanol / J. Zhang, W.X. Zhang, Z.Y. Wu [et al.] // *Preparative Biochemistry and Biotechnology*. – 2013. – Vol. 43(1). – P. 1–21. – DOI: 10.1080/10826068.2012.692345.

179. Zhang, S. Exploring the promoting effect of nitrilotriacetic acid on hydroxyl radical and humification during magnetite-amended composting of sewage sludge / S. Zhang, C. Song, L. Wang [et al.] // *Bioresource Technology*. – 2024. – Vol. 403. – Art. no. 130863. – DOI: 10.1016/j.biortech.2024.130863.

180. Zhao, T. Heterotrophic nitrification and aerobic denitrification by a novel *Acinetobacter* sp. TAC-1 at low temperature and high ammonia nitrogen / T. Zhao,

P. Chen, L. Zhang [et al.] // *Bioresource Technology*. – 2021. – Vol. 339. – Art. no. 125620. – DOI: 10.1016/j.biortech.2021.125620.

181. Zhao, X. The evolution of water extractable organic matter and its association with microbial community dynamics during municipal solid waste composting / X. Zhao, X. He, B. Xi [et al.] // *Waste Management*. – 2016. – Vol. 56. – P. 79–87. – DOI: 10.1016/j.wasman.2016.07.018.

182. Zmora-Nahum, S. Dissolved organic carbon (DOC) as a parameter of compost maturity / S. Zmora-Nahum, O. Markovitch, J. Tarchitzky, Y. Chen // *Soil Biology and Biochemistry*. – 2005. – Vol. 37. – P. 2109–2116. – DOI: 10.1016/j.soilbio.2005.03.013.

183. Zucconi, F. Evaluating toxicity of immature compost / F. Zucconi, A. Pera, M. Forte, M. de Bertoldi // *Biocycle*. – 1981. – Vol. 22. – P. 54–57.

ПРИЛОЖЕНИЕ 1 – СПУТНИКОВЫЕ СНИМКИ ОБЪЕКТОВ РАЗМЕЩЕНИЯ ОТХОДОВ



Тамбовская обл., с. Байловка



Тульская обл., г. Ефремов



Курская обл., п. Бекетовский



Воронежская обл., с. Красное



Курская обл., п. Тёткино



Тульская обл., п. Епифань



Воронежская область, п. Анна

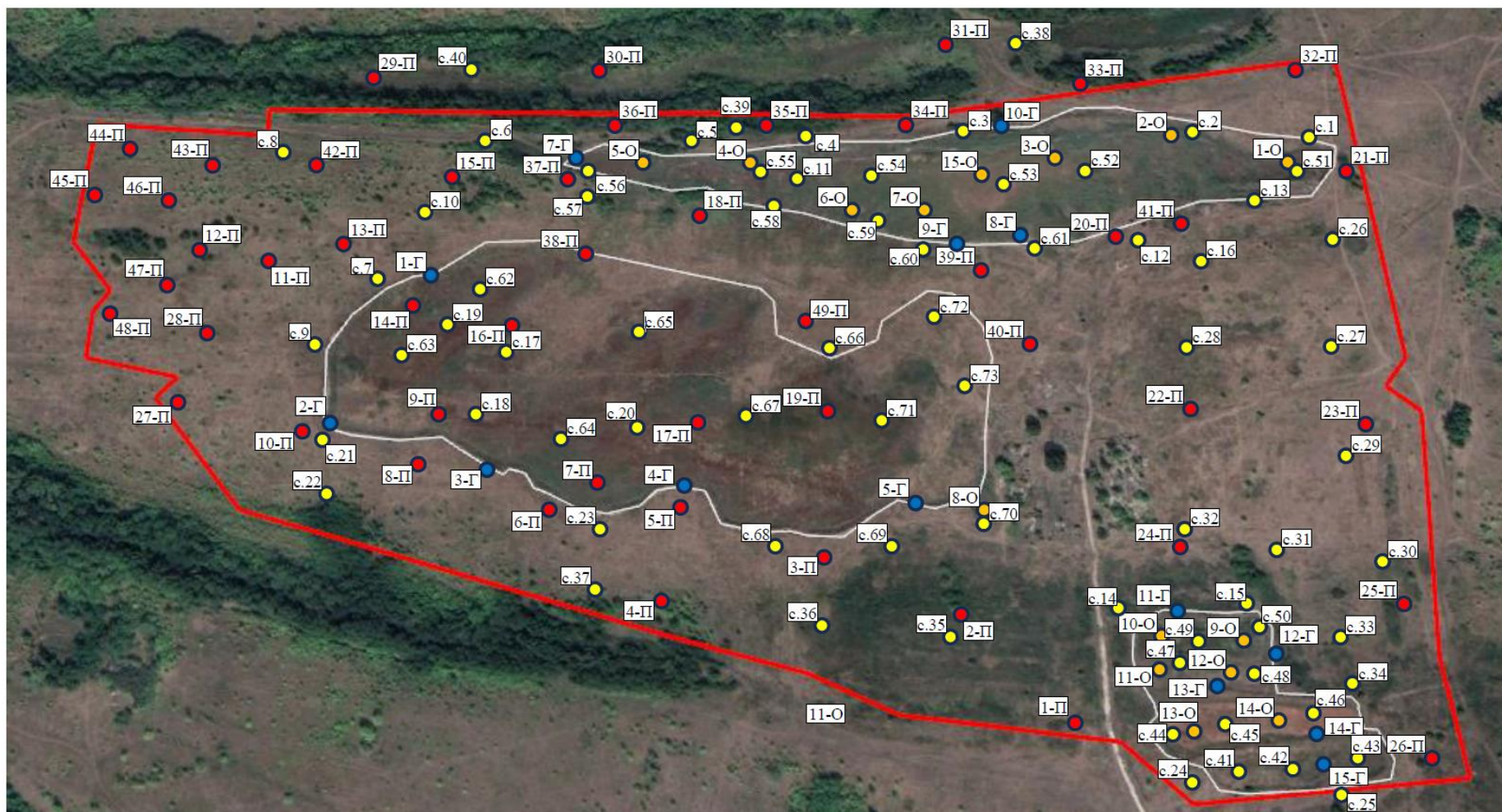


Тульская обл., п. Октябрьский



Респ. Мордовия, п. Ромоданово

ПРИЛОЖЕНИЕ 2 – КАРТА ОТБОРА ПРОБ



- - точка отбора проб почвы
- - точка отбора проб отходов
- - точка отбора проб грунтов с поверхности
- - точка отбора проб грунтов из скважин

ПРИЛОЖЕНИЕ 3 – РЕЗУЛЬТАТЫ ХИМИЧЕСКОГО АНАЛИЗА ПОЧВЫ

Показатель	Номер пробы																
	1-П	2-П	3-П	4-П	5-П	6-П	7-П	8-П	9-П	10-П	11-П	12-П	13-П	14-П	15-П	16-П	17-П
pH, ед. pH	7,13	5,99	6	7,23	5,94	6,64	7,07	7,1	6,65	6,86	7,32	6,78	7,1	6,78	6,58	5,84	5,8
Свинец (вал. форма), млн ⁻¹	17,61	22,31	8,61	15,56	25,8	20,45	22,57	20,3	29,61	21,29	27,51	21	23,38	22,97	4,4	26,08	18,15
Свинец (подв. форма), млн ⁻¹	2,46	2,76	1,29	1,97	4,61	1,88	3,98	2,45	3,41	2,2	2,19	2	2,16	2,22	0,8	2,5	1,06
Кадмий (валовая форма), млн ⁻¹	<0,25	<0,25	<0,25	<0,25	<0,25	<0,25	<0,25	<0,25	<0,25	<0,25	<0,25	<0,25	<0,25	<0,25	<0,25	<0,25	<0,25
Кадмий (подв. форма), млн ⁻¹	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Цинк (вал. форма), млн ⁻¹	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50
Цинк (подв. форма), млн ⁻¹	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
Медь (вал. форма), млн ⁻¹	21,31	16,65	27,59	26,57	31,8	19,96	26,48	22,19	36,87	29,15	41,28	32,9	32,28	19,84	29,54	25,75	49,21
Медь (подв. форма), млн ⁻¹	1,1	2,5	3,2	1,1	2,9	1,1	2,3	0,8	4,3	3,1	1,3	2,4	0,7	1,7	1,2	2,8	6,4
Никель (вал. форма), млн ⁻¹	2	1,2	1,9	1,7	2,5	<1,0	2,2	1,8	1,7	2,6	1,7	2,4	1,5	2,1	2,4	1,7	2,1
Никель (подв. форма), млн ⁻¹	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
Мышьяк, млн ⁻¹	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
Ртуть, млн ⁻¹	0,93	1,16	1,2	0,71	1,17	0,42	0,6	0,52	0,84	0,88	1,51	0,65	0,32	0,33	0,96	1,32	0,95
Марганец, млн ⁻¹	83,8	107,9	>130	81,7	109,7	71,2	68,7	>130	96,7	>130	72,2	>130	103,7	67	101,3	>130	89,3
Сера общая, млн ⁻¹	1043	1953	2795	1382	2150	1158	1701	1424	1611	1452	1303	1090	1653	1232	1344	1262	1654
Фосфор, млн ⁻¹	831	1184	1099	256	524	1369	499	701	552	1027	1421	580	1221	986	502	1026	255
Азот нитритный, млн ⁻¹	0,31	0,224	12,909	0,572	15,838	1,184	21,825	2,196	17,998	1,459	0,893	0,931	0,492	18,373	1,494	17,718	8,581
Азот нитратный, млн ⁻¹	20	32	45	20	46	24	39	20	40	14	23	12	14	48	19	82	64
Азот аммонийный, млн ⁻¹	227,6	699	214,8	261	510	319,9	385,4	322	476,7	287,4	235,8	178,7	386,7	287,1	313,6	343,9	392,5
Формальдегид, млн ⁻¹	7,73	21,09	22,33	13,52	24,75	18,01	9,28	10,04	17,99	14,22	11,78	19,61	8,34	17,55	10,69	23,16	34,24
Сульфат-ионы, млн ⁻¹	419	567	646	458	720	539	815	630	732	504	637	1316	706	866	686	756	437
Цианиды, млн ⁻¹	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
Фенол, млн ⁻¹	8,25	16,61	14,89	11,17	15,37	5,35	14,07	9,06	11,66	12,39	13,19	11,68	8,2	9,96	8,04	16,19	18,62
Сухой остаток, млн ⁻¹	3535	4596	4858	3407	4874	5692	2859	4431	4513	3687	2395	5116	3073	2759	4495	2775	3614
Нефтепродукты, млн ⁻¹	<20	72	42	21	37	25	<20	27	23	190	86	21	22	<20	21	48	41
Органическое вещество, %	5,8	6,6	8,1	5,4	6,2	5,7	6,4	4,5	4,9	3,7	6,8	5,2	4,4	6,2	5,7	8,7	9,4
Хлорид-ионы, млн ⁻¹	321	288	369	188	198	194	163	138	209	151	230	461	103	224	98	366	438
Натрий, млн ⁻¹	87	115	190	68	132	51	112	84	1044	51	59	123	57	99	78	175	113
Калий, млн ⁻¹	80	175	164	135	147	96	129	97	115	132	110	83	93	146	102	115	151

