

А. Б. Невзорова

**ВЛИЯНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА
НА СФЕРУ ОБРАЩЕНИЯ С АКТИВНЫМ
ИЛОМ СТОЧНЫХ ВОД**

**Гомель
ГГТУ им. П. О. Сухого
2022**

УДК 628.316.2

Невзорова, А. Б. Влияние изменения климата на сферу обращения с активным илом сточных вод / А. Б. Невзорова. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2022. – 109 с. : ил. – ISBN 978-985-535-509-1.

Изложена оценка текущего и будущего влияния климата на сферу обращения с илом очистных сооружений коммунальных сточных вод. Описаны основные экологические проблемы по хранению, использованию и утилизации избыточного ила на иловых площадках. Приведена оценка значимости эколого-социального риска влияния климатических факторов на хранение накопленного ила. Рассмотрены лучшие международные практики и рекомендации по обращению с илом с учетом изменения климата. Приведены рекомендации по обращению с осадками сточных вод в Республике Беларусь.

Для заинтересованных в этой области читателей.

Табл. 20, ил. 24, список лит. – 55 назв.

Рецензенты: зав. кафедрой «Водоснабжение, химия и экология»
д-р техн. наук, проф. *Е. Ф. Кудина*;
зав. кафедрой экологии Гомельского государственного
университета имени Франциска Скорины канд. биол. наук,
доц. *О. В. Ковалева*;
доц. кафедры «Водоснабжение, химия и экология»
канд. техн. наук, доц. Белорусского государственного
университета транспорта *О. К. Новикова*

*Рекомендовано к изданию Советом ГГТУ им. П. О. Сухого
(протокол № 3 от 16.11.2022 г.)*

ISBN 978-985-535-509-1

© Невзорова А. Б., 2022

© Оформление. Учреждение образования
«Гомельский государственный технический
университет имени П. О. Сухого», 2022

Оглавление

Введение	5
Глава 1. Статистика образования ила очистных сооружений и объемы складированного ила в стране	7
1.1. Образование активного ила на очистных сооружениях и влияние климата на изменение количества активного ила	7
1.2. Скорость образования ила на очистных сооружениях Республики Беларусь и влияние климата на изменение количества активного ила	9
1.3. Расчет количества активного ила, вывозимого на иловые поля	16
Выводы по главе 1	19
Глава 2. Экологические проблемы хранения, использования и переработки ила в Беларуси	20
2.1. Общие экологические проблемы иловых площадок	20
2.2. Анализ работы иловых площадок Минской очистной станции	23
2.3. Очистные сооружения и иловые площадки Мостовского района, г. Крупки и г. Миоры	29
2.4. Общие сведения о хранении, использовании и переработки ила в Беларуси	35
2.5. Обзор наилучших мировых технологий обработки осадков сточных вод	37
2.5.1. Очистные сооружения г. Гданьска (Польша)	37
2.5.2. Очистные сооружения в г. Щецине (Польша)	39
2.5.3. Очистные сооружения «Даугавгрива» (Латвия)	40
2.5.4. Очистные сооружения в г. Юрмале (Латвия)	41
2.5.5. Центральные очистные сооружения в г. Любеке (Германия)	41
2.5.6. Очистные сооружения в г. Кохтла-Ярве (Эстония)	42
2.5.7. Очистные сооружения «Виикинмэки» и «Суоменоя» (Финляндия)	43
Выводы по главе 2	44
Глава 3. Влияние изменения климата на накопленный ил очистных сооружений	46
3.1. Общие сведения о климатических изменениях на территории Беларуси	46

3.2. Климатическая характеристика 2020 года	47
3.3. Климатические факторы (температура, осадки, опасные явления и др.) и их влияние на состояние иловых площадок	51
3.4. Оценка значимости риска влияния климата на хранение накопленного ила очистных сооружений	53
Выводы по главе 3	63
Глава 4. Обзор международных рекомендаций по обращению с илом с учетом изменения климата (адаптация к изменению климата)	64
4.1 Обзор международной практики по обращению с илом с последующей утилизацией	64
4.2. Термические способы утилизации	65
4.3. Пиролиз	66
4.4. Анаэробное сбраживание	67
4.5. Компостирование	71
4.6. Производство кормового белка	71
Выводы по главе 4	72
Глава 5. Рекомендации по обращению с осадками сточных вод в Республике Беларусь	73
5.1. Общие рекомендации по обращению с осадками сточных вод для Республики Беларусь	73
5.1.1. Внесение осадка в почву	74
5.1.2. Получение энергии из отходов	79
5.1.3. Установки сжигания твердых коммунальных отходов	82
5.2. Дальнейшее использование иловых площадок	86
5.3. Участие сообществ в развитии систем очистки сточных вод	90
Выводы по главе 5	99
Заключение	100
Литература	101
Список рисунков	107
Список таблиц	108

ВВЕДЕНИЕ

Климат Беларуси в последнее десятилетие подвержен глобальному изменению [24, 49, 52]. Климатические прогнозы показывают, что чрезвычайно высокие температуры, потеря снежного покрова и рекордно низкие речные стоки, вероятно, станут более распространенными. Сезон осадков – когда за засухой следуют чрезвычайно влажные годы – также, вероятно, станет более распространенным явлением.

Чтобы избежать нежелательных социальных, экономических и экологических последствий, государственным системам водоснабжения, включая сектор сточных вод, необходимо будет адаптироваться к более экстремальным климатическим условиям и растущей нехватке воды.

Сектор сточных вод играет решающую роль в защите здоровья населения и окружающей среды. Сотни государственных учреждений и предприятий различной формы отвечают за сбор, очистку и утилизацию воды, загрязненной в результате использования человеком, а также за поддержание обширной системы труб и установок для сбора, очистки и утилизации этой воды. Большая часть очищенных сточных вод сбрасывается в различные водные объекты (водоемы и водотоки), расположенные на территории Республики Беларусь. По-прежнему высокую антропогенную нагрузку, связанную с поступлением сточных вод, в пределах республики испытывают следующие участки рек: 1) р. Свислочь (г. Минск – населенный пункт Королицевичи, населенный пункт Подлосье); 2) р. Днепр (ниже г. Могилева); 3) р. Уза (ниже г. Гомеля); 4) р. Неман (ниже г. Гродно); 5) р. Плисса (выше г. Жодино); 6) р. Западный Буг (г. Брест); 7) р. Уша (ниже г. Молодечно); 8) р. Ясельда (ниже г. Березы); 9) р. Морочь (выше населенного пункта Яськовичи) [16]. Приоритетными загрязняющими веществами и показателями в составе сбрасываемых сточных вод (имеющими наибольшие значения кратности превышения среднегодовых концентраций по отношению к ПДК для поверхностных водных объектов) для большинства бассейнов рек являются аммоний-ион, фосфат-ион, нитрит-ион, легкоокисляемые органические вещества (по БПК₅), железо общее [43].

Кроме того, сектору водоснабжения и водоотведения приходится адаптироваться к постоянно меняющемуся комплексу законов и нормативных актов, направленных на защиту здоровья человека и окру-

жающей среды. Изменение климата означает, что водные объекты, в настоящее время получающие очищенные сточные воды, будут испытывать больший стресс, что затруднит защиту качества воды [31]. Вместе с тем сильные осадки или большое количество жарких дней без атмосферных осадков бросят вызов сектору и потребуют инвестиций, которые требуются для повышения гибкости существующих систем и позволят коллективам Водоканалов адаптироваться к быстро меняющимся условиям.

Бережливое рациональное водопользование, включающее в себя и эффективные технологии водоочистки, – настоятельная необходимость. Однако выполненные согласно современным технологиям очистные сооружения, возвращая в природу чистую воду, генерируют отходы, самыми неприятными из которых являются активные илы, отработанные или избыточные, вместе образующие так называемые ОСВ – осадки сточных вод [29, 35].

На каждый килограмм суммарных органических загрязнителей в аэротенке, где происходит отстаивание стоков, образуется 350 грамм активного ила. Поддержание баланса активного ила – один из важнейших факторов работы очистных сооружений, потому что как недостаток, так и избыток его негативно влияют на процесс водоочистки [40]. Таким образом, образующийся избыточный ил все время приходится отводить из аэротенков, депонируя в картах хранения.

Площадь иловых площадок в Республике Беларусь, на которых находятся осадки коммунальных очистных сооружений, в 3–5 раз превышает площадь полигонов твердых коммунальных отходов. Площадь иловых площадок, на которых осадки хранятся более 20 лет, составляет более 2000 га. В настоящее время в Республике Беларусь накоплено более 4 млн т осадков, которые размещаются на иловых площадках [39]. Инвентаризация и обследование иловых площадок, ранжирование осадков в зависимости от их состава и свойств, возможности использования и обезвреживания в республике не проводились.

Поэтому необходимо выяснить перспективу появления рисков для окружающей среды Беларуси на основе анализа оценки текущего и будущего влияния климата на сферу обращения с илом очистных сооружений коммунальных сточных вод.

Выражаю благодарность канд. техн. наук, доц. О. К. Новиковой (БелГУТ) и исполнительному директору МОО «Экопартнерство» А. Бушмович за ценные советы и помощь при подготовке данной монографии.

ГЛАВА 1. СТАТИСТИКА ОБРАЗОВАНИЯ ИЛА ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЙ И ОБЪЕМЫ СКЛАДИРУЕМОГО ИЛА В СТРАНЕ

1.1. Образование активного ила на очистных сооружениях и влияние климата на изменение количества активного ила

Ежегодно в мире образуется 359 млрд кубометров сточных вод [3]. Сколько из них подвергается очистке? Около 48 % этой воды в настоящее время сбрасывается без очистки. Это намного ниже, чем часто упоминаемая цифра – 80 %.

При очистке сточных вод, содержащих смесь разнообразных по химическому составу загрязнений, биомасса, осуществляющая очистку, представляет собой сообщество различных видов микроорганизмов и простейших. Ил очистных сооружений – сложноорганизованный конгломерат живых организмов на неживой основе, связанных метаболическими и трофическими процессами. Он генерируется в значительных количествах, измеряемых миллионами тонн в год, и относится к отходам IV класса опасности. Сухой остаток активного ила на 70–90 % состоит из органических веществ и на 10–30 % – из неорганических веществ. Содержание органического углерода – более 60 %. Все это делает активный ил достаточно ценным вторичным ресурсом. Утилизация иловых осадков возможна различными способами, от выбора которых зависит рентабельность производства [5].

Активный ил – биоценоз организмов, развивающихся в аэробных условиях на органических загрязнениях, содержащихся в сточной воде. Он пребывает во взвешенном состоянии в виде отдельных хлопьев. Основная роль в нем принадлежит группам бактерий, способным не только извлекать из сточной воды взвешенные и органические вещества, но и самоорганизовываться в колонии – хлопья, легко отделяемые затем от очищенной воды отстаиванием или флотацией. Активный ил состоит из живых организмов и твердого субстрата. Живые организмы активного ила представлены скоплениями бактерий и одиночными бактериями, простейшими червями, плесневыми грибами, дрожжами, актиномицетами и редко – личинками насекомых, рачков, а также водорослями и др. Активный ил в контакте с загрязненными сточными водами в условиях аэрации проходит пять фаз

развития (рис. 1.1). Фазам роста микробальной массы соответствует и динамика изменения концентрации питательных веществ, выраженных через биохимическое потребление кислорода (БПК) [36].

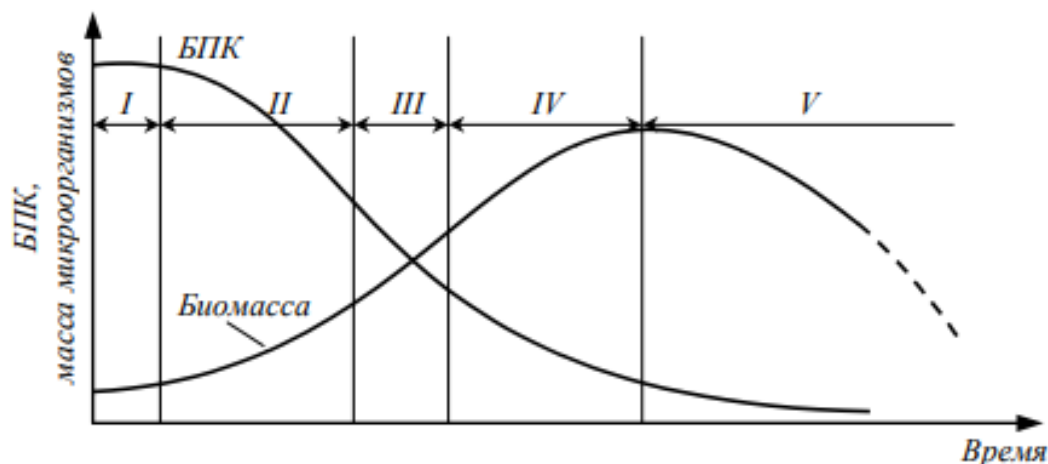


Рис. 1.1. Зависимость прироста биомассы и снижения биохимического потребления кислорода от продолжительности аэрации [5]:

I – лаг-фаза (фаза адаптации); *II* – фаза экспоненциального (ускоренного) роста микроорганизмов; *III* – фаза замедленного роста; *IV* – фаза нулевого роста (прекращения роста); *V* – фаза эндогенного дыхания (фаза самоокисления)

Основными факторами, влияющими на скорость биохимических реакций, являются:

- концентрации БПК₅, ХПК;
- содержание кислорода в сточной воде;
- температура и рН среды;
- содержание биогенных элементов, тяжелых металлов и минеральных солей.

Повышение температуры сточной воды:

- увеличивает скорость протекания очистки в 2–3 раза (справедливо в пределах температур 20–30 °С);
- снижает растворимость кислорода.

При более низких температурах замедляется процесс адаптации бактерий к новым видам загрязнений, ухудшаются процессы нитрификации, флокуляции и осаждения активного ила.

В процессе биологической очистки часть органических веществ, непрерывно поступающих со сточной водой, окисляется до углекислого газа и воды, а другая часть обеспечивает прирост биомассы

активного ила. Чтобы не допустить повышения дозы ила, в аэротенк возвращается лишь то количество ила, которое поддерживает его расчетную рабочую дозу в нем. Остальной ил в виде *избыточного* удаляется из системы «аэротенк – илоотделитель» и поступает на обработку и ликвидацию или складывается на иловых площадках.

Органическая часть активного ила в основном состоит из вещества белкового происхождения (до 50 %). Содержание жиров и углеводов составляет соответственно 30 и 10 %. В сыром осадке из первичных отстойников белков примерно в 2 раза меньше, а углеводов в 2,5–3 раза больше, чем в активном иле. Элементный состав сухого вещества активного ила колеблется в широких пределах (в % от сухой массы): углерода – 44,0–75,8; водорода – 5,8–8,2; серы – 0,9–2,7; азота – 3,3–9,8; кислорода – 12,5–43,2.

Таким образом, увеличение температуры окружающей среды сказывается на увеличении температуры сточных вод, что приводит к увеличению избыточного активного ила. Поэтому изменение климатических параметров особенно существенно отражается на работе очистных сооружений в летнее время.

1.2. Скорость образования ила на очистных сооружениях Республики Беларусь и влияние климата на изменение количества активного ила

В конце XX в. в числе обострившихся экологических проблем существенное место заняла обработка и утилизация осадков, образующихся в процессе очистки сточных населенных пунктов. Наиболее актуальной эта проблема стала для крупных городов. В Европе и в странах региона Балтийского моря существуют различные стратегии утилизации осадка [8]. В таких странах, как Нидерланды, Бельгия и Швейцария сельскохозяйственное использование осадка сточных вод запрещено или ограничено, поэтому осадок сжигают [2]. В других странах (например, в Финляндии, Эстонии и Норвегии) компостируемый осадок применяется для благоустройства зеленых зон [6]. В некоторых странах, например, в Исландии, Мальте и Греции весь осадок вывозится на полигоны твердых бытовых отходов (ТБО) [9]. В России и Беларуси было распространено обезвоживание и хранение осадков на иловых площадках.

В осадке сточных вод содержатся не только высокие концентрации биогенных элементов, таких как фосфор, азот и углерод, но и загрязняющие вещества, такие как тяжелые металлы (кадмий, ртуть) и органические загрязнители. Их концентрации в осадках сточных вод зависят от характера поступающих на очистку хозяйственно-бытовых и производственных сточных вод. Высокие концентрации меди и цинка часто поступают с хозяйственно-бытовыми сточными водами, кадмий, хром, ртуть и свинец – с производственными.