Показатель	Номер пробы																
	18-П	19-П	20-П	21-П	22-П	23-П	24-П	25-П	26-П	27-П	28-П	29-П	30-П	31-П	32-П	33-П	34-П
pH, ед. pH	5,74	6,01	5,61	6,58	5,77	6,64	5,77	6,3	6,62	7,26	6,96	7,1	6,81	7,33	6,07	6,62	5,75
Свинец (вал. форма), млн ⁻¹	22,8	23,44	18,74	16,1	19,49	15,83	23,5	27,9	25,52	17,7	16,97	21,47	29,65	27,46	25,7	21,57	20,73
Свинец (подв. форма), млн ⁻¹	1,9	2,32	2,15	1,54	2,13	1,67	1,68	2,01	1,76	3,33	1,91	1,34	1,51	1,56	1,9	2,08	2,01
Кадмий (валовая форма), млн ⁻¹	<0,25	<0,25	<0,25	<0,25	<0,25	<0,25	<0,25	<0,25	<0,25	<0,25	<0,25	<0,25	<0,25	<0,25	<0,25	<0,25	<0,25
Кадмий (подв. форма), млн ⁻¹	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Цинк (вал. форма), млн ⁻¹	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50
Цинк (подв. форма), млн ⁻¹	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
Медь (вал. форма), млн ⁻¹	33,9	27,41	24,6	26,72	23,25	21,07	21,34	29,7	20,63	23,78	19,81	18,3	23,72	25,63	12,3	10,77	21,88
Медь (подв. форма), млн ⁻¹	2,1	2,2	2,8	1,9	2,3	2,8	2,4	2,1	1,1	2,8	2,7	1,7	1,8	2,4	1,5	0,8	2,5
Никель (вал. форма), млн ⁻¹	1,7	<1	2	2,5	2	<1	<1	2,2	<1	1,8	2	<1	2	1,7	1,9	1,3	2,3
Никель (подв. форма), млн ⁻¹	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
Мышьяк, млн ⁻¹	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
Ртуть, млн ⁻¹	1,91	1,85	1,83	1,04	1,13	0,76	1,6	0,41	0,04	0,06	0,57	0,19	0,23	0,72	0,19	0,3	0,36
Марганец, млн ⁻¹	91,5	86,2	>130	112,5	>130	>130	73,3	70,3	>130	81,7	89,2	>130	117,1	76,1	>130	82,8	89,8
Сера общая, млн ⁻¹	1965	1818	2733	1722	2534	1040	2491	1033	1197	859	955	1344	1516	1674	1359	939	1678
Фосфор, млн ⁻¹	1075	567	280	807	1303	232	487	841	639	1180	1636	1067	595	395	709	676	841
Азот нитритный, млн ⁻¹	23,062	14,391	20,107	1,114	24,044	0,601	2,872	2,327	1,677	0,543	0,844	1,452	1,8	2,147	0,542	0,601	4,14
Азот нитратный, млн ⁻¹	52	74	51	19	31	20	35	22	19	24	21	20	17	21	39	14	39
Азот аммонийный, млн ⁻¹	614,7	495,7	1339,1	297,7	719,5	231	496,3	394	400,2	167,8	228,4	284,8	388	273,5	373,7	347,1	247,7
Формальдегид, млн ⁻¹	31,19	24,63	19,8	7,45	13,22	12,2	35,44	11,07	14,22	5,02	14,54	15,02	13,34	11,92	5,12	17,4	33,83
Сульфат-ионы, млн ⁻¹	700	1118	764	537	486	646	789	523	806	997	657	767	596	936	1036	445	740
Цианиды, млн ⁻¹	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
Фенол, млн ⁻¹	12,71	17,83	13,49	5,27	11,42	9,94	17,48	10,86	8,22	1,48	6,62	7,39	3,81	5,38	12,38	7,35	15,42
Сухой остаток, млн ⁻¹	5770	5397	7121	3378	3248	3200	3522	2574	2376	2914	3648	3596	3282	3762	5197	2109	4856
Нефтепродукты, млн ⁻¹	49	57	38	26	51	24	149	45	22	37	31	20	24	<20	<20	23	58
Органическое вещество, %	9	7,2	6,9	6,7	7,9	6,1	8,4	5,9	5,5	5,8	4,3	5,1	6,2	5,9	5,4	8,1	7,7
Хлорид-ионы, млн ⁻¹	175	309	1145	179	329	169	201	291	189	241	195	118	199	119	243	142	240
Натрий, млн ⁻¹	154	133	163	85	119	97	120	18	70	33	83	98	75	97	36	74	84
Калий, млн ⁻¹	168	118	62	193	101	110	153	31	63	91	110	98	82	102	71	104	177

Показатель	Номер пробы															
	35-П	36-П	37-П	38-П	39-П	40-П	41-П	42-П	43-П	44-П	45-П	46-П	47-П	48-П	49-П	50-П (фон)
pH, ед. pH	6,04	6	5,86	5,97	5,98	5,72	5,77	6,79	7,34	7,41	7,12	7,36	6,93	7,11	6,93	7,31
Свинец (вал. форма), млн ⁻¹	22,92	26	25,98	22,86	16,98	26,31	24,62	12,8	16,91	24,07	22,8	19,91	19,87	23,67	15,09	19,9
Свинец (подв. форма), млн ⁻¹	1,89	2,71	1,68	1,57	1,32	2,28	2,51	1,72	1,74	1,6	2,3	2,6	2,51	2,76	1,9	2,8
Кадмий (валовая форма), млн ⁻¹	<0,25	<0,25	<0,25	<0,25	<0,25	<0,25	<0,25	<0,25	<0,25	<0,25	<0,25	<0,25	<0,25	<0,25	<0,25	<0,25
Кадмий (подв. форма), млн ⁻¹	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Цинк (вал. форма), млн ⁻¹	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50
Цинк (подв. форма), млн ⁻¹	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
Медь (вал. форма), млн ⁻¹	29,93	27,42	14,35	22,61	25,39	20,64	26,47	6,49	27,17	21,68	13,8	30,14	17,79	28,62	27,67	17,3
Медь (подв. форма), млн ⁻¹	2,3	2,5	2,6	2,8	2,8	5,3	2,9	0,8	1,2	1,2	1,8	1,7	1,9	1,2	1,2	2,4
Никель (вал. форма), млн ⁻¹	1,1	2,2	1,9	<1	2	2,8	1,9	2,1	2	1	1,9	<1	2,6	2,1	<1	1,7
Никель (подв. форма), млн ⁻¹	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
Мышьяк, млн ⁻¹	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
Ртуть, млн ⁻¹	1,16	0,65	0,19	1,73	0,96	1,74	1,17	0,04	0,71	0,08	0,22	0,94	0,72	0,17	1,91	0,57
Марганец, млн ⁻¹	>130	81	104,2	>130	120,4	103,6	83	>130	69,7	82,9	103,2	>130	114,1	90,8	76,1	97,3
Сера общая, млн ⁻¹	1594	2008	2165	1545	1764	2884	1370	1320	1211	1047	737	848	969	707	1538	964
Фосфор, млн ⁻¹	1266	935	353	386	833	742	1001	271	537	839	479	708	602	761	459	705
Азот нитритный, млн ⁻¹	11,619	5,563	22,048	12,735	8,394	10,541	8,166	0,43	1,244	0,39	0,521	0,718	0,569	0,428	9,115	0,637
Азот нитратный, млн ⁻¹	35	80	58	57	64	82	63	23	27	26	20	23	18	26	25	14
Азот аммонийный, млн ⁻¹	510,5	665	533	776,7	791,5	718	782,5	316,8	409,5	153,7	153,9	156,8	120,4	196,5	550,7	211,8
Формальдегид, млн ⁻¹	47,94	19,37	25,83	17,57	20,98	50,16	28,62	17,13	14,86	5,59	4,35	5,98	4,78	4,88	12,88	3,56
Сульфат-ионы, млн ⁻¹	562	436	884	854	621	533	776	785	869	606	467	621	664	581	1047	403
Цианиды, млн ⁻¹	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
Фенол, млн ⁻¹	8,35	17,38	12,96	15,99	6,82	8,94	10,96	6,68	4,76	2,42	3,48	1,92	1,26	2,34	21,6	2,08
Сухой остаток, млн ⁻¹	5319	5778	3595	3480	3169	4844	4363	3609	2322	2356	1867	1765	1395	1627	2661	1483
Нефтепродукты, млн ⁻¹	33	50	44	34	43	33	95	26	17	31	73	28	120	27	117	31
Органическое вещество, %	8,4	7,1	5,7	>10	6,7	9,1	9,4	5,3	3,8	5,6	5,4	5,8	5,5	4,2	5,8	5,1
Хлорид-ионы, млн ⁻¹	360	215	421	247	208	194	374	198	102	186	163	89	174	183	332	152
Натрий, млн ⁻¹	174	107	153	119	188	184	98	76	61	58	42	81	43	86	53	59
Калий, млн ⁻¹	157	146	194	151	132	221	161	127	81	74	137	122	92	56	114	87

ПРИЛОЖЕНИЕ 4 – РЕЗУЛЬТАТЫ ХИМИЧЕСКОГО АНАЛИЗА ГРУНТОВ НА ПОВЕРХНОСТИ

Показатель	Номер пробы														
	1-Г	2-Г	3-Г	4-Г	5-Г	6-Г	7-Г	8-Г	9-Г	10-Г	11-Г	12-Г	13-Г	14-Г	15-Г
рН, ед. рН	5,97	5,78	5,99	6,21	5,87	6,14	6,39	7,27	7,28	6,42	5,75	5,87	7,41	6,04	5,79
Свинец (вал. форма), млн ⁻¹	11,6	12,08	3,87	11,8	2,56	13,11	17,72	10,57	8,56	1,57	10,28	3,67	8,69	14,67	4,63
Кадмий (валовая форма), млн ⁻¹	<0,25	<0,25	<0,25	<0,25	<0,25	<0,25	<0,25	<0,25	<0,25	<0,25	<0,25	<0,25	<0,25	<0,25	<0,25
Цинк (вал. форма), млн ⁻¹	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50
Медь (вал. форма), млн ⁻¹	26,3	28,47	41,1	17,39	12,44	31,97	15,4	26,47	24,62	17,1	6,94	9,97	21,49	23,22	14,69
Никель (вал. форма), млн ⁻¹	1,2	1,1	<1	1,2	<1	1,3	<1	1,5	<1	<1	1	1,9	<1	1,6	<1
Мышьяк, млн ⁻¹	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
Ртуть, млн ⁻¹	1,22	0,87	0,32	1,04	0,8	0,49	1,51	0,35	<0,02	1,43	0,48	1,09	0,41	0,59	0,19
Марганец, млн ⁻¹	105,9	>130	>130	118,7	>130	74,7	>130	96,3	>130	>130	87,2	104,9	112,6	>130	119,6
Сера общая, млн ⁻¹	2246	2123	1152	1927	2151	1844	2210	2801	1570	1304	2115	601	2580	1022	423
Фосфор, млн ⁻¹	531	946	633	758	410	1198	831	591	383	415	528	972	559	623	331
Азот нитритный, млн ⁻¹	0,111	0,632	3,384	0,127	8,284	0,165	0,648	0,932	0,213	0,154	0,563	0,334	5,612	0,402	0,563
Азот нитратный, млн ⁻¹	36	25	26	28	33	26	28	21	36	23	18	13	10	19	18
Азот аммонийный, млн ⁻¹	192,9	401,2	839,2	297,1	1255,9	306,6	154,2	245,5	204	637	90,3	313,4	927,9	210,4	90,3
Формальдегид, млн ⁻¹	12,49	3,13	6,38	8,81	6,71	4,94	10,75	6,12	5,68	5,53	3,96	16,41	0,14	7,65	3,33
Сульфат-ионы, млн ⁻¹	1148	1255	934	1201	1609	1285	856	1861	1169	890	910	248	560	420	258
Цианиды, млн ⁻¹	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
Фенол, млн ⁻¹	6,42	7,29	1,08	6,85	0,71	7,55	2,66	16,71	25,05	6,19	0,5	52,65	11,83	0,32	0,5
Сухой остаток, млн ⁻¹	2349	2479	1993	2210	2892	2481	1997	3187	2331	2178	1527	1829	2156	1415	935
Нефтепродукты, млн ⁻¹	57	43	53	35	59	47	28	65	22	31	28	23	50	47	28
Органическое вещество, %	7,3	6,2	4,5	7,2	6,9	6,9	3,5	3,7	6,8	8,2	6	7,1	7	3,9	7,8
Влажность, %	12,88	13,71	9,18	10,47	14,62	12,95	10,24	13,4	10,53	11,72	10,89	13,22	12,95	10,18	8,91
Хлорид-ионы, млн ⁻¹	228	234	429	271	561	257	524	683	97	198	173	324	868	342	173
Натрий, млн ⁻¹	24	33	35	29	39	38	11	72	48	35	12	17	27	17	13
Калий, млн ⁻¹	193	17	133	152	62	186	123	351	216	115	172	131	143	162	67

ПРИЛОЖЕНИЕ 5 – РЕЗУЛЬТАТЫ ХИМИЧЕСКОГО АНАЛИЗА ГРУНТОВ ИЗ СКВАЖИН

Показатель	Порядковый номер/номер скважины с глубиной отбора																
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
	1-1	1-2	1-3	1-4	1-7	1-10	1-15	2-3	2-4	2-5	2-7	2-10	2-13	3-1	3-2	3-3	3-5
рН, ед. рН	8,62	8,84	8,76	9,05	9,12	9,23	8,37	7,18	7,82	7,61	7,69	8,12	8,33	8,38	9,14	9,12	8,9
Свинец (вал. форма), млн ⁻¹	5,36	7,55	14,39	21,86	29,14	26,7	14,91	25,81	29,25	32,76	36,47	39,38	42,15	5,29	11,5	17,72	23,93
Кадмий (вал. форма), млн ⁻¹	0,6	<0,25	<0,25	1,03	<0,25	<0,25	<0,25	<0,25	0,49	<0,25	<0,25	<0,25	<0,25	<0,25	0,59	<0,25	<0,25
Цинк (вал. форма), млн ⁻¹	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50
Медь (вал. форма), млн ⁻¹	12,95	28,37	6,79	15,48	41,4	60,8	43,47	27,68	23,16	20,84	33,51	19,19	14,87	10,4	16,1	7,6	3,48
Никель (вал. форма), млн ⁻¹	1	<1	1,3	<1	<1	<1	<1	1,7	<1	1,5	<1	<1	<1	<1	1	<1	<1
Мышьяк, млн ⁻¹	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
Ртуть, млн ⁻¹	0,09	<0,02	0,17	0,1	0,12	0,25	0,14	0,19	0,05	0,09	<0,02	0,06	0,15	0,19	0,14	0,08	0,09
Марганец, млн ⁻¹	106,8	77,1	20,7	121,9	40,6	101,5	31,7	>130	107,6	79,9	122,1	34,1	79,3	127,2	96,2	60,7	27
Сера общая, млн ⁻¹	1679	2829	1975	1750	1895	1379	1955	4714	3965	2217	2468	1720	1971	2100	2363	2626	1889
Фосфор, млн ⁻¹	1787	1875	1627	1756	1453	743	537	1437	1477	1538	1020	886	786	785	911	1791	1516
Азот нитритный, млн ⁻¹	0,593	0,396	0,288	0,078	0,883	0,595	0,457	7,746	3,874	0,543	0,697	1,294	0,89	3,391	5,272	0,155	1,032
Азот нитратный, млн ⁻¹	56	41	14	17	24	18	15	165	155	42	59	35	25	19	11	35	60
Азот аммонийный, млн ⁻¹	142,2	116,5	134,5	111,3	123,4	110,5	54,2	>10000	3267,3	514,5	174,8	178,9	197,5	457,3	132,4	144,3	156,2
Формальдегид, млн ⁻¹	5,87	5,68	1,14	3,91	5,24	2,41	3,83	4,92	4,84	4,63	4,57	4,49	4,37	2,97	1,36	0,98	0,59
Сульфат-ионы, млн ⁻¹	1265	1647	1550	1300	1102	1046	1359	1895	1594	1293	992	691	791	498	308	293	452
Цианиды, млн ⁻¹	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
Фенол, млн ⁻¹	5,39	6,98	7,54	11,47	5,49	8,37	5,33	44,19	41,4	13,6	8,8	4,01	9,21	16,27	21,2	16,17	11,14
Сухой остаток, млн ⁻¹	4313	3856	3348	2755	2488	2650	3568	8269	8591	4913	3235	5557	4879	4897	5132	4445	4130
Нефтепродукты, млн ⁻¹	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	33	25	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20
Хлорид-ионы, млн ⁻¹	871	822	795	814	438	354	787	1359	1260	661	561	962	863	880	791	679	498
Натрий, млн ⁻¹	76	81	58	26	63	54	85	31	48	76	54	70	38	85	69	37	52
Калий, млн ⁻¹	205	169	76	92	57	85	127	236	192	123	148	181	124	229	167	122	195

Показатель	Порядковый номер/номер скважины с глубиной отбора																
	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34
	3-7	3-10	3-15	4-1	4-2	4-3	4-5	4-7	4-10	4-15	7-1	7-2	7-3	7-5	7-7	7-10	7-15
рН, ед. рН	9,21	9,17	8,94	8,32	9,29	8,83	8,8	9,43	8,84	8,56	8,32	8,75	8,36	8,35	8,61	9,18	9,07
Свинец (вал. форма), млн ⁻¹	30,14	36,36	42,57	3,99	10,21	15,4	31,56	28,2	32,9	37,88	3,83	4,13	13,6	21,9	44,59	35,78	55,36
Кадмий (вал. форма), млн ⁻¹	0,43	<0,25	<0,25	<0,25	<0,25	<0,25	<0,25	<0,25	<0,25	<0,25	0,34	<0,25	<0,25	<0,25	<0,25	<0,25	<0,25
Цинк (вал. форма), млн ⁻¹	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50
Медь (вал. форма), млн ⁻¹	11,88	24,67	53,47	11,51	17,29	6,77	2,04	9,75	27,04	64,89	15,88	36,19	8,11	22,55	42,19	8,02	13,93
Никель (вал. форма), млн ⁻¹	1,4	<1	<1	1,9	1,7	<1	1,1	<1	<1	<1	<1	1,9	<1	<1	<1	<1	<1
Мышьяк, млн ⁻¹	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
Ртуть, млн ⁻¹	0,11	0,25	<0,02	0,19	0,15	0,2	0,21	<0,02	0,3	0,29	0,18	0,24	<0,02	0,06	0,18	0,2	0,27
Марганец, млн ⁻¹	56,7	51,8	71,5	85,7	80,9	129,6	106,3	69,3	100,7	57	90,6	103,7	99,7	83,6	128	109,8	123,7
Сера общая, млн ⁻¹	1578	2142	1769	2441	1950	1784	1648	2260	1809	1991	1645	3063	1779	1085	1868	1645	1993
Фосфор, млн ⁻¹	662	941	959	1062	1116	1613	1747	535	826	792	916	898	1184	1467	1879	1420	944
Азот нитритный, млн ⁻¹	3,915	2,798	1,676	3,763	6,911	0,146	1,373	3,994	3,275	0,862	0,612	0,337	0,255	0,154	0,681	0,873	0,372
Азот нитратный, млн ⁻¹	45	37	29	21	9	23	11	18	20	34	201	81	12	19	22	28	16
Азот аммонийный, млн ⁻¹	93,1	47,6	51,9	523,2	174,3	141,2	115,2	82,8	58,3	57,3	165,4	116,9	115,6	38,6	27,9	57,7	26,4
Формальдегид, млн ⁻¹	0,16	3,74	1,31	2,87	1,69	1,02	0,6	0,11	3,03	1,11	9,79	9,73	4,94	4,36	4,41	3,32	3,54
Сульфат-ионы, млн ⁻¹	244	229	265	493	351	352	457	223	287	199	667	898	676	727	872	858	747
Цианиды, млн ⁻¹	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
Фенол, млн ⁻¹	8,76	5,21	1,49	15,56	14,62	11,07	12,95	8,05	4,08	1,25	4,19	4,65	1,12	0,85	3,62	4,89	2,56
Сухой остаток, млн ⁻¹	4532	4978	4520	4095	4897	5710	3685	3925	3949	4830	4248	4049	3821	3133	3080	3918	3202
Нефтепродукты, млн ⁻¹	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20
Хлорид-ионы, млн ⁻¹	533	446	722	675	652	886	1103	1058	873	642	1364	1086	815	732	636	825	606
Натрий, млн ⁻¹	33	84	56	78	69	126	94	51	108	54	47	35	63	20	61	58	29
Калий, млн ⁻¹	153	114	195	264	176	171	117	144	136	120	225	129	106	109	71	69	195

Показатель	Порядковый номер/номер скважины с глубиной отбора																
	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51
	8-1	8-2	8-3	8-5	8-7	8-10	8-15	10-1	10-2	10-3	10-5	10-7	10-10	10-15	11-1	11-2	11-3
рН, ед. рН	8,95	8,96	8,83	9,08	8,99	9,37	8,84	8,22	9,15	8,53	9,03	8,87	9,22	9,07	8,88	8,21	7,54
Свинец (вал. форма), млн ⁻¹	6,34	6,12	19,4	26,78	33,87	47,03	38,54	6,83	6,78	15,09	24,06	29,02	46,12	29,94	5,19	3,65	2,11
Кадмий (вал. форма), млн ⁻¹	<0,25	<0,25	<0,25	<0,25	<0,25	<0,25	<0,25	<0,25	0,8	<0,25	0,44	<0,25	<0,25	<0,25	1,15	1,86	1,24
Цинк (вал. форма), млн ⁻¹	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50
Медь (вал. форма), млн ⁻¹	13,85	40,05	4,16	16,99	66,88	64,23	73,71	9,1	35,14	7,88	20,13	58,28	86,49	62,32	<0,25	<0,25	<0,25
Никель (вал. форма), млн ⁻¹	1,1	<1	1,4	<1	<1	1,8	<1	<1	2,2	1,6	<1	1,8	<1	<1	5	6,5	8
Мышьяк, млн ⁻¹	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	1,3	0,9	0,5
Ртуть, млн ⁻¹	0,31	0,3	0,19	0,29	0,04	0,13	0,17	0,38	0,2	0,27	0,05	<0,02	0,15	<0,02	0,07	0,1	0,06
Марганец, млн ⁻¹	32,8	24,8	89	92,2	124,6	114,6	32,4	119,2	60,1	54,2	33,8	120,6	67,4	59	25,3	47	52,7
Сера общая, млн ⁻¹	398	299	189	276	279	282	244	2024	2498	1716	1871	2030	1550	2032	3647	2681	2714
Фосфор, млн ⁻¹	829	611	959	1510	1707	1864	746	438	523	1770	1014	2168	697	1587	1828	988	849
Азот нитритный, млн ⁻¹	0,622	0,246	0,223	0,068	0,857	0,313	0,252	0,652	0,446	0,324	0,113	0,662	0,637	0,485	12,707	9,882	6,057
Азот нитратный, млн ⁻¹	136	91	9	14	37	29	20	120	64	14	21	25	23	20	31	27	23
Азот аммонийный, млн ⁻¹	70,6	68,7	64,8	57,7	62,8	48,4	23,6	109,7	134,5	119,5	74,7	140,6	118	77,5	955,1	538,7	122,3
Формальдегид, млн ⁻¹	6,61	4,01	4,43	4,24	5,51	4,21	3,43	6,25	5,95	3,6	3,77	5,99	7,81	4,05	1,94	13,21	24,48
Сульфат-ионы, млн ⁻¹	159	126	120	138	163	124	131	736	956	942	893	802	677	784	617	841	1765
Цианиды, млн ⁻¹	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
Фенол, млн ⁻¹	5,04	5,95	6,77	10,83	5,57	4,79	3,3	5,25	6,46	6,04	3,63	5,28	7,21	4,75	0,49	13,52	26,55
Сухой остаток, млн ⁻¹	2466	1847	1428	1394	1331	1259	556	5235	4109	3393	3650	2904	2716	3597	4129	3959	3789
Нефтепродукты, млн ⁻¹	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20
Хлорид-ионы, млн ⁻¹	967	932	854	675	401	319	732	1041	972	874	988	332	287	708	949	1073	1197
Натрий, млн ⁻¹	82	117	56	30	88	62	78	57	74	50	17	70	38	96	48	67	38
Калий, млн ⁻¹	188	136	71	44	78	62	166	159	164	76	88	80	113	133	268	228	161