В Республике Беларусь эксплуатируется 261 очистное сооружение, из которых 200 сооружений биологической очистки сточных вод различной производительности (рис. 1.2). Из 261 очистного сооружения 57 работают неэффективно (табл. 1.1).



Рис. 1.2. Количество очистных сооружений и полей фильтрации
Источник. Доклад генерального директора ГПО «Белводоканал»
О. А. Конона на III Международной научно-практической
конференции «Научно-технический прогресс в жилищно-
коммунальном хозяйстве» (7 октября 2021 г.)

**Статистика по эффективности работы очистных сооружений
и полей фильтрации по областям Республики Беларусь**

Область	Очистные сооружения биологической очистки, ед.	Неэффективно работающие очистные сооружения, ед.	Поля фильтрации, ед.	Поля фильтрации, оказывающие негативное воздействие на окружающую среду, ед.
Брестская	20	9	321	20
Витебская	70	11	103	2
Гомельская	18	8	225	18
Гродненская	31	6	181	–
Минская	64	6	191	12
Могилевская	58	12	163	3
<i>Итого</i>	261	52	1184	55

Источник. Доклад генерального директора ГПО «Белводоканал» О. А. Кона на III Международной научно-практической конференции «Научно-технический прогресс в жилищно-коммунальном хозяйстве» (7 октября 2021 г.).

Количество осадков сточных вод, образующих на очистных сооружениях механической и биологической очистки городских сточных вод, т, можно определить по формуле

$$C = q_w P_i \cdot 10^{-6} pk + Q_{отс},$$

где q_w – расход сточных вод, м³/сут; P_i – прирост активного ила, мг/л; p – плотность активного ила, для расчетов принимается 1,1 т/м³; k – коэффициент обводненности осадка; $Q_{отс}$ – количество сырого осадка после первичных отстойников, т.

Средний суточный расход хозяйственно-бытовых сточных вод, м³/сут:

$$Q_w = k_n \frac{\sum q_{ni} N_i}{1000},$$

где k_n – коэффициент, учитывающий увеличение расхода сточных вод, связанное с функционированием учреждений, организаций и предприятий обслуживания населения и поступлением расходов иных сточных вод, принимается от 1,1 до 1,2 в зависимости от местных условий; q_{ni} – норма водоотведения на одного жителя, л/сут, принимается в зависимости от степени благоустройства района; N_i – количество жителей, чел.

Согласно строительным нормам Республики Беларусь СН 4.01.02–2019 «Канализация. Наружные сети и сооружения» прирост активного ила следует определять как сумму прироста активного ила, получаемого в процессе биологической деструкции органических веществ и прироста активного ила, получаемого в процессах удаления фосфора. Прирост активного ила, полученный в процессе биологической деструкции органических веществ, при возрасте активного ила от 4 до 25 сут и температуре иловой смеси от 10 до 12 °С, следует принимать по табл. 10.9 СН 4.04.02–2019 «Системы связи и диспетчеризация инженерного оборудования жилых и общественных зданий». Для других условий прирост активного ила, полученный в процессе биологической деструкции органических веществ, следует определять расчетом в зависимости от температуры, возраста ила, БПК₅ и содержания взвешенных веществ в сточных водах, поступающих на биологическую очистку [35].

Прирост активного ила, полученный в процессе биологического удаления фосфора, следует принимать исходя из удельного прироста 3 кг активного ила на 1 кг удаляемого фосфора.

Прирост активного ила на очистных сооружениях, где не реализована биологическая очистка от соединений азота и фосфора, рассчитывается по формуле

$$P_i = 0,8C_{cdp} + K_g + L, \text{ мг/л,}$$

где C_{cdp} – концентрация взвешенных веществ в составе сточных вод, поступающих на биологическую очистку, мг/л; K_g – коэффициент прироста 0,3 согласно СН 4.01.02–2019; L – концентрация БПК₅ в составе сточных вод, поступающих на биологическую очистку, мг/л.

Количество сырого осадка после первичных отстойников, т, рассчитывается по формуле

$$Q_{отс} = q_w(C_{ев} - C_{ex})10^{-6},$$

где q_w – расход сточных вод, м³; $C_{ев}$ – содержание взвешенных веществ в воде перед установкой, мг/л; C_{ex} – содержание взвешенных веществ в осветленной воде, мг/л.

На основании вышеизложенной методики были проведены расчеты по осадку активного ила для указанных сооружений.

Примечание. Протокол КХА – это пакет удостоверений, содержащих информацию о молекулярном составе выброса в процентах к сухому веществу, либо

в формулировке миллиграмм/килограмм. Помимо этого протокол содержит информацию о методике проведения лабораторных исследований, сведения о предприятии и лаборатории, предоставивших свои услуги. Результаты отбора проб и проведения измерений в области охраны окружающей среды оформляются соответствующими актами и протоколами по формам, утвержденным в постановлении Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь от 5 июля 2013 г. № 35 «Об установлении форм актов отбора проб и проведения измерений и протоколов проведения измерений в области охраны окружающей среды».

Суммарная мощность очистных сооружений по областям и г. Минску на 2019 г. составляет 2579 млн м³/год (табл. 1.2). В то же время фактический объем нормативно-очищенных и недостаточно очищенных сточных вод не превышает 857 млн м³.

Таблица 1.2

Статистика по суммарной мощности очистных сооружений по областям и г. Минску за 2013–2019 гг., млн м³/год

Регион Беларуси	2013 г.	2014 г.	2015 г.	2016 г.	2017 г.	2018 г.	2019 г.
Брестская область	305,9	313,7	318,2	332,0	325,8	360,7	384,4
Витебская область	211,9	215,6	215,7	202,1	203,5	360,6	376,1
Гомельская область	238,2	240,0	239,5	241,1	266,7	425,4	442,6
Гродненская область	215,7	215,4	215,2	212,3	210,4	236,7	235,2
г. Минск	334,1	348,1	348,3	378,7	393,9	398,7	414,4
Минская область	271,4	273,5	271,4	227,3	224,6	309,3	432,9
Могилевская область	256,8	265,4	264,6	251,8	259,8	273,5	294,4
Республика Беларусь	1834,0	1871,71	1872,9	1845,4	1884,8	2365,1	2579,9

Источник. Охрана окружающей среды в Республике Беларусь : ст. сб. – Минск, 2020. – С. 123.

Степень загрузки очистных сооружений по крупным городам в условиях сохраняющегося неполного использования производственных мощностей крупных предприятий остается на среднем уровне – 76 %, в том числе: Слуцк (94 %), Брест (89 %), Минск (86 %), Витебск (83 %), Гомель (78 %), Солигорск (78 %), Жлобин (77 %), Жодино (77 %), Молодечно (76 %), Дзержинск (76 %).

По средним и малым городам этот показатель снижается в среднем до 50 %.

Однако многие очистные сооружения принимают сточные воды с концентрацией, по отдельным ингредиентам превышающей норми-

руемые значения. Кроме того, имеются случаи перегрузки некоторых, требующих реконструкции или находящихся в процессе реконструкции очистных сооружений по объему принимаемых стоков (например, г. Гродно). В результате в водные объекты поступают недостаточно очищенные сточные воды, содержащие различные загрязняющие вещества.

В процессах биологической очистки сточных вод на очистных сооружениях образуется значительное количество отработанного активного ила, которое накапливается на иловых полях.

Воздействие атмосферных осадков на расположенный на иловых картах отработанный активный ил приводит к загрязнению как поверхностных, так и подземных вод. Складирование активного ила на иловых площадках приводит к накоплению в почве солей тяжелых металлов, они, в свою очередь, загрязняют почвенный покров и, как следствие, оказывают негативное влияние на атмосферный воздух. Все это отрицательно сказывается на состоянии окружающей среды, здоровье человека и животных [28].

В Классификаторе отходов, утвержденном в соответствии со статьей 11 Закона Республики Беларусь «Об отходах», осадки (шламы) биомеханической обработки сточных вод определяются как отходы. Согласно классификационному каталогу отходов избыточный ил относится к 4 классу опасности (малоопасные вещества), однако в его составе могут присутствовать патогенные организмы, что при стечении неблагоприятных климатических факторов может привести к биологическому загрязнению окружающей среды.

Так как осадки сточных вод очистных сооружений представляют собой отдельный вид отходов, образование которых в условиях крупных городов составляет около одной трети общего количества отходов производства и потребления, то необходимо привести сравнительные данные по количеству осадков сточных вод, образующихся на очистных сооружениях различных европейских стран (табл. 1.3). А также рассчитать, сколько приходится осадка на одного жителя страны. Как видим из табл. 1.3, по сравнению с соседними странами достаточно хорошо протекают процессы биологической очистки на очистных сооружениях, поэтому образуется небольшое количество осадка (20 кг/год) активного ила на жителя. Однако в Польше, где вкладываются большие инвестиции в очистные сооружения и инновационные технологии, остается всего 24 кг/год осадка активного ила на жителя.

В настоящее время на очистных сооружениях предприятия Водоканала отработанный активный ил складировать на иловых пло-

щадках, которые представляют собой технологические сооружения, предназначенные для обезвоживания осадков сточных вод, где он сушится до влажности около 75–80 % в естественных условиях. И поэтому иловые площадки не могут классифицироваться как объекты размещения отходов.

Таблица 1.3

**Количество осадков сточных вод, образующихся
на очистных сооружениях различных стран**

Страна	Количество осадка в год по сухому веществу, т/год		Число жителей в стране, млн человек	Килограмм осадка на одного жителя
	2005 г.	2020 г.	на 2020 г.	
Республика Беларусь	150 000	190 000	9,355	20
Латвия	23 950	50 000	1,908	26
Эстония	33 000	33 000	1,328	24
Литва	71 252	80 000	2,790	28
Швеция	210 000	250 000	10,313	24
Дания	130 000	140 000	5,762	24
Финляндия	147 000	155 000	5,526	28
Польша	523 000	950 000	38,313	24
Германия	1 523 674	1 950 000	83,349	23
Россия	2 059 000	2 000 000	146,171	13

В соответствии с СН 4.01.02–2019 иловые площадки допускается применять для обезвоживания осадка при производительности очистных сооружений до 25 000 м³/сут. При большей производительности следует предусматривать сооружения по механическому обезвоживанию осадка, а также дополнительно, при необходимости, аварийные иловые площадки вместимостью, обеспечивающей подачу на них осадка в течение времени ликвидации аварии на сооружениях механического обезвоживания, но не превышающей 20 % годового количества осадка. В период проектирования и строительства очистных сооружений биологической очистки данные рекомендации не действовали и иловые площадки являлись основным сооружением обезвоживания осадков сточных вод.

По данным Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь на 30 ноября 2021 г., а также согласно Перечню объектов хранения и захоронения отходов произ-

водства [RXZO.pdf (minpriroda.gov.by)] в Беларуси функционирует 160 полигонов для захоронения ТКО и 639 мини-полигонов в сельской местности. По данным отчета за 2020 г. Оператора вторичных материальных ресурсов Беларуси, около 25 % твердых коммунальных отходов идет на переработку и 75 % – на захоронение на полигонах твердых коммунальных отходов (ТКО) [operator_2020_0.pdf (vtoroperator.by)].

В связи с этим на предприятиях Беларуси предлагаются к внедрению проекты использования активного ила в качестве исходного технологического сырья для производства органического удобрения, потому что возникла острая необходимость разработки методов утилизации осадков сточных вод и использования с учетом максимального снижения отрицательного воздействия на окружающую среду (загрязнения грунтовых вод, атмосферы, сокращения площадей, занятых иловыми площадками).

1.3. Расчет количества активного ила, вывозимого на иловые поля

Согласно Реестру объектов хранения и захоронения отходов за 2021 г. на территории Республики Беларусь размещается 118 площадок, которые связаны с накоплением, хранением и обезвоживанием активного ила после сооружений биологической очистки [41]. Распределение иловых площадок по областям приведены в табл. 1.4. Также приведены данные по полигонам твердых коммунальных отходов, куда вывозится ил после обезвоживания.

Таблица 1.4

**Статистика распределения иловых площадок и полигонов
твердых коммунальных отходов по областям (на 2021 г.), шт.**

Регион Беларуси	Иловые площадки и т. п.	Полигоны ТКО	Мини-полигоны
Брестская область	20	26	201
Гродненская область	8	16	26
г. Мосты	2	1	–
Витебская область	20	27	238
г. Миоры	–	1	–
Гомельская область	11	27	178

Окончание табл. 1.4

Регион Беларуси	Иловые площадки и т. п.	Полигоны ТКО	Мини-полигоны
Минская область	51	34	48
г. Крупки	–	1	–
г. Минск	2	1	–
Могилевская область	4	22	167
<i>Всего</i>	118	153	858

Источник. Реестр объектов хранения и захоронения отходов.pdf (open-data.by).

Количество осадков (ила) сточных вод, образующихся на очистных сооружениях Республики Беларусь по сухому веществу, приведено в табл. 1.5 (расчет произведен в соответствии со статистическими данными о количестве сточных вод, поступающих на очистные сооружения в среднем за 5 лет).

Таблица 1.5

Количество осадков сточных вод (активного ила), образующихся на очистных сооружениях Республики Беларусь по сухому веществу

Регион Беларуси	Количество осадка в год по сухому веществу, тыс. т/год	Численность населения на 1 января 2020 г., тыс. человек	Килограмм ила на одного жителя в год
Брестская область	26,95	1347,0	20
Гродненская область	16,45	1025,8	16
г. Мосты	0,153 (по обследованию)	15,2	10
Витебская область	26,42	1133,4	32
г. Миоры	0,04	7,9	5
Гомельская область	32,64	1386,6	23
Минская область	30,4	1472,0	20
г. Крупки	0,05	8,5	5
г. Минск	28,98	2020,6	14
Могилевская область	20,61	1023,0	20
<i>Всего</i>	192,3	9408,4	20

Если в Республике Беларусь только начинаются активные работы по разрешению использования осадка переработанного активного ила при земледелии [33], то в Европе не только используют старые методы захоронения, но и выбирают способы утилизации осадка в зависимости от уровня загрязнения (табл. 1.6).

Таблица 1.6

Возможные способы утилизации осадков (ила) городских очистных сооружений в зависимости от уровня их загрязнения

Способ утилизации	Уровень загрязнения ¹				
	Допустимый	Низкий	Средний	Высокий	Очень высокий
Использование в качестве удобрения: под сельскохозяйственные культуры	++	+ ²	–	–	–
при благоустройстве и озеленении городов, придорожных полос	+	+	+ ²	–	–
при рекультивации нарушенных и загрязненных земель	+	+	+	+ ²	–
на лесопитомниках, специальных участках для выращивания древесины и другой растительной биомассы	+	+	+	+ ²	–
Сжигание	+	+	+	+	+
Захоронение: на специально оборудованных площадках	+	+	+	++	++
на заброшенных карьерах	+	+	+ ³	+ ³	+ ³
на полигонах ТБО с последующей рекультивацией	+	+	+	++	+++ ³
Использование при производстве керамзита	+	+	+	+	+

Способ утилизации	Уровень загрязнения ¹				
	Допустимый	Низкий	Средний	Высокий	Очень высокий
Получение белково-витаминовых добавок и аминокислот	++	+	–	–	–
Пиролиз	+	+	+	+	+
Электролиз ТМ	–	–	–	+	+
Обработка специальными реагентами с последующей утилизацией	–	–	+	++	++
Вермикомпостирование	++	++	++	++	–

Примечание. + утилизация без каких-либо ограничений (после дегельминтизации); ++ наиболее целесообразные способы утилизации; – утилизация данным способом недопустима; ¹уровни загрязнения даны в соответствии с [4]; ²утилизация предусматривает ограничение норм внесения и недопущение загрязнения поверхностных и грунтовых вод; ³необходимы меры, предотвращающие загрязнение подземных вод.

Выводы по главе 1

Показано, что изменение такого климатического фактора, как повышение среднесуточной температуры окружающей среды сказывается на увеличении температуры сточных вод. Это, в свою очередь, приводит к увеличению скорости образования массы избыточного активного ила. Поэтому изменение климатических параметров существенно влияет на технологический процесс очистки и работу очистных сооружений в летнее время. Динамика роста избытка активного ила и необходимость его депонирования приводит к увеличению земельных площадей, которые выделяют под илонакопители, отторгая их от хозяйственного использования.

ГЛАВА 2. ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ХРАНЕНИЯ, ИСПОЛЬЗОВАНИЯ И ПЕРЕРАБОТКИ ИЛА В БЕЛАРУСИ

2.1. Общие экологические проблемы иловых площадок

Существуют различные способы утилизации отработанного ила, но все они имеют разную степень экологического и экономического эффекта. Рассмотрим с экологической точки зрения эту проблему.

Широкое применение методов почвенного депонирования иловых осадков с 1950 гг. прошлого века привело к образованию объектов прошлого (накопленного) экологического ущерба (ПЭУ) – иловых площадок, выведенных из хозяйственного оборота или с несанкционированным пополнением их. Токсичность избыточных илов и длительные сроки жизненного цикла иловых площадок обуславливают специфичность данных объектов. Многофакторное воздействие иловых площадок может быть вызвано высоким содержанием в твердой фазе иловых осадков тяжелых металлов, органических загрязнителей, отнесенных к группе диоксиноподобных, и специфичностью микроценозов [18].

Таблица 2.1

Иловые площадки с признаками объектов накопленного экологического ущерба

Регион Беларуси	Количество иловых площадок с прошлым экологическим ущербом
Брестская область	3
Гродненская область	3
г. Мосты	2
Витебская	3
г. Миоры	–
Гомельская область	2
Минская область	8
г. Крупки	–
г. Минск	1
Могилевская область	1
<i>Всего</i>	24

Анализ предварительного опроса специалистов Водоканалов показал наличие в Республике Беларусь около 21 иловой площадки с признаками объектов накопленного экологического ущерба.

Состав тяжелых металлов иловых осадков площадок превышает допустимые нормы для почв, по некоторым компонентам до 22 ПДК для валовых форм. Сравнительный анализ полученных данных по микроценозам илов показывает практически 90 % несоответствия с литературными данными, что обращает особое внимание на изучение биоценоза ила в замкнутых системах иловых площадок.

На сегодняшний день данные о воздействии на окружающую среду иловых площадок (как объектов депонирования илов и осадков сточных вод) отражены в ограниченном числе публикаций, посвященных в основном проблемам обезвоживания и обезвреживания осадков сточных вод с целью дальнейшего использования в качестве удобрений [9, 11, 33, 48].

Специфической особенностью иловых площадок как объектов ПЭУ является их значительное по времени сохранение токсичных свойств ила [14]. Сложный комплекс микроорганизмов активного ила аккумулирует тяжелые металлы из сточных вод путем адсорбции или по механизмам, зависящим от процессов метаболизма микроорганизмов и выделения биополимерного геля, что предопределяет наличие значительных концентраций тяжелых металлов в твердой фазе активного ила и их выщелачивание при почвенном депонировании илов и осадков.

Исследования показали, что распределение тяжелых металлов (РЬ, Сu, Ni) в профиле осадков иловых карт 3-летней выдержки зависело от содержания органического вещества. Также отмечено, что для каждого из металлов характерно накопление в верхнем слое почвенного профиля (0–20 см), но в разной степени: наибольшее – у меди, наименьшее – у никеля.

Постепенно выщелачиваясь из твердой фазы активного ила, тяжелые металлы, накопленные илом (особенно в высоких концентрациях), увеличивают жизненный цикл иловой площадки как объекта техногенного воздействия. Осадки иловых площадок 10–20-летнего срока почвенного депонирования превышали нормативные концентрации по кадмию, хрому, меди, цинку.

К специфике иловых площадок следует отнести различие в микроценозах депонируемых илов, отдельные виды которых способны в условиях анаэробной зоны, образованной в толще площадки, к сложным процессам сульфатредукции, сопровождающимся эмиссией H_2S .

Не менее важной проблемой воздействия иловых площадок на окружающую среду является содержание в илах патогенной микрофлоры, что обуславливает загрязнение не только почвенного профиля, но и прежде всего грунтовых вод. Загрязненные таким образом почва и вода могут стать средой паразитарных инфекций: балантидиаза (*Balantidium coli*) и некоторых гельминтозных инфекций (виды *Fasciola*, *Fasciolopsis*, *Echinococcus*, *Spirometra*, *Ascaris*, *Trichuris*, *Toxocara*, *Necator*, *Ancylostoma*, *Strongyloides* и *Taenia solium*).

Тем не менее, учитывая результаты предыдущих исследований, указания на комплексные данные по воздействию на гидрогеологическую обстановку района расположения иловых площадок в литературе отражены слабо. Структурно-функциональные особенности выведенных из эксплуатации иловых площадок как объектов ПЭУ и их жизненный цикл практически не изучены. Отсутствуют экспериментальные оценки воздействия от рассматриваемого типа ПЭУ [38].

Считаем, что необходимо провести более тщательный мониторинг состояния проблемных иловых площадок, которые показали наличие признаков ПЭУ у данных сооружений. Депонируемые осадки иловых площадок обладают широким рядом загрязнителей, и многофакторное негативное воздействие от них на почвы, воды, воздух не вызывает сомнения.

Рассматривая иловые площадки с точки зрения объектов ПЭУ [42, 47], следует отказаться от представления о безопасности использования иловых осадков в качестве биоорганического субстрата для внесения в почвы. Ввиду замкнутости системы иловых площадок и сложности процессов, происходящих в толще накопленных осадков, данные объекты обладают определенной спецификой. Морфологический состав иловых осадков для различных регионов отличается по своей биологической и химической структуре.

Таким образом, малоизученность специфики процессов, происходящих в толще иловых площадок на разных стадиях жизненного цикла, требует выработки нового подхода для комплексного изучения данных сооружений с точки зрения накопленного экологического ущерба.

Рассмотрим в качестве примера как решаются вопросы с эксплуатацией иловых площадок в Минской области.

2.2. Анализ работы иловых площадок Минской очистной станции

Ежедневно на сооружениях очистки сточных вод г. Минска образуется более $4000 \text{ м}^3/\text{сут}$ (или около $1000 \text{ т}/\text{сут}$ отходов 4 класса) сырого осадка активного ила. В настоящее время на площадке Минской очистной станции (МОС) осуществляется обезвоживание необработанного (т. е. нестабилизированного) осадка с его последующим вывозом автомобильным транспортом и размещением на иловых прудах. Данная схема не отвечает требованиям экологической, технической и экономической устойчивости.

На сооружениях МОС1 и МОС2 реализованы технологии очистки сточных вод с активным илом, которые приводят к образованию осадка двух видов:

- осадок из первичных отстойников (сырой осадок);
- осадок из вторичных отстойников (избыточный активный ил).

Избыточный активный ил с сооружений МОС1 и МОС2 проходит сгущение в гравитационных илоуплотнителях, расположенных на площадке МОС1. Далее осадки обоих видов смешиваются и обезвоживаются в центрифугах, на выходе которых получается кек в количестве $600\text{--}700 \text{ т}/\text{сут}$ с содержанием сухого вещества $18\text{--}20 \%$.

Кек, полученный в результате обезвоживания осадка, вывозится автотранспортом на иловое хозяйство «Волма», расположенное рядом с н.п. Синило, в 25 км к юго-востоку от МОС. Иловое хозяйство состоит из специальных иловых прудов на площади около 89 га .

Иловые пруды имеют гидроизоляцию и оснащены дренажными системами для сбора дренажных вод, которые выделяются из размещенного осадка, а также в результате выпадения атмосферных осадков. Дренажные воды из прудов собираются в расположенную рядом систему прудов-отстойников и после отстаивания перекачиваются ($50\text{--}200 \text{ м}^3/\text{сут}$) насосной станцией дренажных вод по трубопроводу протяженностью 10 км обратно на МОС. На объекте присутствует сеть наблюдательных скважин для мониторинга потоков природных подземных вод и возможной эксфильтрации загрязняющих веществ из иловых прудов.

Необходимость ежедневного вывоза $600\text{--}700 \text{ т}$ обезвоженного осадка, который (обычно) осуществляется автотранспортом грузоподъемностью 18 т (рис. 2.1), не только значительно увеличивает эксплуатационные затраты, но также вызывает негативные последствия в виде ухудшения качества атмосферного воздуха, затруднения до-

рожного движения и шумового воздействия ввиду большого числа рейсов грузовых автомобилей. Для вывоза обезвоженного осадка на иловые пруды автомобили ежедневно совершают от 33 до 56 рейсов протяженностью 46 км (т. е. суммарное суточное расстояние перевозки осадка составляет от 1500 до 2500 км).

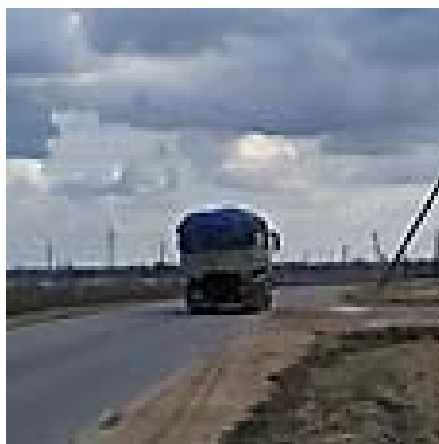


Рис. 2.1. Вывоз на самосвале обезвоженного осадка избыточного ила с очистных сооружений

Запах осадка, размещенного на иловых прудах (рис. 2.2), является серьезным фактором беспокойства для местных жителей. Кроме того, в процессе разложения осадка в прудах образуется метан – газ с сильным парниковым эффектом [19].



Рис. 2.2. Иловые пруды Минской очистной станции в Минском районе (около д. Синило)

В настоящее время эксплуатация илового хозяйства (включая расходы на персонал, плату за загрязнение окружающей среды и пользование земельными участками, расходы на электроэнергию, реагенты для уменьшения запаха и амортизацию оборудования) обходится почти в 300 тыс. евро в год.

По оценке остаточной емкости иловых прудов должно хватить до 2023 г. Рядом с иловыми прудами находятся земли сельскохозяйственного назначения, поэтому дальнейшее расширение илового хозяйства вряд ли возможно.

Иловая площадка «Волма» Минского водоканала показана на рис. 2.3. Это 18 фекальных отстойников с отходами канализации всего г. Минска. Первая проблема в устаревшей технологии обезвоживания ила, представляющая собой наполнение гигантских резервуаров и удаление влаги из них естественным путем. Эти резервуары под Минском занимают 25 га площади и распространяют специфический запах (это аммиак, сероводород, формальдегид, меркаптаны и пр.) на многие километры вокруг. Это связано с тем, что с нарушением технологии переработки, в старые пруды, давно отслужившие свое, пока шло строительство новых, продолжали сбрасывать новообразовавшийся избыточный ил, который возобновлял процесс биологического разложения с выделением газообразных продуктов.

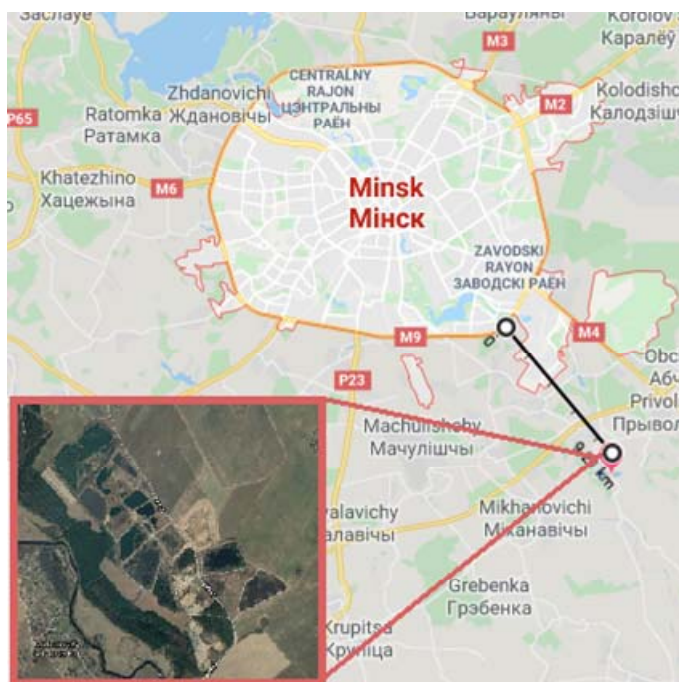


Рис. 2.3. Расположение иловой площадки Минского водоканала

По статистическим данным Национального комитета статистики, Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды за 2020 г., иловое хозяйство «Волма» является одним из основных загрязнителей атмосферного воздуха [28, 37].

Новая иловая площадка (рис. 2.4) расположена в 747 м от населенного пункта д. Синило (рис. 2.5), и поэтому важно соблюдать технологию складирования и заполнения этой емкости для предотвращения загрязнения окружающей среды.



Рис. 2.4. Новая иловая площадка под складирование избыточного ила с очистных сооружений Минска



Рис. 2.5. Расположение новой иловой площадки в Минском районе на спутниковой карте (<https://blisch.by/minsk-sinilo>)

Необходимо также отметить, что был проведен опрос среди жителей близлежащих населенных пунктов по распространению специфического запаха от иловых площадок. В результате установлено, что неприятный запах чувствуется в радиусе 12 км (рис. 2.6). В настоящее время у д. Синило уже располагаются 17 иловых прудов-накопителей Минской очистной станции, идет строительство пруда № 18. Наличие этих прудов даже в текущем объеме отрицательно влияет на экологическую обстановку близлежащих населенных пунктов и является причиной недовольства в обществе.



Рис. 2.6. Радиус поражения по специфическому запаху от иловых площадок Минской очистной станции (https://docs.google.com/presentation/d/1K6pURbdIMnOXpNxpOuV5Lyo0Q121mz7Y6ijsUKelNLQ/edit#slide=id.g4802e0d871_0_56)

Для прогнозной оценки риска возможного изменения состояния атмосферного воздуха в результате изменения климата и размещения на территории вблизи населенных пунктов иловых площадок проведем на основе Методики оценки значимости воздействия планируемой деятельности на окружающую среду (ТКП 17.02-08–2012) определение показателей пространственного масштаба воздействия, временного масштаба воздействия и значимости изменений в результате воздействия специфического запаха от иловых площадок.

Далее переведем качественные характеристики и количественные значения этих показателей в баллы согласно [43, табл. Г.1–Г.3].

Таблица 2.2

Определение показателей пространственного масштаба воздействия

Градация воздействий	Балл оценки
<i>Локальное:</i> воздействие на окружающую среду в пределах площадки размещения объекта планируемой деятельности	1
<i>Ограниченное:</i> воздействие на окружающую среду в радиусе до 0,5 км от площадки размещения объекта планируемой деятельности	2
<i>Местное:</i> воздействие на окружающую среду в радиусе от 0,5 до 5 км от площадки размещения объекта планируемой деятельности	3

Окончание табл. 2.2

Градация воздействий	Балл оценки
<i>Региональное</i> : воздействие на окружающую среду в радиусе более 5 км от площадки размещения объекта планируемой деятельности	4
<i>Кратковременное</i> : воздействие, наблюдаемое ограниченный период времени до 3 месяцев	1

Таблица 2.3

Определение показателей временного масштаба воздействия

Градация воздействий	Балл оценки
<i>Средней продолжительности</i> : воздействие, которое проявляется в течение от 3 месяцев до 1 года	2
<i>Продолжительное</i> : воздействие, наблюдаемое продолжительный период времени от 1 года до 3 лет	3
<i>Многолетнее</i> (постоянное): воздействие, наблюдаемое более 3 лет	4

Таблица 2.4

Определение показателей значимости изменений в природной среде

Градация воздействий	Балл оценки
<i>Незначительное</i> : изменения в окружающей среде не превышают существующие пределы природной изменчивости	1
<i>Слабое</i> : изменения в природной среде превышают пределы природной изменчивости. Природная среда полностью самовосстанавливается после прекращения воздействия	2
<i>Умеренное</i> : изменения в природной среде, превышающие пределы природной изменчивости, приводят к нарушению отдельных ее компонентов. Природная среда сохраняет способность к самовосстановлению	3
<i>Сильное</i> : изменения в природной среде приводят к значительным нарушениям компонентов природной среды. Отдельные компоненты природной среды теряют способность к самовосстановлению	4

Примечание. Общая оценка значимости производится путем умножения баллов по каждому из трех показателей. Дополнительно могут быть введены весовые коэффициенты значимости каждого показателя в общей оценке. Общее количество баллов в пределах 1–8 баллов характеризует воздействие как воздействие низкой значимости, 9–27 – воздействие средней значимости, 28–64 – воздействие высокой значимости.

Таким образом, если подведем итоги по определению риска загрязнения окружающего воздуха и созданию неблагоприятного газозагрязненного воздушного фона МОС за все время наблюдений, то на выходе мы получим результаты по определению общей оценки значимости воздействия иловых МОС на окружающую природную и социальную среду (табл. 2.5).