Показатель	Порядковый номер/номер скважины с глубиной отбора																
	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68
	11-4	11-5	11-10	13-1	13-2	13-3	13-5	13-7	13-10	13-15	14-1	14-2	14-3	14-5	14-7	14-10	14-15
рН, ед. рН	7,56	7,57	7,24	8,54	9,13	8,67	9,41	8,89	9,13	9,41	8,32	8,86	9,16	8,51	9,32	9,27	8,77
Свинец (вал. форма), млн ⁻¹	12,76	23,41	33,19	4,1	8,06	12	19,7	22,22	48,32	42,57	15,03	11,32	16,09	27,12	27,32	24,53	25,25
Кадмий (вал. форма), млн ⁻¹	1,02	0,37	<0,25	<0,25	0,51	0,45	<0,25	<0,25	<0,25	0,43	0,34	0,63	<0,25	<0,25	<0,25	<0,25	<0,25
Цинк (вал. форма), млн ⁻¹	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50
Медь (вал. форма), млн ⁻¹	0,49	5,12	12,47	15,01	28,77	8,79	12,33	52,87	53,43	54,26	9,91	11,89	7,61	4,04	15,81	14,2	56,03
Никель (вал. форма), млн ⁻¹	1,8	1	н.п.о.	<1	1,5	<1	1,4	<1	<1	<1	1,6	<1	1,3	<1	<1	<1	<1
Мышьяк, млн ⁻¹	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
Ртуть, млн ⁻¹	0,28	0,27	0,28	0,18	<0,02	0,11	0,26	0,22	<0,02	0,13	<0,02	0,31	0,03	0,2	0,12	<0,02	0,12
Марганец, млн ⁻¹	94,1	114,8	67,1	96,2	106,1	56,3	119,3	83,5	90,4	68,3	71,7	45,6	39,2	56,3	124,1	40,7	27,5
Сера общая, млн ⁻¹	970	226	759	1485	3626	1833	1697	1683	1470	1531	3884	3206	3052	2383	2989	2220	2577
Фосфор, млн ⁻¹	1736	1613	2086	1575	1980	1014	1325	653	1018	854	712	958	1358	1812	1437	1150	460
Азот нитритный, млн ⁻¹	5,232	4,407	3,582	0,461	0,295	0,284	0,097	1,015	0,71	0,495	3,042	4,561	0,175	1,266	4,214	2,976	1,213
Азот нитратный, млн ⁻¹	26	31	19	146	65	16	17	27	21	16	105	163	31	63	33	41	30
Азот аммонийный, млн ⁻¹	143,9	165,4	122,8	175,2	121,8	159,6	113,6	116,8	128,4	53,9	517,5	85,1	151,3	147	120,3	44	55,3
Формальдегид, млн ⁻¹	26,4	28,31	32,17	6,04	4,53	7,21	2,77	5,52	4,67	2,81	2,39	1,15	1,21	0,64	0,22	2,67	1,25
Сульфат-ионы, млн ⁻¹	436	108	318	901	1467	1204	1401	1365	1239	1136	467	368	210	296	360	147	300
Цианиды, млн ⁻¹	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
Фенол, млн ⁻¹	35,82	45,08	37,32	6,97	6,9	8,15	9,52	4,28	11,71	7,45	14,78	21,14	10,39	13,55	8,13	3,73	1,48
Сухой остаток, млн ⁻¹	3412	3035	3467	2482	2957	4272	2469	2403	3275	3636	6144	6651	5177	5501	6178	3047	3487
Нефтепродукты, млн ⁻¹	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	н.п.о.	н.п.о.	н.п.о.	н.п.о.	н.п.о.	н.п.о.	н.п.о.
Хлорид-ионы, млн ⁻¹	1122	1047	921	797	983	585	899	318	242	622	810	974	682	612	333	255	746
Натрий, млн ⁻¹	13	71	26	74	70	62	24	88	41	121	88	102	32	61	37	94	59
Калий, млн ⁻¹	87	134	82	209	171	65	116	66	72	94	232	140	165	159	136	136	158

Показатель	Порядковый номер/номер скважины с глубиной отбора																
	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85
	16-1	16-2	16-3	16-5	16-7	16-10	16-15	17-1	17-2	17-3	17-5	17-7	17-10	17-15	18-1	18-2	18-3
рН, ед. рН	7,5	7,24	7,25	7,55	7,63	7,86	7,59	8,21	8,97	9,08	9,24	9,19	9,31	9,47	7,42	7,69	7,91
Свинец (вал. форма), млн ⁻¹	11,87	8,94	10,21	8,79	5,53	<0,25	<0,25	7,08	7,31	14,83	30,95	40,98	49,86	43,46	23,15	18,42	12,11
Кадмий (вал. форма), млн ⁻¹	<0,25	0,48	<0,25	<0,25	<0,25	<0,25	<0,25	0,83	0,45	<0,25	<0,25	<0,25	0,58	<0,25	0,53	<0,25	0,96
Цинк (вал. форма), млн ⁻¹	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50
Медь (вал. форма), млн ⁻¹	14,21	12,76	11,41	8,23	9,53	4,73	1,18	7,79	28,87	8,39	14,79	41,09	56,47	71,9	12,37	20,28	13,25
Никель (вал. форма), млн ⁻¹	1,6	3	3,4	1,1	2	1,1	1,7	<1	2,1	<1	1,4	<1	1,7	<1	15	13	1,5
Мышьяк, млн ⁻¹	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	0,7	0,6	<0,5
Ртуть, млн ⁻¹	<0,02	<0,02	0,09	<0,02	0,16	0,07	0,11	0,25	0,04	0,12	0,06	0,22	0,05	0,16	<0,02	0,09	0,09
Марганец, млн ⁻¹	36,8	48,5	69,4	40,9	39,2	35,8	86,4	64,8	67,9	123,8	42,1	128,9	63,1	118,4	27,2	73	60,6
Сера общая, млн ⁻¹	1374	2446	1619	2187	1653	1215	1529	1967	2490	2465	2353	2550	1480	1647	2398	2495	2291
Фосфор, млн ⁻¹	1519	2242	765	781	468	749	581	642	708	1341	1095	1295	1020	407	766	1722	1346
Азот нитритный, млн ⁻¹	1,08	2,17	6,98	12,67	4,78	6,09	7,66	0,551	0,485	0,243	0,115	1,165	0,544	0,321	12,89	10,625	8,36
Азот нитратный, млн ⁻¹	15	19	11	11	17	7	9	190	92	11	15	22	24	15	35	30	25
Азот аммонийный, млн ⁻¹	21,4	11,3	16,2	19,7	22	24,6	16	171,4	101,5	122,1	126,9	83,1	78,6	42,4	6497,2	4673,2	2849,2
Формальдегид, млн ⁻¹	1,37	0,93	0,47	0,12	н.п.о.	н.п.о.	н.п.о.	4,61	7,55	3,69	4,14	3,6	4,74	3,71	4,29	3,12	1,95
Сульфат-ионы, млн ⁻¹	476	845	467	789	658	680	739	1284	1597	1649	1471	736	1335	1423	1784	1325	987
Цианиды, млн ⁻¹	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
Фенол, млн ⁻¹	5,34	3,27	5,17	2,06	2,19	1,72	0,98	15,48	9,36	4,08	6,84	2,07	1,59	0,76	14,82	13,65	14,48
Сухой остаток, млн ⁻¹	1967	2434	2847	3221	3739	2536	2804	5326	4294	4006	2773	3027	2347	3417	6978	5598	4218
Нефтепродукты, млн ⁻¹	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	22	<20	<20
Хлорид-ионы, млн ⁻¹	902	952	818	1045	1164	905	1252	1071	572	768	872	595	258	707	1378	1227	1076
Натрий, млн ⁻¹	41	38	74	77	46	31	84	61	60	36	23	59	64	95	72	49	18
Калий, млн ⁻¹	163	215	124	143	166	191	179	189	153	49	67	47	98	135	119	145	283

Показатель	Порядковый номер/номер скважины с глубиной отбора																
	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102
	18-5	18-7	18-10	18-15	20-1	20-2	20-3	20-5	20-7	20-10	20-15	21-1	21-2	21-3	21-5	21-7	21-10
рН, ед. рН	8,13	8,22	8,11	8,39	8,16	7,9	7,64	7,21	7,46	7,71	8,32	8,27	8,53	9,26	8,75	9,53	8,78
Свинец (вал. форма), млн ⁻¹	5,79	4,23	2,68	1,12	24,73	22,42	15,24	10,64	6,03	1,43	1,09	3,69	13,13	21,95	29,43	14,72	46,33
Кадмий (вал. форма), млн ⁻¹	0,59	<0,25	<0,25	<0,25	<0,25	<0,25	<0,25	<0,25	<0,25	0,87	<0,25	0,48	0,53	<0,25	<0,25	<0,25	0,64
Цинк (вал. форма), млн ⁻¹	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50
Медь (вал. форма), млн ⁻¹	6,21	1,34	<0,25	<0,25	10,67	9,34	5,75	2,15	1,22	0,29	<0,25	13,32	20,47	8,33	3,55	6,66	17,27
Никель (вал. форма), млн ⁻¹	9	1,4	5	1	1,7	2,2	1,2	7	1,8	1	<1	<1	1,3	1,7	2,1	<1	1,6
Мышьяк, млн ⁻¹	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
Ртуть, млн ⁻¹	0,03	0,08	0,17	0,26	0,12	<0,02	0,17	0,13	0,09	0,11	0,19	0,16	0,29	0,21	<0,02	<0,02	0,06
Марганец, млн ⁻¹	86,1	49	38	103,4	121,7	77,4	92,8	88,3	59,9	106,3	75,9	128,8	59,6	115	45	82,3	56,3
Сера общая, млн ⁻¹	1688	1539	1389	1240	1864	2146	1427	1508	1589	1670	1249	1964	1365	1824	1949	1669	1287
Фосфор, млн ⁻¹	2170	1571	839	868	602	742	686	632	945	914	795	595	627	1654	1415	1777	1034
Азот нитритный, млн ⁻¹	11,71	9,18	5,23	3,78	18,632	14,171	9,715	6,457	3,192	4,485	5,772	3,922	5,971	0,175	1,165	4,853	2,483
Азот нитратный, млн ⁻¹	18	16	13	11	83	28	63	71	30	78	25	20	9	46	51	26	51
Азот аммонийный, млн ⁻¹	1025,2	769,9	514,6	137,5	7863,7	7408,9	6954	4702,9	2451,9	200,8	112,5	653	111,6	92,5	115,6	75,8	55,9
Формальдегид, млн ⁻¹	0,79	0,55	0,32	0,09	4,77	4,1	3,43	1,76	0,89	0,64	0,15	1,97	1,17	1,19	0,45	0,11	3,25
Сульфат-ионы, млн ⁻¹	1234	1345	863	561	963	1243	897	689	764	649	578	596	589	650	409	468	580
Цианиды, млн ⁻¹	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
Фенол, млн ⁻¹	11,31	8,03	2,75	1,47	14,23	11,41	3,6	2,78	2,46	3,14	2,63	21,51	20,76	11,49	11,27	5,65	6,66
Сухой остаток, млн ⁻¹	3930	3642	3310	2978	4035	4738	4441	3144	3795	3531	3266	3537	3295	2448	2899	3186	3710
Нефтепродукты, млн ⁻¹	<20	<20	<20	<20	23	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20
Хлорид-ионы, млн ⁻¹	1154	876	995	1109	1431	1198	964	1120	1275	1126	978	687	813	575	521	644	309
Натрий, млн ⁻¹	66	77	42	61	58	65	35	78	37	53	27	72	74	43	56	30	93
Калий, млн ⁻¹	137	223	189	253	63	109	157	91	151	28	134	289	115	159	132	100	121

Показатель	Порядковый номер/номер скважины с глубиной отбора																
	103	104	105	106	107	108	109	110	111	112	113	114	115	116	117	118	119
	21-15	22-1	22-2	22-3	22-5	22-7	22-10	22-15	23-1	23-2	23-3	23-5	23-7	23-10	23-15	24-1	24-2
рН, ед. рН	9,01	8,54	7,97	9,22	9	9,2	8,77	9,29	8,53	8,97	8,95	8,39	9,38	8,79	8,69	8,45	8,85
Свинец (вал. форма), млн ⁻¹	59,12	2,31	13,48	18,75	19,33	40,08	41,32	55,4	3,41	13,89	10,7	30,2	33,98	27,45	32,42	6,04	6,9
Кадмий (вал. форма), млн ⁻¹	0,52	<0,25	0,55	0,86	<0,25	<0,25	<0,25	<0,25	0,44	<0,25	<0,25	<0,25	<0,25	<0,25	<0,25	<0,25	<0,25
Цинк (вал. форма), млн ⁻¹	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50
Медь (вал. форма), млн ⁻¹	27,73	18,85	16,76	8,3	3,72	6,2	12,6	36,98	11,62	20,96	7,47	2,32	8,64	25,28	63,71	13,14	29,53
Никель (вал. форма), млн ⁻¹	<1	1,2	<1	1,7	1,6	2,2	<1	<1	1,9	<1	<1	1	<1	1,6	<1	1,4	1,6
Мышьяк, млн ⁻¹	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
Ртуть, млн ⁻¹	<0,02	0,31	0,16	0,07	<0,02	0,2	0,15	0,13	0,18	0,3	0,26	0,27	0,09	0,11	0,13	0,12	0,26
Марганец, млн ⁻¹	46,3	68,8	103,2	124,8	29,7	34,1	94,7	72	97,9	107,3	110,4	107	30,3	78,8	97,7	108,4	45,9
Сера общая, млн ⁻¹	1817	1357	1103	899	1062	721	870	873	2210	1917	1642	1367	1384	1296	1149	1699	2016
Фосфор, млн ⁻¹	708	633	787	1076	2112	606	888	760	2173	1289	907	931	1261	1400	568	632	710
Азот нитритный, млн ⁻¹	1,091	4,042	4,854	0,138	1,054	4,915	2,664	1,383	3,642	9,611	0,156	1,953	4,854	3,213	1,071	0,413	0,441
Азот нитратный, млн ⁻¹	26	17	9	33	50	24	50	17	24	8	23	13	24	21	44	24	21
Азот аммонийный, млн ⁻¹	71,8	719,3	96,7	71,4	104,2	70	61,6	54,5	522,1	201,2	93,5	157,3	71,9	76,9	73,2	136,4	120,1
Формальдегид, млн ⁻¹	1,64	1,33	1,4	0,95	0,47	0,12	4,56	1,96	4,01	2,08	1,15	0,44	0,09	3,49	1,36	4,32	6,19
Сульфат-ионы, млн ⁻¹	688	556	352	299	509	307	349	254	478	310	309	411	260	278	150	765	723
Цианиды, млн ⁻¹	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
Фенол, млн ⁻¹	1,54	27,88	12,38	10,76	14,47	11,01	8,25	0,91	10,24	14,83	13,85	8,94	9,76	4,39	0,71	5,88	7,14
Сухой остаток, млн ⁻¹	2271	2356	2069	2003	1850	1496	1520	1260	4156	4235	4071	4156	4756	3126	3200	4585	3998
Нефтепродукты, млн ⁻¹	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20
Хлорид-ионы, млн ⁻¹	473	746	607	577	600	475	370	433	857	618	874	1059	1051	1177	414	808	698
Натрий, млн ⁻¹	58	96	88	44	74	35	104	58	62	59	74	118	37	96	48	60	69
Калий, млн ⁻¹	260	335	107	140	134	85	144	140	277	155	115	108	146	91	104	196	189

Показатель	Порядковый номер/номер скважины с глубиной отбора																
	120	121	122	123	124	125	126	127	128	129	130	131	132	133	134	135	136
	24-3	24-5	24-7	24-10	24-15	25-1	25-2	25-3	25-5	25-7	25-10	25-15	26-1	26-2	26-3	26-5	26-7
рН, ед. рН	9,01	9,05	9,22	9,49	9,47	8,55	8,27	9,56	8,4	9,5	8,48	9,14	8,07	8,36	9,21	8,64	9,45
Свинец (вал. форма), млн ⁻¹	17,46	14,27	31,29	26,73	28,16	4,05	11,83	17,83	34,7	34,74	38,6	42,01	3,76	14,84	21,33	19,49	24,28
Кадмий (вал. форма), млн ⁻¹	<0,25	<0,25	<0,25	<0,25	<0,25	0,26	0,51	<0,25	<0,25	<0,25	<0,25	<0,25	<0,25	0,74	0,4	<0,25	<0,25
Цинк (вал. форма), млн ⁻¹	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50
Медь (вал. форма), млн ⁻¹	4,35	16,13	31,07	68,56	53,19	13,11	24,25	11,49	3,6	5,58	23,68	30,12	14,87	16,46	9,11	3,06	8,99
Никель (вал. форма), млн ⁻¹	<1	1,1	<1	<1	<1	1,2	<1	1,3	<1	<1	2,2	<1	1,3	<1	1,4	<1	<1
Мышьяк, млн ⁻¹	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
Ртуть, млн ⁻¹	0,21	0,23	0,28	0,23	0,25	0,07	0,16	0,13	0,28	0,06	0,16	0,31	<0,02	0,15	0,04	0,12	<0,02
Марганец, млн ⁻¹	119,5	48,2	117,9	58,5	39,5	62,2	97,7	130	48,1	101,7	100,6	42,8	83,7	86	72,8	104	123,4
Сера общая, млн ⁻¹	1492	1201	1984	1240	915	2706	2501	2543	1977	1381	1104	977	1262	949	731	1176	302
Фосфор, млн ⁻¹	699	516	1172	493	603	1248	1830	1351	786	957	404	742	643	716	1014	1714	814
Азот нитритный, млн ⁻¹	0,454	0,114	0,794	0,722	0,371	3,622	4,427	0,194	1,083	4,242	2,487	1,211	3,712	5,771	0,177	1,145	5,812
Азот нитратный, млн ⁻¹	13	23	29	12	19	15	7	40	51	21	58	29	17	8	62	48	32
Азот аммонийный, млн ⁻¹	156,1	76,5	155	103,4	34,2	246,1	111,2	124,8	125,4	59,5	38,8	67,8	247,7	141,9	83,8	114,4	79,6
Формальдегид, млн ⁻¹	5,56	2,29	6,33	6	5,55	1,82	1,13	1,04	0,42	0,12	2,55	1,51	2,32	1,19	1,41	0,47	0,15
Сульфат-ионы, млн ⁻¹	537	708	689	797	731	708	496	186	310	240	207	262	612	296	262	400	220
Цианиды, млн ⁻¹	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
Фенол, млн ⁻¹	9,15	16,57	5,5	11,47	4,25	8,82	13,63	19,69	10,85	7,72	4,58	1,45	16,64	15,94	14,52	13,23	10,67
Сухой остаток, млн ⁻¹	2890	2342	2586	2146	3895	2626	2217	1809	2808	2299	2584	2463	3685	3774	5330	2293	3409
Нефтепродукты, млн ⁻¹	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20
Хлорид-ионы, млн ⁻¹	881	670	483	394	405	316	323	291	213	206	283	242	918	581	550	555	437
Натрий, млн ⁻¹	52	19	59	44	52	82	98	42	68	34	106	54	95	48	43	57	26
Калий, млн ⁻¹	56	96	57	97	109	204	148	215	179	96	68	280	203	101	206	137	60

Показатель	Порядковый номер/номер скважины с глубиной отбора																
	137	138	139	140	141	142	143	144	145	146	147	148	149	150	151	152	153
	26-10	26-15	29-1	29-2	29-3	29-5	29-7	29-10	29-15	31-1	31-2	31-3	31-5	31-7	31-10	31-15	33-1
рН, ед. рН	8,55	8,96	8,75	8,93	8,84	9,06	8,9	9,24	9,04	8,94	9,02	8,71	9,16	8,95	9,29	8,98	8,6
Свинец (вал. форма), млн ⁻¹	40,81	47,23	7,25	7,69	16,8	23,12	30,6	35,27	43,12	9,36	6,66	18,36	23,27	21,87	25,11	35,31	2,55
Кадмий (вал. форма), млн ⁻¹	<0,25	<0,25	0,3	0,25	<0,25	<0,25	<0,25	<0,25	<0,25	<0,25	<0,25	<0,25	<0,25	0,45	<0,25	<0,25	0,69
Цинк (вал. форма), млн ⁻¹	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50
Медь (вал. форма), млн ⁻¹	14,59	35,73	13,44	31,44	3,98	18,73	52,43	70,59	52,97	11,01	39,09	3,85	11,22	50,68	57,52	46,82	20,7
Никель (вал. форма), млн ⁻¹	1,6	<1	<1	<1	1,7	<1	1,2	<1	<1	1,7	<1	2	<1	1,1	<1	<1	1,2
Мышьяк, млн ⁻¹	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
Ртуть, млн ⁻¹	0,2	0,17	<0,02	0,23	<0,02	0,17	0,24	0,26	<0,02	<0,02	0,06	0,02	<0,02	0,12	0,17	<0,02	0,07
Марганец, млн ⁻¹	99,2	45	64,7	79,8	109,9	29,1	34,6	31,7	28,1	77,7	37,8	31,5	99,8	48,3	84,8	56,9	27
Сера общая, млн ⁻¹	1371	1269	1412	1396	1133	1117	996	873	939	740	809	950	857	903	360	442	2374
Фосфор, млн ⁻¹	1205	741	831	720	1515	1389	1173	523	505	1351	2187	1748	1634	2001	1693	1007	1834
Азот нитритный, млн ⁻¹	2,885	1,313	0,612	0,381	0,214	0,063	0,897	0,514	0,276	0,583	0,472	0,211	0,076	1,035	0,443	0,392	3,062
Азот нитратный, млн ⁻¹	35	22	167	102	12	13	33	22	18	228	110	6	7	42	12	13	19
Азот аммонийный, млн ⁻¹	45,6	37,1	90,4	70,6	58,9	47,4	56,2	60,4	20,3	104,9	61,2	59	45,3	59,6	70,2	26,3	105,8
Формальдегид, млн ⁻¹	3,25	1,8	6,63	3,85	3,7	4,78	4,73	3,89	3,08	8,21	4,24	3,57	5,57	5,51	4,3	3,3	1,09
Сульфат-ионы, млн ⁻¹	287	389	786	551	564	432	401	585	620	345	522	397	510	444	187	156	453
Цианиды, млн ⁻¹	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
Фенол, млн ⁻¹	5,12	1,03	7,24	5,97	7,3	9,54	4,47	5,46	4,88	6,93	5,6	3,73	2,07	3,2	1,48	0,87	28,04
Сухой остаток, млн ⁻¹	6331	4443	2435	2019	2078	1432	1364	1020	925	2031	2199	1823	1019	1893	985	907	2714
Нефтепродукты, млн ⁻¹	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20
Хлорид-ионы, млн ⁻¹	256	502	811	865	922	831	384	228	981	462	500	701	558	293	217	625	806
Натрий, млн ⁻¹	105	67	89	116	70	28	83	60	90	84	86	82	19	90	51	102	91
Калий, млн ⁻¹	165	162	138	129	61	57	69	89	174	155	126	74	38	74	94	121	359