Таблица 2.5

Общая оценка значимости воздействия иловых площадок

Градация воздействий	Балл оценки
По пространственному масштабу <i>Региональное:</i> воздействие на окружающую среду в радиусе более 5 км от площадки размещения объекта планируемой деятельности (неблагоприятный газозагрязненный фон распространяется до 12 км в радиусе)	4
По переменному масштабу <i>Многолетнее</i> (постоянное): воздействие на окружающую среду, наблюдаемое жителями близлежащих населенных пунктов более 3 лет	4
По значимости изменений в природной среде <i>Умеренное:</i> изменения в природной среде, превышающие пределы природной изменчивости, приводят к нарушению отдельных ее компонентов (размывание границ иловых площадок). Природная среда сохраняет способность к самовосстановлению (после прекращения климатических воздействий)	3
<i>Итого</i>	11

Это говорит о том, что иловые площадки МОС оказывают негативное воздействие средней значимости при нормальных условиях. Однако при резких изменениях климатических условий эколого-социальный риск их воздействия на окружающую и социальную среду может резко возрасти.

**2.3. Очистные сооружения и иловые площадки
Мостовского района, г. Крупки и г. Миоры**

Мостовский район расположен в трансграничном бассейне р. Неман Гродненской области, которая граничит с Литвой. Город Мосты находится на р. Неман при впадении в нее р. Зельвянки, в 60 км к юго-востоку от Гродно. По климатическому воздействию он наиболее подвержен проявлению на своей территории опасных гидрометеорологических явлений за счет изменения общего температурного фона.

Население Мостовского района составляет 27 739 человек, из них 11 964 человека проживают в сельской местности (43,1 %). В г. Мосты проживает 15 197 человек. Основными проблемами в области водоотведения являются:

- недостаточный охват населенных пунктов района системой централизованной канализации;
- сооружения для очистки сточных вод находятся в неудовлетворительном состоянии вследствие старения и недостаточного технического обслуживания.

На рис. 2.7 представлена спутниковая карта г. Мосты и расположение по отношению к нему очистных сооружений города с иловыми картами.

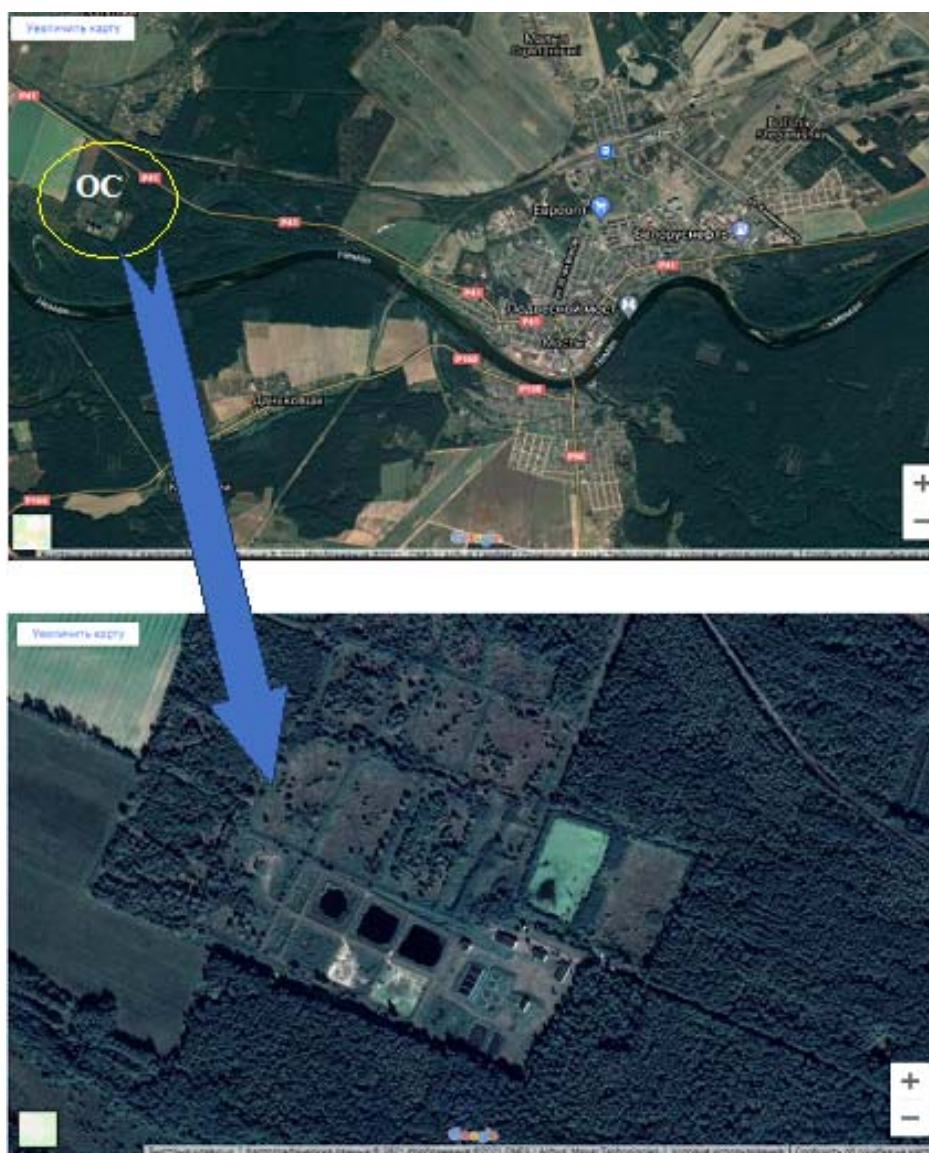


Рис. 2.7. Спутниковая карта расположения г. Мосты и очистных сооружений (декабрь, 2021 г.)

Образующиеся в процессе очистки сточных вод осадки поступают на обработку:

– пескопульпа после песколовков подается на пековые площадки (рис. 2.8);

– осадок с двухъярусных отстойников и избыточный активный после аэротанков-осветлителей поступает на иловые площадки (рис. 2.9).



Рис. 2.8. Песковые площадки очистных сооружений г. Мосты (2019 г.)



Рис. 2.9. Иловые площадки очистных сооружений г. Мосты (2019 г.)

В среднем в сутки образуется 0,42 т осадка по сухому веществу.

В районе необходимо проведение реконструкции и развитие систем отведения и очистки бытовых сточных вод, обеспечивающих санитарно-эпидемиологическую защиту, комфорт для населения и охрану природных комплексов путем реализации следующего комплекса мероприятий [35]:

– реконструкции действующих систем централизованной канализации, находящихся в неудовлетворительном состоянии в сельских населенных пунктах Милевичи, Голубы, Куриловичи;

- строительства очистных сооружений искусственной биологической очистки в сельских населенных пунктах Мосты Правые, Пацевичи, Гудевичи, Лунно, Дубно, Большие Озерки, Большая Рогозница;
- реконструкции существующих систем местной канализации сельских поселений с учетом экологических и санитарно-гигиенических ограничений;
- установки приборов учета сбрасываемых сточных вод;
- создания системы сливных станций для приема жидких коммунальных отходов от санитарно-технических узлов мест кратковременного отдыха, малоэтажной и усадебной застройки в каждом планировочном образовании;
- оборудования мест массового отдыха, объектов сельского туризма (не охваченных централизованной канализацией) локальными сантехническими блоками, в том числе передвижными, сезонного использования;
- реконструкции очистных сооружений канализации города Мосты с целью очистки сточных вод от азот- и фосфат содержащих соединений.

Песковые и иловые площадки выполнены на естественном основании с дренажем.

Город Крупки расположен в Минской области с населением 8540 жителей на 2021 г. В городе имеются небольшие очистные сооружения, включающие механическую очистку и биологическую очистку на полях фильтрации, расположение которых представлено на рис. 2.10.

Город Миоры расположен в Витебской области. Население составляет 7845 человек на 2021 г. Имеется центральное водоснабжение и канализация. Однако очистная станция сточных коммунальных вод отсутствует. Очистка сточных вод происходит на полях фильтрации (рис. 2.11), принадлежащих УП ЖКХ Миорского района.

Проведенный мониторинг состояния иловых площадок, расположенных в Мостовском, Миорском и Крупском районах, показал наличие признаков ПЭУ у данных сооружений. Депонируемые осадки иловых площадок обладают широким рядом загрязнителей, и многофакторное негативное воздействие от них на почвы, воды, воздух не вызывает сомнения.

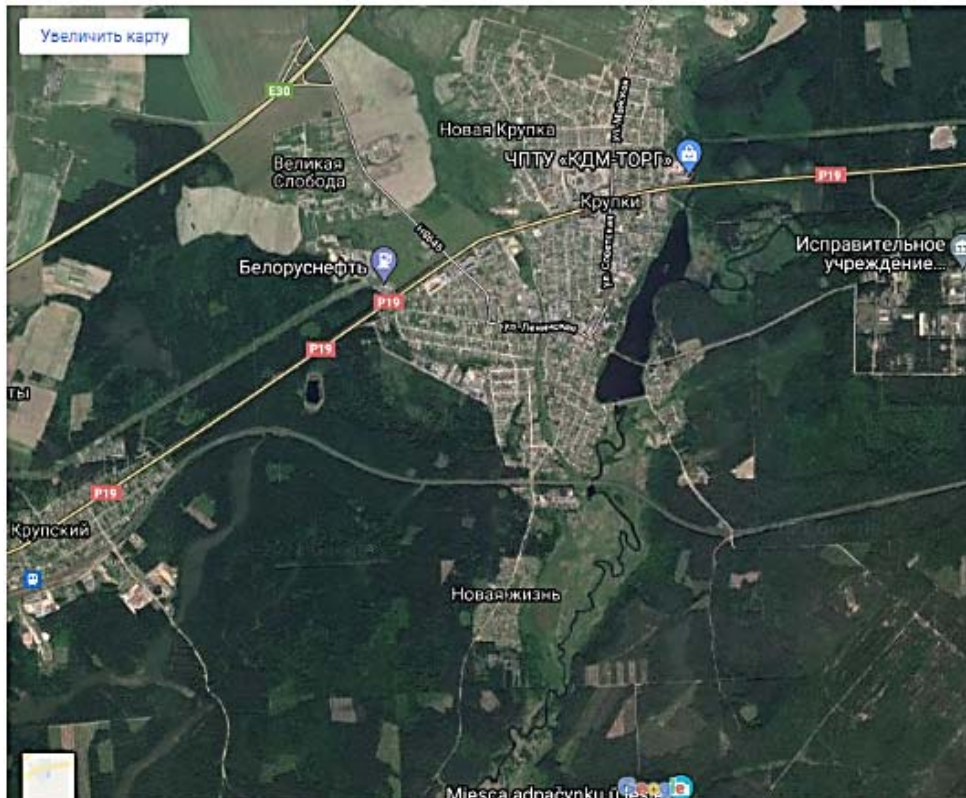


Рис. 2.10. Спутниковая карта расположения г. Крупки и очистных сооружений
<http://krupki.by/index.php/ekonomika/10529-v-krupkakh-na-ulitse-kozlovskogo-vedetsya-stroitelstvo-glavnoj-kanalizatsionno-nasosnoj-stantsii>



Рис. 2.11. Спутниковая карта расположения г. Миоры и полей фильтрации для очистки сточных вод от городской центральной канализации

Рассматривая иловые площадки с точки зрения объектов ПЭУ [20], следует отказаться от представления о безопасности использования иловых осадков в качестве биоорганического субстрата для внесения в почвы. Ввиду замкнутости системы иловых площадок и сложности процессов, происходящих в толще накопленных осадков, данные объекты обладают определенной спецификой. Морфологический состав иловых осадков для различных регионов отличается по своей биологической и химической структуре [40].

Поэтому для получения наиболее точных данных с учетом всех физико-химических, климатических, биологических и иных факторов определения закономерностей и механизмов, проходящих в толще иловых площадок как объектов ПЭУ, необходимо изучать биоценозы илов очистных сооружений в каждом конкретном случае [25].

Таким образом, учитывая многофакторность техногенного воздействия на окружающую среду и длительные периоды жизненного цикла иловых площадок как специфических объектов ПЭУ, необходимы тщательные исследования для определения границ ареала воздействия иловых площадок, ориентируемые на современные практики управления охраной окружающей среды.

2.4. Общие сведения о хранении, использовании и переработки ила в Беларуси

Количество осадков, выделяющихся при очистке сточных вод на современных очистных сооружениях, составляет от 2 до 10 % от расхода поступающих вод [2]. Ежегодно в нашей республике при очистке сточных вод образуется около 180–197 тыс. т осадков сточных вод по сухому веществу. Из них используется в народном хозяйстве 4–5 % от всего объема, в основном осадки складировуются и хранятся на территории очистных сооружений, что создает неблагоприятную экологическую ситуацию вблизи городской черты.

Главной причиной создавшегося положения является тот факт, что рассматриваемая проблема не была сформулирована первоначально во всех аспектах, не был продуман вопрос о том, что накопление отходов на ограниченной территории в будущем приведет к необходимости решать проблему при значительно больших затратах. Нельзя завершить процесс очистки сточных вод, не имея эффективного и экологически безопасного способа утилизации осадков.

В Беларуси регламентированы меры по обеззараживанию до или после обезвоживания осадка сточных вод (СН 4.01.02–2019, п. 10.4). Для обеззараживания осадков сточных вод применяются следующие методы:

- термофильное анаэробное сбраживание;
- термофильная аэробная стабилизация;
- компостирование с различными наполнителями;
- термическая обработка, включая термическую сушку;

- мезофильное анаэробное сбраживание или аэробная стабилизация и последующее долговременное хранение в течение не менее 3 лет;
- обработка добавлением извести и других обеззараживающих реагентов.

Реагентное обеззараживание жидких осадков следует производить с выполнением требований по СН. Компостирование осадка следует осуществлять в смеси с наполнителями, содержащими органические вещества (твердыми бытовыми отходами, торфом, опилками, листвой, соломой, молотой корой) или готовым компостом. Влажность осадка, направляемого на компостирование, должна составлять не более 85 %.

Для термической обработки осадка с целью уменьшения его объема и (или) для использования осадка как энергоносителя следует рассматривать возможность применения сжигания, пиролиза, газификации, жидкофазного окисления, гидротермальной карбонизации.

При термической сушке осадка следует предусматривать: 1) максимально возможное обезвоживание осадков перед подачей на сушку с целью снижения энергоемкости процесса; 2) очистку газовых выбросов в соответствии с требованиями законодательства об охране атмосферного воздуха [49].

Для хранения механически обезвоженного осадка и термически высушенного осадка следует предусматривать специально оборудованные площадки с твердым покрытием и (или) закрытые склады, обеспечивающие защиту от неблагоприятного воздействия окружающей среды.

Выбор путей утилизации осадков сточных вод должен основываться на нормативной документации.

Например, в Польше разработки и инвестиции в области утилизации осадков сточных вод регулируются польским законодательством по охране окружающей среды.

В Российской Федерации с 2001 г. действует ГОСТ Р 17.4.3.07–2001, регламентирующий утилизацию осадков сточных вод.

Украина выпускает удобрения на основе осадков сточных вод, сертифицированные и соответствующие требованиям ТУ 204 Украины 76–93.

В странах ЕС действует Директива 86/278/ЕЕС от 12 июня 1986 г. по охране окружающей среды, и особенно почвы, в связи с использованием осадков в сельском хозяйстве, называемая сокращенно Директивой по осадкам.

К сожалению, в Республике Беларусь до сих пор нет достаточной нормативной документации, позволяющей в рамках закона размещать осадки сточных вод в окружающей среде в соответствии с требованиями экологической безопасности. Так как Мостовский и Миорский районы находятся в сфере влияния Балтийского моря, то к ним можно применить Рекомендации ХЕЛКОМ (Хельсинской комиссии), которая является инициатором экологической политики для района Балтийского моря посредством разработки общих экологических целей и мероприятий для их выполнения.

2.5. Обзор наилучших мировых технологий обработки осадков сточных вод

2.5.1. Очистные сооружения г. Гданьска (Польша)

На станции очистных сооружений Гданьска (рис. 2.12) производится биологическое удаление фосфора и азота (процесс МУСТ), а также предусмотрена возможность химического осаждения фосфора. Мощность очистных сооружений составляет около 781 000 эквивалента численности населения, при этом ежегодно образуется 18 374 т осадка сточных вод (по сухому веществу).