Показатель	Порядковый номер/номер скважины с глубиной отбора																
	154	155	156	157	158	159	160	161	162	163	164	165	166	167	168	169	170
	33-2	33-3	33-5	33-7	33-10	33-15	34-1	34-2	34-3	34-5	34-7	34-10	34-15	36-1	36-2	36-3	36-5
рН, ед. рН	8,07	9,09	8,93	9,08	8,63	9,12	8,6	9,35	8,91	8,47	9,09	8,83	8,53	8,15	8,74	8,52	8,49
Свинец (вал. форма), млн ⁻¹	11,73	17,64	25	33,84	37,34	50,01	3,21	10,7	16,67	31,8	29,9	29,03	36,01	4,33	3,63	11,23	20,61
Кадмий (вал. форма), млн ⁻¹	<0,25	0,43	<0,25	<0,25	0,88	<0,25	0,6	0,68	<0,25	0,89	<0,25	<0,25	<0,25	0,46	0,53	<0,25	<0,25
Цинк (вал. форма), млн ⁻¹	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50
Медь (вал. форма), млн ⁻¹	17,57	6,53	4,49	5,98	11,25	39,27	12,61	18,81	6,45	2,5	10,83	31,88	66,42	15,29	36,03	5,08	15,24
Никель (вал. форма), млн ⁻¹	<1	1,3	1,8	<1	<1	<1	1	1,5	<1	1,4	<1	1,2	<1	1,3	<1	<1	<1
Мышьяк, млн ⁻¹	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
Ртуть, млн ⁻¹	0,31	0,14	<0,02	0,18	<0,02	0,03	0,13	0,04	0,19	0,15	0,09	0,15	<0,02	0,25	0,28	0,2	0,23
Марганец, млн ⁻¹	106,4	109	53,5	57,3	112,5	33,7	46,5	98,2	125,9	90,4	119,1	80,1	126,2	79,7	109,2	114,8	53,3
Сера общая, млн ⁻¹	1910	1701	1623	1087	1108	1212	2467	2677	2402	2114	1685	1702	1599	2360	3060	2457	782
Фосфор, млн ⁻¹	1485	1552	1237	819	651	441	594	807	1102	712	642	341	527	328	794	1008	983
Азот нитритный, млн ⁻¹	3,991	0,116	0,784	3,947	3,014	1,385	3,292	8,753	0,172	1,385	3,031	3,747	1,044	0,852	0,315	0,243	0,075
Азот нитратный, млн ⁻¹	10	32	55	34	51	12	84	51	15	9	22	15	42	130	152	11	17
Азот аммонийный, млн ⁻¹	100,7	67,9	108,6	61	70,9	44	378,8	213,7	172,6	110,6	86,6	80,5	43,2	151,6	71,3	107,4	61,8
Формальдегид, млн ⁻¹	1,54	1,06	0,46	0,11	3,93	2,14	2,23	1,66	0,81	0,56	0,08	3,4	0,76	8,55	7,2	3,33	3,92
Сульфат-ионы, млн ⁻¹	376	192	231	279	227	190	581	410	392	420	265	293	127	1240	1137	1047	1018
Цианиды, млн ⁻¹	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
Фенол, млн ⁻¹	10,7	6,37	7,33	5,37	5,74	0,82	12,73	9,05	8,04	14,24	7,41	3,91	1,29	5,82	4,6	0,77	0,81
Сухой остаток, млн ⁻¹	2617	1864	1862	1392	1264	936	3624	4927	5269	3649	4319	3042	3638	4247	3880	2924	3560
Нефтепродукты, млн ⁻¹	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20
Хлорид-ионы, млн ⁻¹	717	392	751	514	378	448	828	643	881	707	730	596	649	671	600	529	766
Натрий, млн ⁻¹	96	42	83	28	85	64	49	54	121	91	41	64	46	65	62	50	17
Калий, млн ⁻¹	134	143	130	84	96	157	253	188	205	89	131	157	109	243	119	92	177

Показатель	Порядковый номер/номер скважины с глубиной отбора																
	171	172	173	174	175	176	177	178	179	180	181	182	183	184	185	186	187
	36-7	36-10	36-15	37-1	37-2	37-3	37-5	37-7	37-10	37-15	38-1	38-2	38-3	38-5	38-7	38-10	38-15
рН, ед. рН	9,09	9,51	9,54	8,1	9,28	9,1	8,87	8,91	9,2	9,13	7,34	7,65	7,78	7,21	7,53	7,94	7,63
Свинец (вал. форма), млн ⁻¹	43,47	54,6	47,36	7,1	7,95	23,9	27,28	26,31	52,3	45,7	2,14	1,75	1,53	1,18	0,87	<0,25	<0,25
Кадмий (вал. форма), млн ⁻¹	0,48	<0,25	<0,25	0,38	<0,25	<0,25	<0,25	<0,25	<0,25	<0,25	<0,25	1,18	<0,25	0,39	<0,25	<0,25	<0,25
Цинк (вал. форма), млн ⁻¹	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50
Медь (вал. форма), млн ⁻¹	35,01	4,64	15,29	12,54	15,24	7,55	4,52	14,47	22,34	37,23	12,44	12,09	8,42	7,98	10,47	4,02	5,59
Никель (вал. форма), млн ⁻¹	<1	<1	<1	1,3	<1	1,6	<1	<1	<1	1,4	6,3	3,3	1,4	3,9	1,8	3,4	1,2
Мышьяк, млн ⁻¹	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	1,2	0,9	0,7	0,5	<0,5	<0,5	<0,5
Ртуть, млн ⁻¹	0,22	0,15	0,05	0,21	<0,02	<0,02	0,2	<0,02	0,12	0,13	0,19	0,05	0,31	0,25	0,11	0,06	0,11
Марганец, млн ⁻¹	71,7	81,6	89,1	48,3	23,2	89	55,1	49,5	49,1	49,1	113,8	82,6	122,8	110	87,1	77,6	32,9
Сера общая, млн ⁻¹	1519	1666	1458	1840	1930	1323	1100	1697	1146	1187	1525	1872	1326	1532	1219	1864	1275
Фосфор, млн ⁻¹	1859	903	767	467	724	833	643	1099	813	381	891	1687	1944	1866	1494	1684	2300
Азот нитритный, млн ⁻¹	0,893	0,758	0,593	1,612	0,646	0,083	1,194	1,596	1,834	1,716	6,352	6,974	5,712	9,286	6,563	2,926	7,612
Азот нитратный, млн ⁻¹	15	18	21	15	15	43	58	50	36	25	11	10	8	11	11	13	10
Азот аммонийный, млн ⁻¹	22,4	42,7	19,7	290,5	150	136,6	164,5	65,6	41,3	50	86,7	89,8	95,9	70,3	87,1	61,5	82,2
Формальдегид, млн ⁻¹	3,97	4,07	3,32	2,56	1,38	1,1	0,75	0,13	2,24	1,25	1,82	1,64	1,23	1,07	0,75	0,23	<0,05
Сульфат-ионы, млн ⁻¹	770	1149	1087	678	872	623	465	452	547	632	563	723	654	523	696	858	614
Цианиды, млн ⁻¹	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
Фенол, млн ⁻¹	3,95	8,47	2,74	2,42	21,45	16,12	14,04	6,94	5,88	1,58	7,53	6,98	5,07	3,17	1,26	0,75	<0,02
Сухой остаток, млн ⁻¹	3700	3266	2738	3047	2870	3758	3417	3081	3013	3206	3011	3714	3110	3742	2601	2311	1387
Нефтепродукты, млн ⁻¹	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20
Хлорид-ионы, млн ⁻¹	675	943	475	1275	1067	688	478	475	525	702	845	798	1024	1735	1128	1428	1073
Натрий, млн ⁻¹	48	58	60	61	85	39	47	37	51	74	38	69	33	97	66	42	67
Калий, млн ⁻¹	86	60	193	286	162	125	212	150	133	227	144	97	124	179	142	87	193

Показатель	Порядковый номер/номер скважины с глубиной отбора																
	188	189	190	191	192	193	194	195	196	197	198	199	200	201	202	203	204
	39-1	39-2	39-3	39-5	39-7	39-10	39-15	40-1	40-2	40-3	40-5	40-7	40-10	40-15	42-1	42-2	42-3
рН, ед. рН	7,69	7,42	7,39	7,58	7,65	7,31	7,78	7,34	7,4	7,28	7,63	7,32	7,52	<0,25	8,28	9,07	9,03
Свинец (вал. форма), млн ⁻¹	3,21	3,24	3,38	2,74	2,18	1,75	1,26	2,14	2,28	1,72	1,34	1,07	0,87	н.п.о.	5,88	11,44	23,3
Кадмий (вал. форма), млн ⁻¹	0,61	<0,25	<0,25	<0,25	0,37	<0,25	<0,25	0,37	<0,25	<0,25	<0,25	<0,25	0,88	<0,25	0,47	0,36	<0,25
Цинк (вал. форма), млн ⁻¹	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50
Медь (вал. форма), млн ⁻¹	13,27	14,28	12,45	10,76	7,02	4,2	7,35	10,47	10,24	11,34	11,09	9,82	5,78	3,47	8,66	11,61	7,64
Никель (вал. форма), млн ⁻¹	2	2,5	4,5	6,3	1	1,2	2,3	6,3	1,5	7,3	2,3	4	2,2	2	1,6	1,8	1,9
Мышьяк, млн ⁻¹	1,2	1	0,8	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	0,7	0,6	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
Ртуть, млн ⁻¹	<0,02	0,05	0,27	0,25	<0,02	0,07	0,18	0,24	0,08	0,06	0,11	0,07	0,3	0,08	0,04	0,18	0,19
Марганец, млн ⁻¹	101,8	96,3	55,1	117,6	76,6	95,7	111,3	23,4	93,2	121,5	20,3	121,6	26	126,6	>130	>130	>130
Сера общая, млн ⁻¹	1880	2669	1967	2571	1897	1273	1038	1525	1765	2427	1840	1269	1145	924	3104	2409	2430
Фосфор, млн ⁻¹	1928	921	862	825	1733	333	968	1393	1946	1547	1321	1458	1451	1847	77	45	50
Азот нитритный, млн ⁻¹	4,286	4,57	3,26	7,51	4,68	8,32	3,74	6,21	5,57	7,01	5,18	7,4	2,32	5,08	3,754	3,995	2,153
Азот нитратный, млн ⁻¹	11	10	11	15	8	10	11	10	13	16	8	11	7	4	78	68	29
Азот аммонийный, млн ⁻¹	86,7	71,6	79,5	50,9	34,2	67,9	88,1	41,1	39,6	34,5	41,1	28,6	36	18,1	1379,8	605	155,2
Формальдегид, млн ⁻¹	1,82	1,26	0,7	0,14	н.п.о.	<0,05	<0,05	1,08	0,67	0,31	0,09	0,11	<0,05	<0,05	2,56	0,88	0,63
Сульфат-ионы, млн ⁻¹	859	1146	732	1254	864	723	538	723	856	1074	698	675	863	635	565	777	632
Цианиды, млн ⁻¹	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
Фенол, млн ⁻¹	7,53	7,21	6,08	3,27	1,03	0,34	<0,02	3,14	2,39	1,78	1,21	0,74	0,21	<0,02	13,25	15,43	18,82
Сухой остаток, млн ⁻¹	3011	2675	2198	1663	1538	1754	2013	3072	2563	2823	2407	3010	3407	2875	6337	5996	5653
Нефтепродукты, млн ⁻¹	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20
Хлорид-ионы, млн ⁻¹	845	1256	810	1056	765	868	971	711	983	1299	1084	822	894	634	856	745	708
Натрий, млн ⁻¹	56	70	56	74	43	26	74	38	51	77	69	55	42	27	110	77	37
Калий, млн ⁻¹	190	138	111	159	61	131	178	144	183	229	132	188	127	73	174	176	133

Показатель	Порядковый номер/номер скважины с глубиной отбора																
	205	206	207	208	209	210	211	212	213	214	215	216	217	218	219	220	221
	42-5	42-7	42-10	45-2	45-3	45-4	45-5	45-7	45-10	47-2	47-3	47-4	47-5	47-7	47-10	50-2	50-3
рН, ед. рН	9,01	9,14	9,03	7,02	6,71	7,55	7,89	7,9	7,93	7,52	7,3	8,14	7,73	7,76	8,06	7,13	7,36
Свинец (вал. форма), млн ⁻¹	21,09	40,23	44,32	12,52	26,12	29,1	21,31	52,72	36,05	19,29	16,29	34,29	32,95	35,03	40,36	20,73	23,26
Кадмий (вал. форма), млн ⁻¹	0,89	<0,25	<0,25	0,61	<0,25	<0,25	0,33	<0,25	<0,25	0,33	<0,25	0,78	<0,25	<0,25	<0,25	<0,25	<0,25
Цинк (вал. форма), млн ⁻¹	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50
Медь (вал. форма), млн ⁻¹	3,35	15,25	14,02	36,59	28	24,64	20,93	42,65	11,16	31,65	26,04	20,97	22,19	40,37	16,43	32,16	24,36
Никель (вал. форма), млн ⁻¹	<1	<1	1,2	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	1,1	<1	1,7	<1	1,4	<1	1,9
Мышьяк, млн ⁻¹	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
Ртуть, млн ⁻¹	<0,02	0,19	0,12	0,09	0,02	<0,02	0,17	<0,02	0,28	<0,02	0,17	0,23	<0,02	0,14	0,13	0,42	0,05
Марганец, млн ⁻¹	>130	>130	>130	22,9	70	76,6	71,9	71,4	62,8	91,6	125,8	89,6	26,1	111,4	42,5	77,8	61,7
Сера общая, млн ⁻¹	2360	2153	2118	4920	4833	3365	2063	2627	1678	3605	3488	2972	2208	2338	1104	4188	4564
Фосфор, млн ⁻¹	68	51	30	669	510	2035	1137	859	1335	1102	796	1242	1573	468	2203	1350	914
Азот нитритный, млн ⁻¹	1,447	3,912	2,321	2,343	6,974	3,752	0,687	0,664	1,655	3,282	8,265	3,482	0,717	0,951	1,278	2,732	9,187
Азот нитратный, млн ⁻¹	73	31	32	217	188	152	42	75	38	187	160	141	26	62	36	138	173
Азот аммонийный, млн ⁻¹	43,1	87	29,5	>10000	>10000	2911,4	509,9	173,2	171,2	>10000	>10000	3949,9	410,6	167,8	184,2	>10000	>10000
Формальдегид, млн ⁻¹	0,61	0,21	4,84	4,54	4,85	3,85	4,51	3,12	5,74	3,78	5,2	5,82	4,56	4,59	4,98	5,56	4,31
Сульфат-ионы, млн ⁻¹	992	693	972	2644	2461	1362	1201	1058	677	1910	1597	1536	1158	931	721	2089	1719
Цианиды, млн ⁻¹	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
Фенол, млн ⁻¹	13,91	8,59	6,78	38,72	40,84	43,05	14,59	6,75	3,87	34,16	46,76	34,36	13,88	5,13	2,74	50,27	41,74
Сухой остаток, млн ⁻¹	5023	4827	4018	11719	7771	6888	5435	3118	6132	11327	7087	3134	5590	4273	4563	12196	8271
Нефтепродукты, млн ⁻¹	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	50	29	21	<20	<20	<20	52	25
Хлорид-ионы, млн ⁻¹	475	485	384	1455	1366	1630	374	554	997	1226	1308	1315	618	751	622	959	1160
Натрий, млн ⁻¹	31	28	66	85	26	41	46	49	60	100	32	61	82	57	93	65	29
Калий, млн ⁻¹	180	170	111	145	239	254	110	200	215	257	288	184	113	141	234	259	272

Показатель	Порядковый номер/номер скважины с глубиной отбора																
	222	223	224	225	226	227	228	229	230	231	232	233	234	235	236	237	238
	50-4	50-5	50-7	50-10	53-1	53-2	53-3	53-4	53-5	53-7	57-1	57-2	57-3	57-5	57-7	57-10	57-15
рН, ед. рН	7,72	7,5	7,76	8,45	6,81	7,11	7,82	7,65	7,39	8,51	8,37	8,91	8,38	8,65	8,81	9,43	9,71
Свинец (вал. форма), млн ⁻¹	32,86	37,16	24,04	34,36	22,26	22,69	30,82	27,51	38,22	50,82	4,36	5,13	12,28	19,88	38,14	44,67	52,22
Кадмий (вал. форма), млн ⁻¹	0,4	0,73	<0,25	<0,25	0,48	0,71	<0,25	<0,25	<0,25	<0,25	0,34	0,49	<0,25	<0,25	0,28	<0,25	<0,25
Цинк (вал. форма), млн ⁻¹	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50
Медь (вал. форма), млн ⁻¹	12,33	19,48	35,53	24,13	34,29	36,52	21,01	15,85	29,38	19,55	13,01	31,64	6,58	17,88	32,36	6,72	15,57
Никель (вал. форма), млн ⁻¹	1,3	<1	1,2	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	1,1	<1	1,8	<1	<1	<1
Мышьяк, млн ⁻¹	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
Ртуть, млн ⁻¹	0,23	0,27	0,03	0,04	<0,02	0,06	0,19	0,12	0,04	<0,02	0,27	0,16	0,17	0,21	0,18	0,14	0,12
Марганец, млн ⁻¹	59,1	98,8	27,7	105,4	75,8	32,1	35,7	97,4	86,2	37	111,2	52	122,2	81	112,4	54,7	127,6
Сера общая, млн ⁻¹	4316	2177	1352	2119	5631	4258	3596	2558	2947	1768	1678	2461	2229	1347	2556	1644	2484
Фосфор, млн ⁻¹	745	790	780	986	1048	1391	704	356	1993	1170	687	577	1503	934	1212	1587	636
Азот нитритный, млн ⁻¹	3,613	0,536	0,624	1,564	2,952	7,417	3,132	0,511	0,672	1,227	0,692	0,366	0,344	0,081	0,833	0,733	0,422
Азот нитратный, млн ⁻¹	148	55	60	40	166	189	52	39	21	12	137	124	13	22	19	23	15
Азот аммонийный, млн ⁻¹	>10000	517,9	234,7	221,3	>10000	>10000	2317,8	118,6	47,3	23,7	138,9	104	110,2	47,6	32,1	40,9	22,8
Формальдегид, млн ⁻¹	5,56	5,78	5,18	4,57	5,67	4,52	6,47	2,14	2,48	4,14	6,88	7,25	4,85	3,66	4,77	3,57	3,38
Сульфат-ионы, млн ⁻¹	1344	1411	771	827	2206	1662	1096	532	551	893	1135	987	1179	1084	717	1959	1659
Цианиды, млн ⁻¹	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
Фенол, млн ⁻¹	50,51	19,35	10,18	4,19	3,45	6,83	12,46	26,98	28,45	24,42	5,44	3,87	1,11	0,7	3,89	6,13	2,62
Сухой остаток, млн ⁻¹	8932	5540	2460	2678	6612	5690	6726	4709	3280	5374	4603	4659	3521	3567	3358	3318	2503
Нефтепродукты, млн ⁻¹	19	<20	<20	<20	41	40	31	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20
Хлорид-ионы, млн ⁻¹	1144	647	558	1078	841	1111	1558	688	780	511	1095	923	653	873	707	869	523
Натрий, млн ⁻¹	56	54	28	72	68	27	33	68	55	88	54	68	47	19	58	64	55
Калий, млн ⁻¹	261	136	166	122	327	192	223	98	156	207	199	156	87	134	77	55	172

Показатель	Порядковый номер/номер скважины с глубиной отбора																
	239	240	241	242	243	244	245	246	247	248	249	250	251	252	253	254	255
	59-2	59-3	59-4	59-5	59-7	59-10	61-1	61-2	61-3	61-5	61-7	61-10	66-1	66-2	66-3	66-5	66-7
рН, ед. рН	7,56	7,1	7,98	7,33	7,86	8,25	8,94	9,37	9,24	8,91	9,07	9,35	7,98	8,8	8,68	9,72	9,18
Свинец (вал. форма), млн ⁻¹	22,12	30,68	35,09	40,14	41,39	43,15	5,45	10,63	23,95	23	22,74	46,38	7,77	7,35	18,86	20,52	50,3
Кадмий (вал. форма), млн ⁻¹	<0,25	0,3	<0,25	0,49	0,25	<0,25	<0,25	<0,25	0,63	0,57	0,25	<0,25	0,27	<0,25	<0,25	<0,25	0,32
Цинк (вал. форма), млн ⁻¹	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50
Медь (вал. форма), млн ⁻¹	38,65	30,7	19,51	27,43	34,71	19,66	7,98	20,01	5,21	3,26	9,56	25,14	9,68	33,24	7,81	14,68	38,37
Никель (вал. форма), млн ⁻¹	2	1,7	1,3	<1	1,5	<1	1,6	1,7	<1	<1	1,4	<1	1,4	<1	1,5	<1	<1
Мышьяк, млн ⁻¹	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
Ртуть, млн ⁻¹	0,31	0,29	0,19	0,21	0,22	<0,02	0,09	0,22	0,1	0,14	0,04	0,23	0,09	0,12	0,2	0,31	0,3
Марганец, млн ⁻¹	79,6	99,9	71	103,7	110,8	57,2	66,2	128,8	117,3	27,4	25,6	24,4	118,5	55,3	32,3	68,5	49,9
Сера общая, млн ⁻¹	5522	5244	4406	2219	3022	1536	3742	2815	3090	2659	2272	1915	1721	1730	2446	952	2615
Фосфор, млн ⁻¹	1865	1628	2225	1975	1736	1463	646	1251	2296	1782	989	1689	1195	1703	2217	950	1994
Азот нитритный, млн ⁻¹	2,463	8,453	3,644	0,487	0,832	1,62	2,742	4,321	0,181	1,262	2,821	2,479	0,552	0,567	0,294	0,153	1,452
Азот нитратный, млн ⁻¹	246	176	163	35	46	44	16	11	43	50	37	33	157	64	8	17	29
Азот аммонийный, млн ⁻¹	>10000	>10000	2711,7	668,3	146,8	103,1	527,6	91,6	134,9	158,4	94,8	45,5	211,3	98,8	75,2	125,4	73,1
Формальдегид, млн ⁻¹	5,08	4,82	4,53	6,4	4,26	5,72	2,94	1,1	1,16	0,48	0,16	3,88	6,13	7,65	4,57	2,8	3,56
Сульфат-ионы, млн ⁻¹	1433	1871	1540	863	933	804	1586	1351	1280	1500	1324	1198	1482	966	1896	712	829
Цианиды, млн ⁻¹	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
Фенол, млн ⁻¹	63,56	58,88	37,15	12,63	10,33	5,13	22,73	14,56	14,11	9,66	7,94	4,57	4,28	7,88	4,65	10,44	7,31
Сухой остаток, млн ⁻¹	5366	7013	8102	5363	3071	5980	4309	5553	5878	3964	4155	5707	3897	3855	3485	3633	4077
Нефтепродукты, млн ⁻¹	53	34	14	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20
Хлорид-ионы, млн ⁻¹	886	1471	1190	864	674	837	871	745	655	723	500	342	1187	553	827	1213	487
Натрий, млн ⁻¹	64	36	44	62	78	59	67	71	32	37	29	86	50	77	49	19	53
Калий, млн ⁻¹	313	255	198	125	149	164	325	155	132	214	117	147	222	163	42	88	31