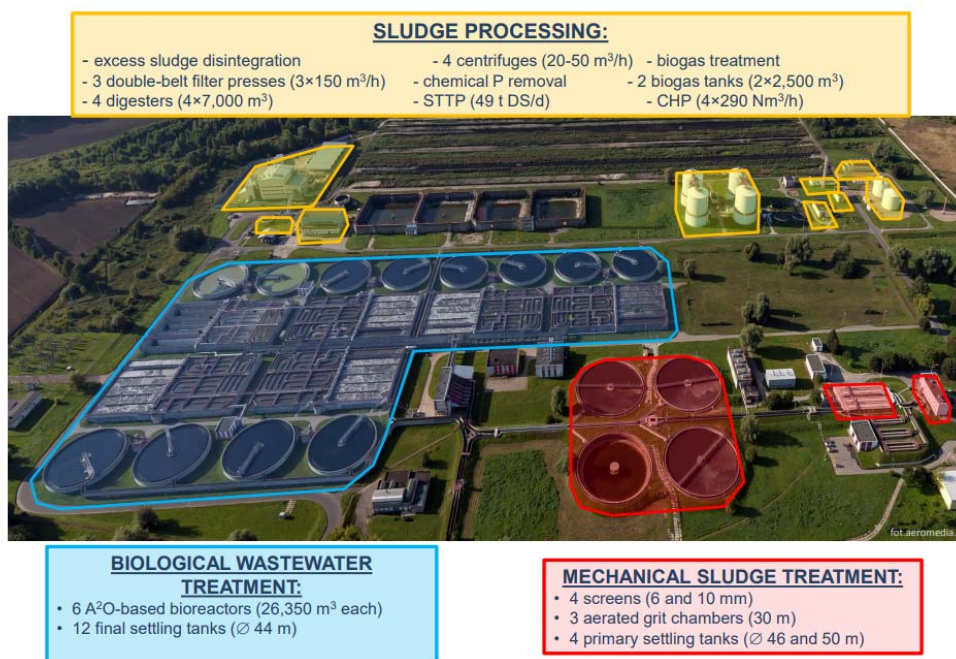


Рис. 2.12. Очистные сооружения г. Гданьска
(https://ccb.se/Evidence2018/Kaliningrad_22032018/2_GdanskWater_JSkarbek_WWTP_experiences.pdf)

В связи с большим объемом первичных отстойников и продолжительности отстаивания 3,7 ч образуется большое количество первичного осадка, который уплотняется в гравитационном уплотнителе (содержание сухого вещества в осадке достигает 4,8 %), а затем направляется в метантенк. Избыточный активный ил после уплотнения в гравитационном уплотнителе проходит механическую обработку в шнековом фильтр-прессе до содержания сухого вещества около 6 %. Расход полимеров составляет около 3,4 г/кг сухого вещества.

Сбраживанию способствует ультразвуковая обработка, которая позволяет увеличить выход газа и уменьшить количество осадка. Сбраживание осадка в мезофильных условиях происходит в течение 28 дней при температуре 37 °С. Содержание твердой фазы осадка в метантенке составляет около 3,1 %.

Сброженный осадок обезвоживается на центрифугах. После обезвоживания содержание сухого вещества составляет 19,7 %. Расход флокулянта – 11,4 г/кг сухого вещества. После сушки (в качестве топлива используется мазут) содержание сухого вещества достигает около 31,4 %. Для этой цели используется контактная сушка.

На очистных сооружениях в Гданьске вырабатывается биогаз, который используется на высокопроизводительной ТЭЦ (тепло-электроцентрали с электрическим КПД 40,5 %) для производства электрической и тепловой энергии. Количество вырабатываемого электричества достаточно для нужд ТЭЦ и установки для сжигания, в результате чего покрывается 100%-я потребность очистных сооружений в электроэнергии. Часть электроэнергии продается. Полученное тепло используется на технологические нужды очистных сооружений.

Биогаз может храниться до 10 ч, что обеспечивает бесперебойную работу станции в случае чрезвычайной ситуации.

До 2010 г. часть осадка направлялась на компостирование и использовалась в качестве структурного материала на полигоне твердых бытовых отходов, но после ввода в эксплуатацию в 2010 г. установки по сжиганию весь осадок сжигается. Использование отходов очистной станции в сельском хозяйстве не практикуется из-за ограниченного спроса на продукцию в регионе и относительно высокой концентрации тяжелых металлов. К захоронению осадка на полигонах ТБО в Польше с 2013 г. применяются еще более строгие требования (соответствующие Директивам ЕС).

2.5.2. Очистные сооружения в г. Щецине (Польша)

В г. Щецине имеются две современные станции очистки сточных вод. Проектная производительность очистных сооружений «Поможаны» составляет 418 000 человек, объем осадка – 6300 т (по сухому веществу) в год, что почти в два раза больше, чем на второй станции очистки сточных вод г. Щецина – «Здрое».

На очистных сооружениях «Поможаны» предусмотрены сооружения по удалению азота, а также биологическому и химическому удалению фосфора.

На станции имеются первичные отстойники, время отстаивания в которых составляет два часа. Содержание сухого вещества в первичном осадке составляет 2,5 %.

Осадок уплотняется в гравитационных уплотнителях до содержания сухого вещества около 6 %.

Избыточный ил уплотняется механическим способом на ленточном фильтр-прессе до 6 % по сухому веществу. Расход флокулянта для работы ленточного фильтрпресса составляет около 3–5 г/кг сухого вещества.

Избыточный ил и первичный осадок подаются в метантенк (содержание сухого вещества – 3,5 %). Сбраживание происходит в мезофильных условиях при температуре 37 °С в течение 20 дней. Биогаз используется на трех ТЭЦ (когенерационных установках) мощностью 350 кВт с электрическим КПД, равным 37 %.

Степень самообеспечения составляет 70 %, газ может храниться в течение 25 ч.

Сброженный осадок обезвоживается на ленточных фильтр-прессах до содержания сухого вещества примерно 20 %. Расход флокулянтов при этом составляет 8–12 г/кг сухого вещества. Обезвоженный осадок сушится в ленточной сушилке до содержания сухого вещества 96 %, а затем подается в печь. Зола после сжигания вывозится на полигон ТБО.

Станция очистки сточных вод «Здрое» в г. Щецине является меньшей из двух. Очистные сооружения предназначены для обслуживания в общей сложности 177 000 человек. Однако в настоящее время общее количество образующегося осадка составляет лишь 1680 т (по сухому веществу) в год. «Здрое» имеют сооружения для биологического удаления азота, а также биологического и химического удаления фосфора.

Первичный осадок собирается в первичном отстойнике, время отстаивания в котором составляет 1,5 ч. Затем осадок уплотняется

до 5 % сухого вещества в гравитационных уплотнителях. Избыточный ил уплотняется механическим способом на барабанном уплотнителе до концентрации сухого вещества более 5 %. Расход флокулянта в общей сложности составляет 6,5 г/кг сухого вещества. Уплотненный осадок подается на сбраживание при температуре 30–35 °С. Содержание сухого вещества после сбраживания составляет 3,5 % при времени сбраживания 24 дня.

Сброженный осадок обезвоживается на центрифугах до 19 % сухого вещества. Расход полимера составляет около 5,3 г/кг сухого вещества. Обезвоженный осадок сушат на ленточной сушилке до 95 % сухого вещества. Одним из источников энергии для сушки является вырабатываемая ТЭЦ тепловая энергия. ТЭЦ (один блок мощностью 238 кВт) имеет электрический КПД около 35 %. Очистные сооружения способны производить около 40 % необходимой электрической энергии.

Обезвоженный и высушенный осадок сжигают в печи очистных сооружений «Поможаны». Возможен также вывоз его на ТБО или использование в сельском хозяйстве (последний вариант – после обеззараживания известью).

2.5.3. Очистные сооружения «Даугавгрива» (Латвия)

Рижские очистные сооружения «Даугавгрива» являются крупнейшими в Латвии. Их суммарная производительность составляет около 1 000 000 эквивалентов по населению.

На очистных сооружениях ежегодно образуется около 6857 т осадка сточных вод (по сухому веществу). Очистные сооружения оснащены современной установкой для удаления азота (реконструкция проведена летом 2012 г.) и установкой для осаждения фосфора.

В первичном отстойнике образуется первичный осадок с содержанием сухого вещества от 4 до 5 % (время отстаивания – 2,5 часа). Избыточный ил подвергается механическому уплотнению на центрифуге с добавлением небольшого количества полимера (2–4 г/кг сухого вещества). Содержание сухого вещества в избыточном иле можно увеличить до 5–7 %, после метантенка общее содержание сухого вещества составляет 3 %.

Биологическое сбраживание происходит при температуре 37 °С в течение 14–20 дней.

Биогаз подается в резервуар объемом 2500 м³, где может храниться до пяти часов для обеспечения работы теплоэлектроцентрали (ТЭЦ). Мощность ТЭЦ составляет около 2 МВт (по электроэнергии),

максимальный электрический КПД составляет 38,9 %. Используемая на собственные нужды энергия на 45 % состоит из электрической и на 55 % из тепловой энергии.

После сбраживания осадок кондиционируют полимерами (из расчета 8 г/кг сухого вещества) и обезвоживают в центрифугах, однако полученное содержание сухого вещества составляет 22 %.

Весь осадок используется в сельском хозяйстве, что является наиболее распространенным методом в Латвии. Предприятие не сталкивалось с проблемами, связанными с превышением предельных концентраций загрязняющих веществ.

2.5.4. Очистные сооружения в г. Юрмале (Латвия)

Очистные сооружения в Юрмале обслуживают в общей сложности эквивалент численности населения около 37 500 жителей. Ежегодно требуется утилизация около 1000 т (по сухому веществу) осадка сточных вод. Очистные сооружения оснащены оборудованием для удаления азота и биологического удаления фосфора.

На очистных сооружениях в Юрмале метантенка нет.

Так как первичное отстаивание отсутствует, весь осадок классифицируется как избыточный ил и уплотняется механическим способом. Для этого используется один барабанный уплотнитель, который обеспечивает содержание сухого вещества в осадке около 4–7 %.

Расход полимера составляет 3,5 г/кг сухого вещества.

После уплотнения осадок обезвоживается на центрифуге, при этом влажность снижается до минимума (содержание сухого вещества в кеке достигает 18 %). Потребление полимеров составляет около 5,4 г/кг сухого вещества. Осадок компостируется.

2.5.5. Центральные очистные сооружения в г. Любеке (Германия)

В ганзейском городе Любеке имеются две станции очистки сточных вод. Осадок из меньших по размеру очистных сооружений (эквивалент численности населения 30 000 жителей), расположенных в приморском курорте Травемюнде, подается на центральные очистные сооружения (эквивалент численности населения 350 000 жителей), которые являются третьими по величине в земле Шлезвиг-Гольштейн.

Очистные сооружения оснащены современным оборудованием для 2-ступенчатой фильтрации, что способствует повышению эффективности биологического удаления азота и химического осаждения соединений фосфора. Биологический процесс удаления фосфора на станции не применяется. Ежегодно образуется около 9000 т (по сухому веществу) сброженного и обезвоженного осадка сточных вод.

На очистных сооружениях имеются крупные первичные отстойники. Осадок из них с содержанием сухого вещества 2,5–4,0 % подается непосредственно в метантенк без использования гравитационных уплотнителей. Избыточный ил с этапа биологической очистки (активный ил) уплотняется механически с помощью ленточных уплотнителей примерно до 5,5 % по сухому веществу при низком расходе флокулянта (1–3 г/кг сухого вещества) и невысоких затратах энергии.

Осадок стабилизируется в метантенках в мезофильных условиях в течение не менее 18 дней при температуре 37–39 °С и содержании сухого вещества 2,5 %. В качестве дополнительного внешнего субстрата в течение дня дозируют жир из сепараторов. Полученный биогаз содержит примерно 62 % метана, его сушат и десульфатируют, после чего подают в газгольдер объемом 4000 м³, что удобно для обеспечения непрерывной работы ТЭЦ. На трех ТЭЦ производится в целом 10 ГВт · ч электрической и тепловой энергии.

Электрический КПД при номинальной мощности достигает 41,7 %, а уровень самообеспечения суммарной потребности очистных сооружений в электроэнергии составляет почти 100 %. Суммарная потребность в тепловой энергии покрывается более чем на 100 %.

Осадок сточных вод обрабатывают известью и железом и обезвоживают в камерных фильтр-прессах до влажности 36–39 %. В настоящее время весь осадок используется в качестве удобрения на сельскохозяйственных угодьях.

Удаление осадка сточных вод на полигоны ТБО в Германии запрещено с 2005 г., так что единственной оставшейся альтернативой, кроме использования в сельском хозяйстве, является сжигание.

2.5.6. Очистные сооружения в г. Кохтла-Ярве (Эстония)

Очистные сооружения в Кохтла-Ярве обслуживают население около 200 000 человек. В год образуется около 2700 т осадка сточных вод (по сухому веществу). На станции имеются сооружения по удалению азота и химическому и биологическому удалению фосфора.

На очистных сооружениях Кохтла-Ярве нет первичных отстойников, поэтому весь образующийся осадок считается избыточным илом.

Избыточный ил уплотняется механическим способом до содержания сухого вещества примерно 6 %. Расход полимеров составляет около 4 г/кг сухого вещества.

После механического уплотнения осадок обрабатывают в реакторах для удаления патогенных микроорганизмов в процессе пастеризации, нагревая в течение 20–24 ч до 55 °С. После этого осадок обезвоживается на центрифуге до содержания сухого вещества 22 %. Расход полимера составляет около 8 г/кг сухого вещества. После обезвоживания осадка его смешивают с древесной щепой и укладывают в валки для компостирования.

Полученный компост используется для благоустройства территорий. Содержание тяжелых металлов в нем не превышает предельно допустимых концентраций.

2.5.7. Очистные сооружения «Виикинмэки» и «Суоменоя» (Финляндия)

В столичном регионе Хельсинки образуется более 100 млн м³ сточных вод в год (эквивалент численности населения 1,1 млн жителей), поступающих на очистку на две крупнейшие в Финляндии станции очистки сточных вод – «Виикинмэки» (Хельсинки) и «Суоменоя» (Эспоо), собственником которых является региональное ведомство по оказанию экологических услуг HSY Water.

Ежегодно в «Виикинмэки» образуется 65 000 т сухого осадка, в «Суоменоя» – 25 000 т.

Время первичного отстаивания в «Виикинмэки» составляет 2,8 ч, в «Суоменоя» – 2,1 ч. Общее содержание твердых веществ в первичном осадке составляет 3,6 и 1,3 % соответственно. В «Суоменоя» первичный осадок перед сбраживанием уплотняется. Концентрация избыточного ила в «Виикинмэки» составляет 7,5 г/л. Общее содержание твердых веществ в осадке, подаваемом для сбраживания в метантенки, составило в среднем 4,1 %.

В «Виикинмэки» установлены четыре метантенка, которые работают поочередно: два реактора первой ступени и два реактора второй ступени. Осадок нагревается лишь на второй ступени. В «Суоменоя» два реактора работают параллельно. Время сбраживания составляет 17 суток при температуре 37 °С в «Виикинмэки» и 13 суток при темпе-

ратуре 35,5°С в «Суоменойя». Общее содержание твердых веществ после сбраживания составляет 2,3 и 2,7 % соответственно.

Обезвоживание осуществляется на центрифугах (четыре центрифуги в «Виикинмэки» и три – в «Суоменойя»). Общее содержание сухих веществ после обезвоживания на обеих станциях составляет 29 %. Расход флокулянта – 4,5 г/кг сухого вещества в «Виикинмэки» и 6,1 г/кг сухого вещества в «Суоменойя».

Сброженный на «Виикинмэки» осадок транспортируется на площадку компостирования в Сипоо, расположенную к востоку от Хельсинки. В осадок добавляют торф и компостируют в течение 6–9 месяцев в открытых биореакторах. В компост добавляется песок, минеральные и питательные вещества. После просеивания компост продается для использования при благоустройстве и озеленении и в сельском хозяйстве. В настоящее время спрос на готовый продукт на рынке превышает предложение.

Образующийся при сбраживании биогаз используется на ТЭЦ очистных сооружений для производства электрической и тепловой энергии.

Выводы по главе 2

Таким образом установлено, что общими экологическими проблемами по иловым площадкам стало накопление ПЭУ, заключающегося в депонировании токсичности избыточного ила, длительности срока жизненного цикла иловых площадок, а также выделении при определенных климатических условиях удушливых и вредных газов в атмосферу, распространяющихся на многие километры в радиусе от центра источника.

Установлено, что в литературе слабо отражены комплексные данные по воздействию на гидрогеологическую обстановку района расположения иловых площадок. Структурно-функциональные особенности выведенных из эксплуатации иловых площадок как объектов ПЭУ и их жизненный цикл практически не изучены. Отсутствуют экспериментальные оценки воздействия от рассматриваемого типа ПЭУ иловых площадок на окружающую природную среду и населенные пункты, расположенные в радиусе до 10 км.

Считаем, что необходимо провести более тщательный мониторинг состояния проблемных иловых площадок, которые показали наличие признаков ПЭУ у данных сооружений. Депонируемые осадки

иловых площадок обладают широким рядом загрязнителей, и многофакторное негативное воздействие от них на почвы, воды, воздух не вызывает сомнения. При резких изменениях климатических условий эколого-социальный риск их воздействия на окружающую и социальную среду может резко возрасти [1, 2].

В Республике Беларусь на большинстве очистных сооружений используется самый нежелательный с точки зрения иерархии методов обращения с отходами способ, заключающийся в размещении осадков сточных вод на илонакопителях или полигонах ТБО [44–46, 55].

Популярность данного метода обращения с осадками сточных вод обусловлена как простотой его использования, так и низкими затратами.

На большинстве канализационных очистных сооружений Республики Беларусь смесь сырого осадка и избыточного активного ила не поддается какой-либо обработке, кроме как обезвоживанию на иловых площадках в естественных условиях [35, 40].

Использование иловых площадок требует минимальных эксплуатационных затрат, однако имеет ряд недостатков:

- требует больших площадей под их размещение;
- длительность процесса обезвоживания и зависимость его от погодных условий;
- является источником выбросов загрязняющих веществ в атмосферу (аммиак, метан, метилмеркаптан и др.);
- способствует загрязнению почвенного слоя и грунтовых вод.

Объекты, служащие для депонирования осадков сточных вод, наносят большой ущерб окружающей среде и занимают большие территории [2]. В связи с этим в ряде европейских стран (например, в Германии) законодательно запрещено депонировать осадки на площадках. При вывозе на полигон теряется потенциал осадка как источника биогенных элементов и энергии [4].

ГЛАВА 3. ВЛИЯНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА НА НАКОПЛЕННЫЙ ИЛИ ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЙ

3.1. Общие сведения о климатических изменениях на территории Беларуси

Приведем общие сведения о климатических изменениях на территории Республики Беларусь за последние годы. Согласно оценке условий изменения климата на территории Республики Беларусь по статистическим данным Государственного учреждения «Республиканский центр по гидрометеорологии, контролю радиоактивного загрязнения и мониторингу окружающей среды» последнее десятилетие (2010–2019 гг.) со средней температурой $+7,7\text{ }^{\circ}\text{C}$ оказалось теплее любого из предыдущих, а температура воздуха последних пяти лет (2015–2019 гг.) составила $8,1\text{ }^{\circ}\text{C}$. В то же время отмечается незначительная тенденция уменьшения среднегодового количества осадков в среднем на $1,1\text{ мм}/10\text{ лет}$, хотя присутствует существенная изменчивость от года к году. На фоне роста среднемесячной температуры воздуха зафиксировано увеличение числа жарких дней (с максимальной температурой воздуха $\geq 25\text{ }^{\circ}\text{C}$).

Повышение среднегодовой температуры воздуха приводит к изменению продолжительности сезонов года. Одним из наиболее ярких индикаторов современного изменения климата является изменение продолжительности климатической зимы и лета.

За 1989–2020 гг. продолжительность климатической зимы сократилась в среднем по стране на 5–8 дней. В среднем на территории Беларуси за период 1981–2020 гг. отмечается 2–3 волны тепла в год, приходящиеся в основном на летний период года. За последние 10 лет продолжительность периодов с аномально жаркой погодой увеличилась на 1–2 дня и составляет 3–5 дней.

На территории Беларуси в среднем за период 1981–2020 гг. отмечается от 119 (Брестская область) до 139 (Могилевская область) дней с морозом. За последние десятилетия отмечается сокращение количества дней с температурой воздуха, равной и ниже $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ на $6,0\text{ дней}/10\text{ лет}$ по территории Могилевской области до $7,0\text{–}8,0\text{ дней}/10\text{ лет}$ по территории Брестской и Гродненской областей.

За период с июня по август 2011–2020 гг. значения системы информации об опасности по территории страны изменяются от 0,4 (Столбцы) до –1,1 и ниже по крайнему юго-востоку страны (Брагин). За последние 10 лет преобладающее значение индекса с июня по август по территории страны – отрицательное. Таким образом, преобладают тенденции снижения осадков в теплый период года и увеличивается повторяемость засух.

Значение индекса экстремальности по территории Беларуси изменяется от 0,1 (Орша, Горки, Высокое) до 0,9 (Волковыск). Западная часть территории страны, за исключением крайнего юго-запада, выделяется более высокой подверженностью воздействиям экстремальных климатических явлений (высокой температуры воздуха, интенсивных осадков, порывов ветра). Наибольшее значение индекса экстремальности отмечено на территории Волковысского, Мостовского, Зельвенского, Лидского, Вороновского, Щучинского, Ошмянского, Нарочанского, Столбцовского, Несвижского, Клецкого, Ганцевичского и Пинского районов. По восточной половине страны воздействию в наибольшей степени подвержена территория Мозырского, Житковичского, Борисовского и Лепельского районов. Наименьшее значение индекса отмечено в Оршанском, Горьковском и Дубровенском районах.

В областном разрезе наибольшему воздействию подвержена Гродненская область, а также Брестская и Минская области, наименьшему – Могилевская область.

3.2. Климатическая характеристика 2020 года

Проведем анализ климатической характеристики Республики Беларусь за 2020 г. на основании статистических данных Белгидромет (<https://belgidromet.by/ru/climatolog-ru/view/klimaticheskaja-xarakteristika-2020-goda-3666-2021/>).

Установлено, что 2020 г. был аномально теплым на белорусской территории. Среднегодовая температура воздуха составила +9,1 °С, что на 2,4 °С выше нормы [24].

Этот год занял первое место в ранжированном ряду наблюдений (от наиболее теплого года к наиболее холодному) с 1881 г. До этого самым теплым был 2019 г. со средней температурой воздуха +8,8 °С.

На протяжении всего года, за исключением апреля, мая и июля, наблюдались положительные аномалии температуры воздуха.

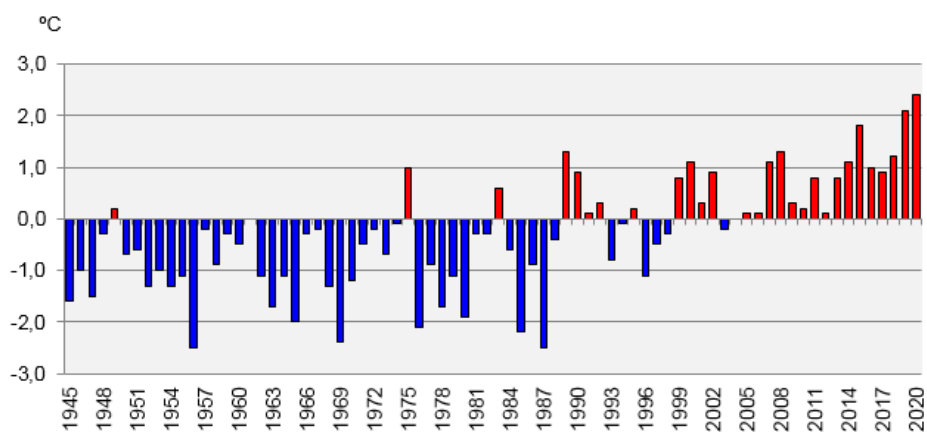


Рис. 3.1. Отклонение средней годовой температуры воздуха от климатической нормы (+6,7 °С) по Беларуси

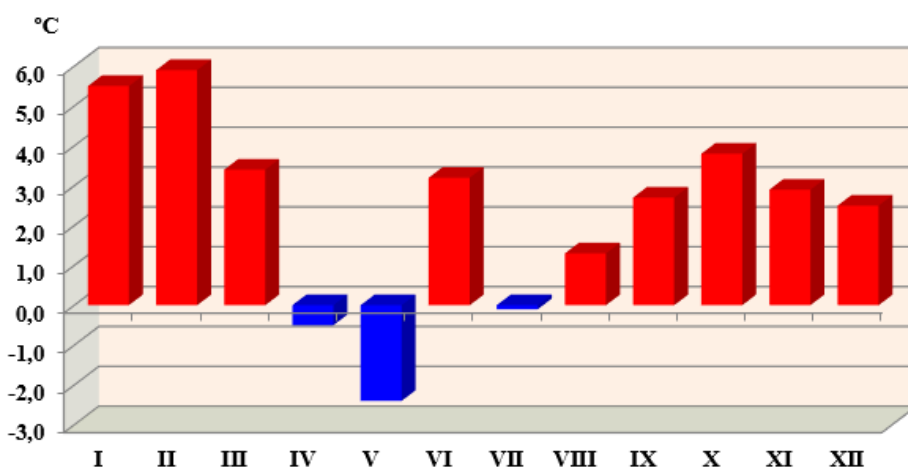


Рис. 3.2. Отклонение средней месячной температуры воздуха от климатической нормы в среднем по Беларуси за 2020 г.

Средняя температура воздуха за зимний сезон 2019–2020 гг. составила +1,5 °С, что выше климатической нормы на 5,5 °С. Такой теплой зимы на территории Беларуси за всю историю метеонаблюдений не отмечалось ни разу. Предыдущий рекорд принадлежит зимнему сезону 1989 и 1990 гг. со средней температурой воздуха –0,1.

Все три месяца зимы 2019–2020 гг. были очень теплыми с положительной среднемесячной температурой воздуха.

Максимальная температура воздуха за зимний сезон была отмечена на станции Дрогичин 18 декабря 2019 г. (+12,8 °С), минимальная – на станции Езерище 8 февраля 2020 г. (–11,1 °С).

Средняя температура воздуха за весну 2020 г. составила в среднем по стране +7,1 °С, что выше климатической нормы на 0,2 °С.

Устойчивого перехода средней суточной температуры воздуха через 0 °С в сторону повышения (начало весны в климатологии) в Беларуси в этом году не отмечалось, поскольку не наступала климатическая зима (не осуществился переход средней суточной температуры воздуха через 0 °С в сторону понижения в зимние месяцы).

Март был теплым – средняя температура воздуха за месяц составила +3,6 °С, что выше климатической нормы на 3,4 °С. Так тепло в марте на территории страны бывает примерно один раз в 10–15 лет.

Устойчивый переход среднесуточной температуры воздуха через 5 °С в сторону повышения (начало вегетационного периода) осуществился по большей части на территории страны в конце марта – первой декаде апреля в сроки, близкие к обычным, и только по крайнему северо-востоку страны – в третьей декаде апреля.

Май был холодным – средняя температура составила +11,0 °С, что ниже климатической нормы на 2,4 °С. Последний раз такой холодный май в Беларуси был отмечен в 1999 г.

Устойчивый переход среднесуточной температуры воздуха через 8 °С в сторону повышения (окончание отопительного периода) осуществился в третьей декаде апреля – первых числах мая и только по крайнему югу и юго-западу страны – в первой декаде апреля.

Средняя по стране температура воздуха за летний сезон 2020 г. составила +18,8 °С, что на 1,4 °С выше климатической нормы. Прошедший сезон занял 11 место в ранжированном ряду наблюдений от самого теплого к самому холодному сезону начиная с 1881 г.

Устойчивый переход среднесуточной температуры воздуха через 14 °С в сторону повышения (начало климатического лета) по всей территории страны осуществился 4–6 июня.

За это лето отмечено от 26 до 67 жарких дней (с температурой +25 °С и выше) при норме 22–48 дней.

Температурный режим сезона был неоднородным.

Средняя температура воздуха осеннего сезона 2020 г. составила +9,7 °С, что на 3,1 °С выше климатической нормы. Такая теплая осень на территории Беларуси отмечается впервые за всю историю наблюдений.

Устойчивый переход среднесуточной температуры воздуха через 8 °С в сторону понижения (начало отопительного периода) осуществился преимущественно по северной половине страны 15–17 октября (обычно это происходит в первой декаде октября), а с 28 октября по 8 ноября – по южной половине Беларуси (обычно во второй декаде октября).

Устойчивый переход среднесуточной температуры воздуха через 5 °С в сторону понижения (окончание вегетационного периода) по большей части территории страны осуществился 9–10 ноября на 2–3 недели позже обычного, а по юго-западу страны – 20 ноября.

Максимальная температура воздуха за осенний сезон была отмечена на станции Брагин 2 сентября (+32,8 °С), минимальная – на станции Полесская 11 ноября (–5,0 °С).

Температура воздуха за декабрь 2020 г. в среднем по республике составила –0,8 °С, что выше климатической нормы на 2,5 °С. Начиная с 1945 г. декабрь с такой и более высокой за месяц средней температурой воздуха отмечается в среднем один раз в 5 лет, а за последние 20 лет – один раз в 2–3 года.

Устойчивый переход среднесуточной температуры воздуха через 0 °С в сторону понижения по большей части территории страны осуществился в последних числах ноября – первой декаде декабря на 2–3 недели позже обычных сроков, а по крайнему юго-западу на последний день месяца переход не осуществился.

За 2020 г. в среднем по стране выпало 593,7 мм осадков, или 92 % нормы (норма – 646 мм).

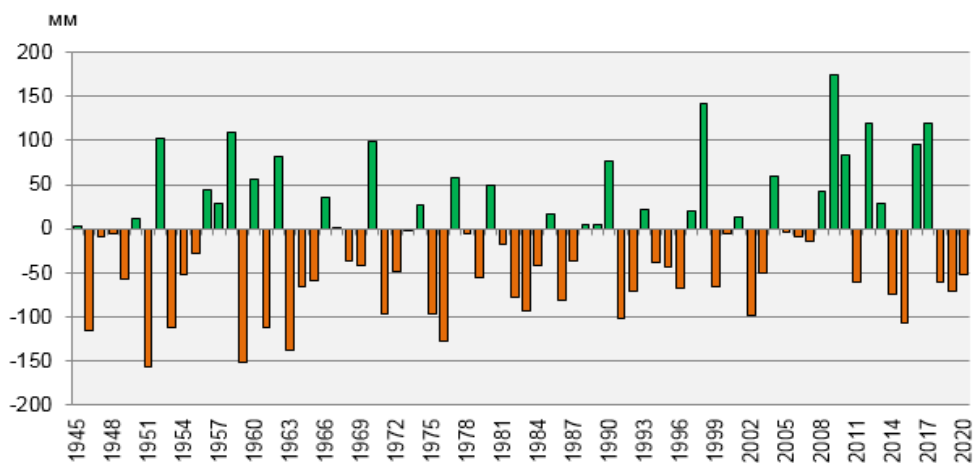


Рис. 3.3. Отклонение годовых сумм осадков от климатической нормы (646 мм) по территории Беларуси

В 4 из 12 месяцев года суммы осадков превышали норму. Наибольшая сумма осадков отмечена в июне – 104,2 мм, или 129 % климатической нормы за месяц. Самым сухим месяцем был апрель, за который в среднем по Беларуси выпало 13,1 мм осадков, что составило 34 % климатической нормы. В ранжированном ряду наблюдений

от самого сухого к самому влажному, апрель 2020 г. занял 4 место. Самым засушливым является апрель 2019 г. со средней по стране суммой осадков, равной 7,0 мм.

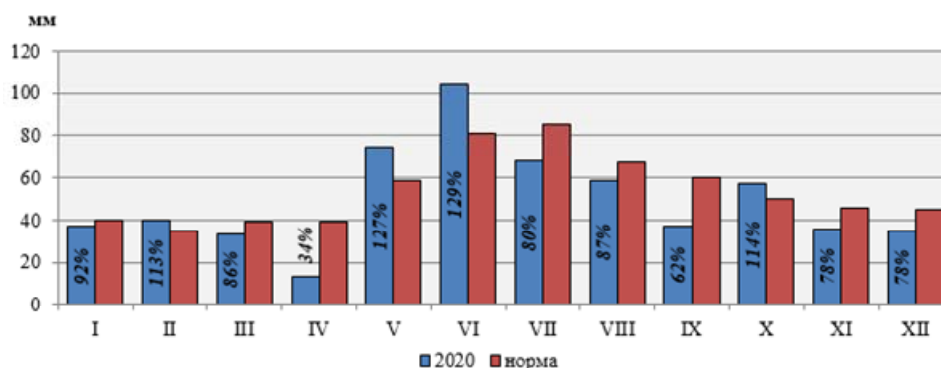


Рис. 3.4. Сумма осадков и климатическая норма по месяцам 2020 г. по территории Беларуси

Максимальная скорость ветра за год отмечена 14 марта в Гродно и 10 июня в агрогородке Улла и составила 27 м/с. На протяжении года отмечались следующие виды климатических опасных явлений: налипание мокрого снега, сильный ветер, очень сильный дождь и ливень, крупный град, сильный гололед.