ПРИЛОЖЕНИЕ 6 – РЕЗУЛЬТАТЫ ХИМИЧЕСКОГО АНАЛИЗА ОТХОДОВ

Показатель	Номер пробы														
	1-О	2-О	3-О	4-О	5-О	6-О	7-О	8-О	9-О	10-О	11-О	12-О	13-О	14-О	15-О
рН, ед. рН	5,53	5,81	5,97	5,59	6,6	5,98	6,99	6,73	5,94	5,9	4,81	7,01	5,97	6,75	5,83
Свинец, млн ⁻¹	21,84	12,04	11,19	25,48	15,58	13,59	15,06	12,04	14,29	9,84	15,2	13,55	11,85	9,73	13,91
Кадмий, млн ⁻¹	<0,25	<0,25	<0,25	<0,25	<0,25	<0,25	<0,25	<0,25	<0,25	<0,25	<0,25	<0,25	<0,25	<0,25	<0,25
Цинк, млн ⁻¹	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50
Медь, млн ⁻¹	36,56	12,26	9,27	19,84	22,34	31,87	27,55	21,69	12,78	29,12	29,78	15,79	37,54	24,94	31,1
Никель, млн ⁻¹	1,5	<1	<1	1,6	1,1	2,3	2,1	1,7	2	1,7	1,7	<1	1,8	1,5	1,9
Мышьяк, млн ⁻¹	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
Ртуть, млн ⁻¹	0,89	0,71	0,76	0,61	0,24	0,5	1,02	0,57	1,01	0,78	0,24	0,21	0,2	0,18	0,24
Марганец %	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Сера, млн ⁻¹	4350	5097	4858	9128	2936	5484	2005	9737	1251	4831	4876	1582	4314	1308	4564
Азот нитритный, млн ⁻¹	9,08	16,1	18,03	8,59	8,92	1,62	0,153	189,8	0,404	20,789	11,54	2,34	10,953	3,72	11,11
Азот нитратный, млн ⁻¹	194	621	558	213	35	71	56	32	28	653	241	48	212	121	240
Азот аммонийный, млн ⁻¹	2632,3	5229,5	6910,5	8254,8	3155,8	2880	2142	>10000	1601,9	6228,3	3559,2	2776,4	3440,4	2198	4063
Сульфат-ионы, млн ⁻¹	2408	2292	1064	4156	2715	1531	1044	5195	198	1193	1630	2449	1496	891	1736
Цианиды, млн ⁻¹	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
Фенол, млн ⁻¹	13,22	>100	40,25	52,05	6,73	10,54	21,75	81,37	2,8	31,51	15,21	6,74	45,64	5,79	14,02
Сухой остаток, млн ⁻¹	6394	5407	8879	6685	5471	5687	4265	13860	4368	10238	5720	4356	6081	6527	5075
Нефтепродукты, млн ⁻¹	201	120	376	325	151	58	160	199	64	299	145	48	150	75	143
Влажность, %	15,8	61,24	69,52	65,71	13,81	9,97	12,15	72,73	16,09	63,28	11,28	54,3	11,47	52,42	18,76
Зольность, %	83,7	25,2	21,3	29,1	85,4	81	83,4	23,3	85	24,9	89,3	28,4	79	29,8	81,7
Хлорид-ионы, млн ⁻¹	1166	2549	3628	1204	2312	1253	2011	3638	1073	4317	899	780	1079	909	1071
Натрий, млн ⁻¹	121	551	658	457	85	93	36	629	23	521	62	89	65	103	65
Калий, млн ⁻¹	205	285	284	633	21	157	98	1321	58	279	187	163	162	176	158

ПРИЛОЖЕНИЕ 7 – ИЛЛЮСТРАЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ ВРЕМЕННОЙ ПЛОЩАДКИ КОМПСТИРОВАНИЯ



Биофильтр



Блок управления и контроля аэрацией



Узел подачи воздуха на аэрацию



Площадка компстирования

ПРИЛОЖЕНИЕ 8 – АКТЫ И СПРАВКИ О ВНЕДРЕНИИ ДИССЕРТАЦИОННОЙ РАБОТЫ

Врио министра лесного хозяйства,
охраны окружающей среды и
природопользования
Самарской области

М.В. Студенников

М.П.



АКТ

внедрения результатов научно-исследовательских разработок

Министерством лесного хозяйства, охраны окружающей среды и природопользования Самарской области в 2019 году инициировано выполнение работ по мероприятию: «Рекультивация территорий в районе сельского поселения Рождествено Самарской области, техногенно деградированных несанкционированным размещением спиртовой барды (в том числе проектирование)».

Территория рекультивации представлена антропогенными образованиями спиртовой барды. На рассматриваемой территории выделены участки, загрязненные деятельностью спиртзавода - нарушенные почвы, а также антропогенные образования, оказывающие негативное воздействие на окружающую среду путем вымывания загрязняющих веществ и распространения неприятных запахов. В юго-восточной части участка располагается бардохранилище спиртзавода ООО «Рождественское», представляющее собой земляной амбар неправильной трапециевидной формы, размерами 180x150 метров, разделенный дамбами на 4 секции, протяженные с запада на восток. На севере обследуемой территории располагается малый участок розлива спиртовой барды клиновидной формы («малый накопитель»). В средней части обследуемой территории находится третий участок, нарушенный размещением спиртовой барды – большой накопитель, протяженностью с запада на восток – 510 метров, с севера на юг – 210 метров. Рекультивация территории требует ликвидации антропогенных образований и активизации почвенных восстановительных процессов.

При выполнении проектно-изыскательских работ под руководством д.т.н. Тупицыной Ольги Владимировны специалистами ФГБОУ ВО «СамГТУ» в составе:

к.т.н. Пыстина Виталия Николаевича, к.т.н. Ермакова Василия Васильевича, аспиранта Шерстобитова Данила Николаевича, инженера кафедры Губарь Елены Викторовны проведены детальные исследования по определению деградации почвенного покрова, геологической среды и биотопов в результате размещения отходов производства спирта. Выполнена оценка химических, физических и физико-химических свойств отходов производства спирта различного состава и состояния. На основе выполненных работ разработана и апробирована технология обезвреживания и утилизация отходов спиртовой барды методом компостирования в составе временных сооружений.

Применение данной технологии позволит провести обезвреживание и/или утилизацию отходов производства спирта непосредственно на месте проведения работ в более короткие сроки по сравнению с имеющимися аналогичными технологиями.

Специалистами ФГБОУ ВО «СамГТУ» предложены решения, позволяющие ускорить обезвреживание и утилизацию отходов спиртовой барды, заключающиеся в расчете оптимального количества, а также периодичности внесения порообразующих добавок (древесных опилок) и «незрелого» компоста в зависимости от степени разложения органических составляющих в компостируемой массе.

Применение технологии на территории сельского поселения Рождествено Самарской области в границах Национального парка «Самарская Лука» позволит обезвредить до 25 тыс. м³ отходов застарелой спиртовой барды с получением на их основе грунтоподобного рекультивационного материала. Применение данного метода позволит провести рекультивацию территорий, нарушенных при размещении отходов спиртовой барды, без вывоза отходов и строительства капитальных сооружений. Ожидаемый ежегодный экономический эффект в результате применения разработанной технологии составит не менее 400 млн. руб. в ценах 2023 года. Кроме того, предложенные проектные решения позволят сократить длительность рекультивационных работ с 24 месяцев до 8 месяцев.

Реализация представленной технологии отвечает требованиям технологических регламентов и экологической безопасности, что подтверждено положительными заключениями государственных экспертиз.



Общество с ограниченной ответственностью "Геосинтетика"
 663090, Красноярский край,
 г.о. город Дивногорск, г. Дивногорск, проезд Нижний, зд.13/11, помещ.9
 тел.: (391) 250-01-61
 ИНН 2464250942
 КПП 244601001
 ОГРН 1132468013567
 ОКПО 21852109

01.11.2024г.

АКТ ВНЕДРЕНИЯ результатов научно-исследовательских разработок

Мы, нижеподписавшиеся,
 со стороны ФГБОУ ВО «Самарский государственный технический университет»: доцент кафедры ХТиПЭ, к.т.н., Пыстин В.Н., доцент кафедры ХТиПЭ, к.т.н., Ермаков В.В., профессор кафедры ХТиПЭ, д.т.н. Тупицына О.В., аспирант кафедры ХТиПЭ Шерстобитов Д.Н., инженер кафедры ХТиПЭ Губарь Е.В., со стороны ООО «ГЕОС» руководитель проекта Рязанов А.А.,
 составили настоящий акт о том, что при выполнении работ по реализации мероприятия «Рекультивация территорий в районе сельского поселения Рождествено Самарской области, техногенно деградированных несанкционированным размещением спиртовой барды (в том числе проектирование)» по проекту, разработанному специалистами ФГБОУ ВО «СамГТУ» использованы решения по ускорению процесса компостирования отходов спиртовой барды. Применение технологии позволило снизить продолжительность цикла обезвреживания отходов спиртовой барды за счет внесения оптимального количества незрелого компоста, рассчитанного на основе разложения органических составляющих в компостируемой массе.

от ФГБОУ ВО «СамГТУ»:

 / Пыстин В.Н. /

 / Ермаков В.В. /

 / Тупицына О.В. /

 / Шерстобитов Д.Н. /

 / Губарь Е.В. /

от ООО «ГЕОС»:

 / Рязанов А.А. /





МИНОБРНАУКИ РОССИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Самарский государственный технический университет»
(ФГБОУ ВО «СамГТУ»)

ул. Молодогвардейская, 244, гл. корпус, г. Самара, 443100
Тел.: (846) 278-43-11, факс: (846) 278-44-00, e-mail: rector@samgtu.ru
ОКПО 02068396, ОГРН 1026301167683, ИНН 6315800040, КПП 631601001

АКТ ВНЕДРЕНИЯ результатов научно-исследовательских разработок

Материалы диссертационной работы Шерстобитова Д.Н. по теме «Метод ликвидации загрязнений биотопа, сформированного накопителями отходов спиртовой промышленности» используются:

- в учебном процессе при проведении лекционных и практических занятий по курсам «Методы исследования и оценки экологической опасности объектов техносферы» и «Основы планирования и математической обработки результатов эксперимента»;

- в курсовом и дипломном проектировании при подготовке студентов по специальностям 18.03.02 «Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии», 18.04.02 «Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии».

Заведующий кафедрой ХТиПЭ,
д.т.н., доцент

О.В. Тупицына

Первый проректор – проректор по учебной
работе,
д.э.н., доцент



Д.Е. Овчинников