3.3. Климатические факторы (температура, осадки, опасные явления и др.) и их влияние на состояние иловых площадок

Перспективы использования солнечной энергии, способствующей снижению капитальных затрат на обработку отходов водоотведения в естественных условиях, обеспечивают лидерство в выборе природно-технических систем обработки отходов водоотведения – иловых площадок (карт). Отличительной чертой функционирования иловых площадок является прямая зависимость режима их эксплуатации от климатической нагрузки (μ) – совокупного влияния среднегодовых значений температуры воздуха и атмосферных осадков. Увеличение атмосферных осадков может способствовать потере эксплуатационных и природозащитных свойств природно-технических систем обработки отходов водоотведения, спроектированных и эксплуатировавшихся согласно нормативным требованиям. Установлено, что скорость сушки ила зависит от дефицита влажности и скорости ветра над поверхностью площадки и описывается уравнением Зайкова. А скорость испа-

рения практически не зависит от влажности осадка в интервале от 55 до 100 %. Образование слоя на поверхности осадка с влажностью ниже 55 % в 4 раза снижает скорость испарения [15].

Экспериментально установлено, что лучшими водоотдающими свойствами обладает осадок, замороженный при небольших отрицательных температурах, характеризующихся низкими скоростями движения фронта льда.

За период 1981–2020 гг. на сети станций гидрометеорологических наблюдений Беларуси было зарегистрировано 1027 опасных гидрометеорологических явлений (ОГЯ). Из них ущерб отраслям экономики и населению нанесли 528 явлений, или 58 %. Такой относительно невысокий удельный вес ОГЯ, нанесших ущерб, объясняется отсутствием донесений об ущербе: если он был незначителен либо наблюдалось явление в относительно малонаселенной местности. Также значеніе имеет пространственное распределение некоторых видов ОГЯ.

Наибольшее воздействие ОГЯ на сооружения очистки сточных вод и иловые площадки оказывают очень сильные дожди и очень сильные ливни, ветер (в том числе шквал), град и сильная жара. Как известно, очень высокие температуры воздуха в сочетании с небольшим количеством осадков или их полным отсутствием способствуют возникновению засушливых условий и угнетению роста бактерий либо их гибели. Как правило, воздействие осадков, достигших критериев ОГЯ, отмечается на большой территории. Опасные осадки приводят к размыванию границ иловых площадок, а также к угрозе загрязнения близлежащего лесного массива и поверхностных подземных вод.

Согласно данным моделирования будущих значений климатических переменных на территории Беларуси ожидается сохранение текущих тенденций, в частности, высокой скорости роста температуры воздуха. С высокой степенью вероятности уже к 2030–2039 гг. среднегодовая температура воздуха возрастет на 1,0–2,0 °С, что повлечет за собой дальнейшее увеличение повторяемости волн тепла, изменение продолжительности сезонов года, увеличение количества жарких дней и т. д. Также с высокой степенью вероятности ожидается увеличение годовых сумм осадков, но сохранится тенденция снижения сумм осадков в отдельные месяцы года, что в сочетании с ростом температуры воздуха приведет к увеличению повторяемости атмосферных засух, особенно в июне и августе. Учитывая вышеперечисленные особенно-

сти текущих и будущих изменений климата, погодно-климатические риски будут возрастать. Ожидается рост уязвимости территории Беларуси от медленных климатических изменений и ОГЯ.

3.4. Оценка значимости риска влияния климата на хранение накопленного ила очистных сооружений

Изменение климата – это вызываемые деятельностью человека наблюдаемые и прогнозируемые долгосрочные изменения средних климатических показателей, а также изменчивость климата, включая такие аномалии, как засухи, сильные штормы и наводнения.

Скорость современного роста глобальной температуры, вызванного в основном увеличением концентрации парниковых газов в атмосфере, составила за последние 40 лет около $0,17\text{ }^{\circ}\text{C}$ за каждые 10 лет. При этом, согласно данным Белгидромета, на территории Беларуси в последние десятилетия потепление климата происходило в среднем по Земному шару – $0,45\text{ }^{\circ}\text{C}$ за 10 лет. Одним из проявлений климатических изменений является увеличение во многих регионах изменчивости и экстремальности климата. Так, по данным Белгидромета, на территории Беларуси участились опасные явления погоды, а также инициированные ими техногенные чрезвычайные ситуации, причем опасные гидрометеорологические явления, наблюдаемые в течение двух последних десятилетий, оказались более интенсивными и разрушительными, чем когда-либо. По данным МЧС Республики Беларусь, наиболее разрушительными были наводнения, лесные пожары и аномальная жара.

Большую роль в оценке потенциальных убытков от влияния рисков природных катастроф играют релевантные и качественные исторические данные о произошедших катастрофах и ущербе от них. Во всем мире создаются и поддерживаются центры накопления информации о реализовавшихся природных катастрофах, размере ущерба от них, информации о покрытии ущерба страхованием, сумме страховых выплат. Накапливается и анализируется информация о подверженности регионов климатическим рискам. На основании такой информации строятся прогнозы и вероятностные модели. На рис. 3.5 представлена схема концепции управления рисками для разработки адаптации к изменению климата технологических условий содержания иловых площадок.

Инвесторы, включая институциональных инвесторов, в настоящее время все больше заинтересованы во вложении средств в проекты, оказывающие положительное влияние на климат и окружающую среду и способствующие адаптации к изменению климата (так называемые экологически приемлемые цели). Это могут быть, например, проекты, связанные с возобновляемой энергией, энергоэффективностью, устойчивой переработкой отходов, устойчивым землепользованием, сохранением биологического разнообразия и чистым транспортом.



Рис. 3.5. Схема концепции управления рисками для разработки адаптации к изменению климата

Как же влияют климатические изменения на работу районных очистных сооружений Мостовского, Крупского и Миорского районов? Проанализировав текущие и будущие погодно-климатические риски для территории Беларуси, очевидна в будущем высокая повторяемость ОГЯ (в основном очень сильных дождей и ливней) и экстремальных высоких температур воздуха.

Проведем оценку воздействия иловых площадок на окружающую среду в условиях изменения климата, т. е. определим характер, степень и масштаб воздействия объекта хозяйственной деятельности на окружающую среду и последствий этого воздействия, а также предложим соответствующие меры по снижению воздействия, управлению и мониторингу. (Термин используется при описании процедуры, которая отвечает требованиям оценки в соответствии с Директивой 97/11/ЕС.)

Основным компонентом экологического риска является риск нанесения ущерба здоровью людей. В монографии мы будем учитывать риск эколого-социальный, т. е. комбинацию вероятности или частоты возникновения определенной опасности и величины последствий климатического события на загрязнение от иловых площадок не только на окружающую среду, но и на здоровье социума, на его взаимоотношения с местными органами самоуправления [13, 32]. Анализ прогнозируемого в будущем процесса хранения ила от воздействия погодно-климатических сигналов (факторов) и выявления эколого-социальных рисков с возможностью нанесения ущерба для здоровья людей, инфраструктуры и процессов представлен в табл. 3.1.

Таблица 3.1

Влияние климатических сигналов на возникновение опасных явлений и медленных изменений при хранении накопленного ила очистных сооружений и определение факторов эколого-социального риска

Хранение ила очистных сооружений	Описание прямых физических воздействий	Риски (возможный ущерб для здоровья людей, инфраструктуры и процессов)	Степень тяжести риска по шкале от 1 (незначительное) до 5 (катастрофические)	Возможные меры адаптации
		1	2	
Климатический сигнал/Опасные явления				
Проливные дожди	Высокая подверженность объектов размыванию границ иловых площадок, а также воздействию плоскостной эрозии	Ущерб объектам канализации. Угроза распространения загрязнения на лесной массив. Загрязнение почвы, подземных вод токсичными компонентами с иловых площадок за счет инфильтрации	2	<i>Технологические</i> Регулирование стока поверхностных вод с помощью вертикальной планировки территории; установление охранных зон, укрепление

Хранение ила очистных сооружений	Описание прямых физических воздействий	Риски (возможный ущерб для здоровья людей, инфраструктуры и процессов)	Степень тяжести риска по шкале от 1 (незначительное) до 5 (катастрофические)	Возможные меры адаптации
Грозы	Повреждение электрических систем	Риск прекращения электроснабжения, нарушение работы станции очистки сточных вод, выход из строя электрооборудования	3	<i>Оперативные</i> Обеспечение резерва, второго источника питания электросетей или генератора
Сильная жара	Увеличение испарения с поверхности зеркала иловой площадки. Подверженность объектов загниванию. Расширение неблагоприятного газовоздушного фона	Риск повышенного выделения CO ₂ , CH ₄ , N ₂ O с иловых площадок. Ущерб объекта канализации	3	<i>Инженерно-технические</i> Развитие водохозяйственной инфраструктуры; сокращение утечек
Сильный мороз	Снижение биологической активности. Подверженность намораживанию (промерзанию), наледообразованию	Опасность обморожения для людей. Риск продления сроков переработки ила	1	<i>Инженерно-технические</i>
Климатический сигнал/Медленные изменения				
Сильный снег, метели	Не воздействуют	Отсутствует	1	

Хранение ила очистных сооружений	Описание прямых физических воздействий	Риски (возможный ущерб для здоровья людей, инфраструктуры и процессов)	Степень тяжести риска по шкале от 1 (незначительное) до 5 (катастрофические)	Возможные меры адаптации
Сильный ветер	Вынос с иловой площадки физических частиц и создание неблагоприятного газозвукового фона по направлению ветра в радиусе до 12 км	Риск распространения микропластика. Приступы тошноты у населения. Жалобы населения на сильный запах	2	Инженерно-технические
Повышение среднегодовой температуры	Увеличение количества избыточного ила в очистных сооружениях	Риск изменения доминирующих видов растительности с возникновением нового биотопа и невозможности возврата в прежнее состояние	2	Расширение применения влагосберегающих технологий
Увеличение количества жарких дней. Волны жары	Восприимчивость природных экосистем. Расширение неблагоприятного газозвукового фона	Риск изменения состава и структуры экосистемы, в том числе деградация почвенного покрова. Риск пожара	3	Контроль за соблюдением требований правил пожарной безопасности в лесах; создание системы противопожарных барьеров, устройство лесных дорог и водоемов

Хранение ила очистных сооружений	Описание прямых физических воздействий	Риски (возможный ущерб для здоровья людей, инфраструктуры и процессов)	Степень тяжести риска по шкале от 1 (незначительное) до 5 (катастрофические)	Возможные меры адаптации
	1	2	3	4
Увеличение продолжительности вегетационного периода	Восприимчивость природных экосистем	Риск повышенного доминирования инвазивных организмов	1	Охрана и расширение лесополос и других природных объектов и экосистем
Более частые переходы температуры через 0 °С	Могут спровоцировать существенные изменения в метаболических процессах у организмов, общей продуктивности экосистем, выживании гидробионтов	Риск быстрого старения и разрушения материалов конструкции сооружений	2	Мониторинг состояния иловых площадок

Некоторые исследователи утверждают о преимуществах с точки зрения изменения климата и выбросов парниковых газов от осадка сточных вод, перерабатываемого в сельском хозяйстве, в частности о том, что часть углерода в осадке, используемом в сельском хозяйстве, будет поглощаться в почве. Однако эти факты не были научно обоснованы, и не считаются в Национальном кадастре Беларуси.

Что касается загрязнения воздуха, то, хотя замена химического удобрения осадком сточных вод уменьшает выбросы закиси азота, связанные с этим удобрением, считается, что всего лишь 20 % азота в переваренном осадке легко доступно для растений, поэтому выбросы N_2O в результате его распространения больше, чем сокращение N_2O от вытесненного удобрения [37].

Уровень эколого-социального риска (ЭСР) загрязнения окружающей природной среды и влияние его на социум, в том числе и при возникновении определенного неблагоприятного сочетания климатических сигналов, рассчитаем по формуле

$$LR = RD,$$

где LR – уровень ЭСР – степень опасности нанесения ущерба (D) окружающей среде и человеку в результате изменения состояния иловых площадок; R – величина риска (вероятность) появления загрязнения при возникновении климатического сигнала распространением неблагоприятных газовых выделений в воздушную среду и загрязнением тяжелыми металлами подземной окружающей среды иловых площадок; D – величина ущерба окружающей среде и здоровью человека в результате загрязнения близлежащей территории от иловых площадок при возникновении климатического сигнала.

Разработаем комплексную схему оценки уровня ЭСР загрязнения при возникновении климатического сигнала от иловых площадок в результате неблагоприятного сочетания климатических сигналов и опасных явлений (рис. 3.6).

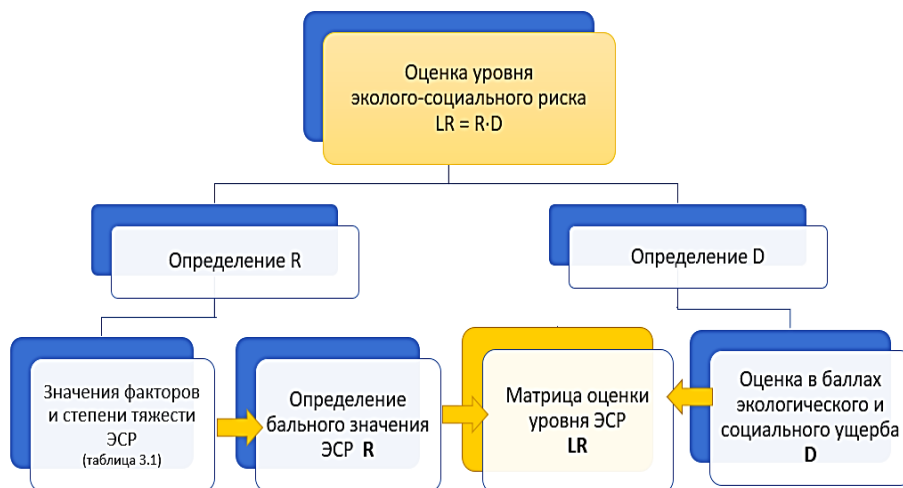


Рис. 3.6. Комплексная схема оценки уровня эколого-социального риска загрязнения при возникновении климатического сигнала

В табл. 3.2 приведена шкала оценки вероятности наступления риска климатических воздействий как иллюстрация результата взаимодействия связанных с климатом опасностей (включая опасные явления и тренды) с уязвимостью и подверженностью антропогенных систем в виде иловых площадок. Данная шкала определяет значимость риска и его описания для табл. 3.1. Изменения как в климатической системе (табл. 3.1, столбцы 1, 2), так и в социально-экономических процессах, включая адаптацию и смягчение воздействий (табл. 3.1, столбцы 3, 4), являются движущими факторами опасности, подверженности и уязвимости (рис. 3.1).

Как следует из табл. 3.1 и 3.2, сильная жара и увеличение количества жарких дней (волн жары) имеют значительный риск частого повторения и продолжительности, что повлечет за собой вероятность появления и распространения по значительной территории неблагоприятного воздушного фона и ухудшение качества окружающей среды для населения, а для сооружений (иловых площадок) спровоцирует деградацию заградительного почвенного покрова и проникновения токсичных веществ в почву.

Таблица 3.2

**Шкала оценки вероятности наступления
эколого-социального риска (R)**

Оценка риска, баллы	Значимость риска	Описание	Приоритет мероприятий по снижению риска	Вероятность наступления, %
1	Малый	Риск не проявится	Специальных мер не требуется. Следует контролировать уровень опасности	95
2	Умеренный	Риск, скорее всего, не проявится	Следует спланировать и выполнять мероприятия по снижению риска	75
3	Значительный	Вероятность проявления и не проявления риска равна	Необходимо запланировать и выполнять мероприятия по снижению риска в сжатые сроки	50
4	Высокий	Риск, скорее всего, проявится	Необходимо принятие экстренных мер по снижению риска	25
5	Сверхвысокий	Риск наверняка реализуется	Необходимо прекратить деятельность до устранения или снижения риска	5

При возникновении риска загрязнения окружающей среды при возникновении определенного неблагоприятного сочетания климатических сигналов необходимо провести и экономическую оценку экологического ущерба. Для этого определим категории экологического ущерба от пространственного распространения воздушного и подземного загрязнения от иловых площадок.

Разработанные оценочные шкалы категорий экологического риска (R) и экологического ущерба (D) являются необходимыми инструментами для определения уровня экологического риска LR загрязнения окружающей среды (почвы и атмосферы) от рабочих иловых площадок (например, г. Мосты) на основе матричного подхода.

Таблица 3.3

**Шкала оценки величины эколого-социального ущерба (D)
от территории распространения загрязнения**

Категория и характеристика экологического ущерба для матричной модели		Территория распространения, км ²	Масштаб загрязнения, значение
Ущерб	Степень загрязнения окружающей среды		
Небольшой	Небольшая	< 1	Локальное
Незначительный	Незначительная	1–5	Районное
Значительный	Значительная	5–15	Территориальное
Критический	Крупная	15–25	Областное
Катастрофический	Чрезвычайная	> 25	Республиканское

Таблица 3.4

Матрица распределения значений уровня эколого-социального риска

		Значение уровня LR при климатических изменениях				
Риск возникновения загрязнения при возникновении климатического сигнала (R), баллы	Крайне вероятно (5 %)	5	10	15	20	25
	Наиболее вероятно (15 %)	4	8	12	16	20
	Вероятно (50 %)	3	6	9	12	15
	Маловероятно (75 %)	2	4	6	8	10
	Крайне редко (95 %)	1	2	3	4	5
		Эколого-социальный ущерб от территории распространения загрязнения (D), баллы				

**Определение категорий уровня климатического риска
для полученных значений *LR***

Значение уровня риска	Процентная норма значения в баллах	Категория уровня риска	Характеристика категории уровня риска
1	4	1	Низкий уровень риска
2	8		
3	12		
4	16		
5	20		
6	24	2	Умеренный уровень риска
8	35		
9	36		
10	40	3	Средний уровень риска
12	48		
15	60	4	Высокий уровень риска
16	64	5	Очень высокий уровень риска
20	80		
25	100		

Таким образом, результаты оценки уровня ЭСР необходимы для разработки мероприятий по снижению риска аварийных загрязнений окружающей среды (почвы и атмосферы) от рабочих иловых площадок при возникновении определенного неблагоприятного сочетания климатических сигналов и их последствий.

Применение комплексной научно обоснованной методики оценки экологического риска эксплуатации иловых площадок при их надлежащем содержании позволит повысить эффективность управления экологическими рисками с целью их минимизации. Управление экологическими рисками подразумевает выявление опасности на ранних стадиях хозяйственной деятельности, сопряженной с климатическими рисками, и разработку мер по устранению этих опасностей или снижению вероятности их проявления.

Выводы по главе 3

Применение комплексной научно обоснованной методики оценки экологического риска эксплуатации иловых площадок при их надлежащем содержании позволит повысить эффективность управления экологическими рисками с целью их минимизации [31, 32]. Управление экологическими рисками подразумевает выявление опасности на ранних стадиях хозяйственной деятельности, сопряженной с климатическими рисками, и разработку мер по устранению этих опасностей или снижению вероятности их проявления [15].

События, связанные с политикой в области изменения климата и возобновляемых источников энергии, также повлияют в настоящем и будущем на управление осадками сточных вод и переработкой или утилизацией избыточного ила:

- будут привлечены экологические организации и заинтересованные должностные лица к решению вопросов по изменению климата и смягчению последствий выбросов парниковых газов и таким образом признают дополнительные преимущества применения осадка в почвах;

- будут усилены инвестиции в доработку технологий по обработке осадка с рекуперацией энергии путем анаэробного сбраживания, сжигания или другой термической обработки с рециркуляцией золы;

- возможно увеличение производства и использование биогаза из осадка сточных вод, а также некоторое производство спиртов и других видов топлива непосредственно из осадка сточных вод с использованием пиролиза и газификации;

- произойдет более широкое применение ила для выращивания топливных культур, таких как мискантус, гибридные тополя и другие непищевые энергетические культуры;

- будут адаптироваться существующие технологии систем очистки сточных вод под изменение климата.

В то же время нужно отметить, что, отвечая на вопрос «Способна ли современная технология очистки сточных вод справиться с нагрузками, связанными с изменением климата?» почти три четверти респондентов (сотрудники Водоканалов) указали, что их технология очистки сточных вод способна преодолеть будущие проблемы, связанные с изменением климата. Чуть более четверти респондентов не были уверены в своей современной технологии или не были уверены в изменении климата.

ГЛАВА 4. ОБЗОР МЕЖДУНАРОДНЫХ РЕКОМЕНДАЦИЙ ПО ОБРАЩЕНИЮ С ИЛОМ С УЧЕТОМ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА (АДАПТАЦИЯ К ИЗМЕНЕНИЮ КЛИМАТА)

4.1 Обзор международной практики по обращению с илом с последующей утилизацией

Размещение осадков сточных вод на иловых площадках сопровождается экологическими рисками загрязнения поверхностных и подземных вод, почв, растительности, эмиссией загрязняющих веществ в атмосферный воздух. То есть существующие традиционные технологии не отвечают современным экологическим и техническим требованиям, не позволяют использовать энергетический и ресурсный потенциал осадка сточных вод. Таким образом, переработка осадков сточных вод является одной из актуальных приоритетных задач, направленных на снижение и предотвращение негативного воздействия на объекты окружающей среды. В связи с тем, что в настоящее время территорий, пригодных для организации иловых площадок и размещения осадков, образующихся на станциях очистки городских сточных вод, катастрофически не хватает, требуется внедрение современных технологий обезвоживания осадков для сокращения их объемов, включающих как механическое обезвоживание (центрифугирование, использование ленточных фильтр-прессов), так и различные физико-химические, в том числе термические методы обработки осадка [4].

В последние десятилетия в мировой практике наметилась тенденция к максимальному вовлечению осадков очистных сооружений в хозяйственный оборот для получения ценной продукции. Основные методы утилизации осадков сточных вод, применяемые в ряде стран, приведены в табл. 4.1.

По данным отчета Европейской комиссии, средний процент осадков, используемых в сельском хозяйстве, в странах ЕС составляет около 40 % [3].

Основные методы утилизации осадков сточных вод, %

Страна	Использование в сельском хозяйстве в качестве органического удобрения	Размещение на иловых площадках	Сжигание	Сброс в море, океан и другие технологии
Англия	53	16	7	24
Австрия	20	49	31	–
Германия	25	55	15	5
Дания	45	28	18	9
США	25	25	35	15
Италия	20	60	–	20
Швеция	60	30	–	10
Франция	23	46	31	–

Преимущественно в сельском хозяйстве осадки сточных вод используют следующие страны ЕС: Кипр – 84 %, Испания – 83 %, Ирландия и Англия – 68 %, Болгария – 56 %; *компостируют*: Эстония – 80 %, Словакия – 65 %, Финляндия – 81 %; *сжигают*: Голландия – 100 %, Швейцария – 90 %, Словения – 62 %, Бельгия – 52 %; *складируют*: Мальта и Исландия – 100 %, Греция – 98 % (Donatello, Cheeseman, 2013).

4.2. Термические способы утилизации

В США и Японии с начала 1980-х гг. и по настоящее время самым распространенным способом утилизации осадков сточных вод является сжигание.

Основными преимуществами метода являются:

- малая площадь, необходимая для размещения оборудования;
- независимость работы технологической линии от климата и времени года;
- малое образование зольного остатка, который, как правило, используется в дорожном строительстве.

К недостаткам данного способа следует отнести:

- необходимость очистки газообразных продуктов сжигания, содержащих вредные соединения;

- количество тепловой энергии, затрачиваемой на сжигание при использовании современных технологий, примерно, на 30 % превышает энергию, получаемую при их переработке;
- безвозвратные потери окислов биофильных элементов, представляющих большую сельскохозяйственную ценность;
- необходимость предварительного обезвоживания осадков сточных вод.

Анализ мирового рынка показал, что капитальные затраты на строительство одной установки по сжиганию осадка для водоканала варьируются в пределах от 1,2 млрд руб. (Турция) до 2,1–2,9 млрд руб. (Финляндия, Япония).

В ряде стран применяют совместное сжигание твердых коммунальных отходов и осадков сточных вод, при этом содержание твердых веществ в осадке сточных вод должно быть не ниже 40 %, а общая влажность не более 60 %. В условиях Российской Федерации, в особенности Центральной нечерноземной зоны, такой переработке будут препятствовать климатические условия. Даже при хорошей водоотдаче потребуются большие экономические затраты на предварительное обезвоживание и сушку осадков сточных вод. В связи с этим сжигание как метод утилизации осадков сточных вод рекомендуется только в случае, если ни один другой более эффективный способ использования осадков сточных вод невозможен. Например, сжиганию подвергаются осадки сточных вод очистных сооружений Выборгского района Ленинградской области, что обусловлено высокой плотностью населения и негативными климатическими условиями (большое количество атмосферных осадков, близкое залегание грунтовых вод).

4.3. Пиролиз

Пиролиз, или сухая перегонка, представляет собой процесс термической переработки осадков путем высокотемпературного нагрева без доступа воздуха. В результате такой переработки осадков получают по отношению к абсолютно сухим веществам около 50 % твердых остатков (уголь, полукокс или пирокарбон), 25 % жидких продуктов (смола или первичный деготь) и 12–15 % смеси газообразных продуктов. Основной целью пиролиза, помимо утилизации отходов, является получение товарной продукции, так называемой «сырой нефти», представляющей собой сырье для нефтехимического синтеза. Наибольшее число пиролизных установок построено на базе переработки однородных по составу твердых бытовых отходов, реже встре-

чаются технологии совместного пиролиза бытовых отходов со сточными водами. Исследования Штутгартского университета (Германия) показывают, что для переработки можно использовать любые органические отходы, но чем выше содержание органического вещества, тем выше КПД процесса. Пиролиз отходов, как правило, осуществляется при температуре 250–4000 °С (низкотемпературный пиролиз, или полукоксование).

На сегодняшний день на рынке оборудования для очистки сточных вод известны примерно полсотни различных систем, реализующих на практике метод пиролиза осадка сточных вод.

Общими недостатками метода низкотемпературного пиролиза осадков сточных вод являются жесткие требования к влажности сырья – не более 60 %. Поэтому реализация данной технологии требует дополнительной обработки осадка сточных вод и целесообразна лишь для небольших объемов. Например, одна из современных пиролизных установок в Милане (Италия) перерабатывает только 10 т в сутки предварительно обезвоженных осадков сточных вод; высокое содержание соединений азота в составе образующегося полукокса, в свою очередь, ограничивает дальнейшее его использование в качестве сырья для химического синтеза.

Таким образом, ограничениями для применения технологии непрерывного пиролиза для утилизации осадков сточных вод в Республике Беларусь являются:

- большие объемы непрерывного образования осадка сточных вод: в настоящее время опыт успешной реализации рассматриваемой технологии для утилизации осадка сточных вод крупных городов в мировой и отечественной практике отсутствует;

- большие объемы образования побочных продуктов, что повлечет за собой необходимость выделения дополнительных площадей для их накопления и трудности с поиском потребителей полученной продукции;

- необходимость предварительной сушки большого объема непрерывно образующегося сырья.

4.4. Анаэробное сбраживание

Другим направлением обработки, также базирующемся на использовании энергетического потенциала осадка сточных вод, является утилизация биогаза, образующегося при анаэробном сбраживании.

Анаэробное сбраживание – один из старейших и до сих пор наиболее часто используемых методов стабилизации осадка. Впервые анаэробное сбраживание в метантенках стало применяться более ста лет назад в США. Содержащиеся в осадке концентрированные органические и неорганические вещества при дефиците кислорода разлагаются, превращаясь в метан и конечные неорганические продукты. Основными преимуществами сбраживания являются стабилизация осадка сточных вод, уменьшение его объема и производство биогаза.

Анаэробное метановое сбраживание включает четыре взаимосвязанные стадии, осуществляемые различными группами бактерий:

I – стадия ферментативного гидролиза нерастворимых сложных органических веществ с образованием более простых растворенных веществ. К первой группе относятся ферментативные бактерии, осуществляющие стадии ферментативного гидролиза и кислотообразования, с выделением в среду биологических катализаторов. Скорость гидролиза зависит от природы органических веществ, количества ферментов, контакта с органическим субстратом.

II – стадия кислотообразования с выделением короткоцепочечных летучих жирных кислот, аминокислот, спиртов, а также водорода и углекислого газа (кислотогенная стадия). Осуществляется гетеротрофными микроорганизмами, для которых углерод простых органических соединений является источником питания. Бактерии этой стадии неприхотливы и растут с высокой скоростью.

III – ацетогенная стадия превращения летучих жирных кислот, аминокислот, спиртов в уксусную кислоту. Осуществляется двумя группами ацетогенных бактерий: первая образует ацетат с выделением водорода, вторая приводит к образованию уксусной кислоты путем использования водорода для восстановления CO_2 .

IV – метаногенная стадия образования метана из уксусной кислоты, а также в результате реакции восстановления водородом углекислого газа. На метаногенной стадии бактерии групп «г» и «д» образуют метан двумя способами:

1) восстановление углекислоты, метанола и муравьиной кислоты водородом (группа бактерий «г») – образуется 28 % метана;

2) расщепление уксусной кислоты (группа бактерий «д») – образуется 72 % метана.

Метановые бактерии – строгие анаэробы, они весьма чувствительны к присутствию в среде растворенного кислорода и нитратов. Оптимальное значение реакции среды составляет 7,0–7,5, хотя эти

бактерии могут работать и при $pH = 9-10$, если время их пребывания не менее 20 суток. Концентрация кислорода, равная 0,01 мг/л, губительно действует на метановые бактерии.

Источниками углерода для метановых бактерий являются ацетат-ион и углекислый газ, источником энергии служит водород, главным источником азота – аммиак, а источником серы – сульфиды. Метаногены также испытывают потребность в различных микроэлементах: калии, натрии, кальции, магнии, кобальте, меди, боре, цинке, молибдене.

Таким образом, анаэробное сбраживание органических веществ осуществляется сообществом микроорганизмов, составляющих трофическую цепь первичных и вторичных анаэробов, для которых характерно использование продуктов обмена одних групп бактерий другими.

Эффективность процесса анаэробного сбраживания оценивается по степени распада органического вещества, количеству и составу образующегося биогаза.

При сбраживании осадков из первичных отстойников, где содержится больше жиров, образуется больше биогаза, чем при сбраживании активного ила.

Различают три основные температурные зоны жизнедеятельности анаэробных микроорганизмов:

- психрофильную – до 20 °С (оптимум – 15–17 °С);
- мезофильную – от 20 до 40 °С (оптимум – 32–35 °С);
- термофильную – от 50 до 70 °С (оптимум – 52–55 °С).

В каждой зоне биохимические процессы осуществляются своей специфической ассоциацией микроорганизмов.

Термофильное сбраживание отличается от мезофильного большей интенсивностью и заканчивается примерно в 2 раза быстрее, за счет чего вдвое уменьшается необходимый объем сооружений и улучшаются санитарно-гигиенические показатели осадков, но требует почти вдвое большего расхода тепла.

Поддержание мезофильных или термофильных температур требует на практике подогревания осадков, что приводит к усложнению технических решений очистных сооружений.

Температура, при которой осуществляется сбраживание осадка, также существенно влияет и на процесс газовыделения.

При термофильном сбраживании достигается полная дегельминтизация осадка, тогда как в условиях мезофильных температур гибнет лишь 50–80 % всего количества яиц гельминтов.

На большинстве станций сбраживание осуществляется в мезофильных условиях, что дает возможность выработки биогаза в количестве, достаточном как для подогрева метантенков, так и для получения дополнительного тепла.

Режим сбраживания выбирается с учетом методов последующей обработки и утилизации осадков, а также санитарных требований.

Биогаз, образующийся в процессе сбраживания, в основном используется для производства электроэнергии на ТЭЦ (теплоэлектростанциях). Одновременно вырабатываемая тепловая энергия расходуется для нагрева загружаемого осадка и обогрева корпуса метантенка. Если загружаемый сырой осадок в течение длительного периода на протяжении всего года имеет относительно низкую температуру (5–10 °С), его, как правило, предварительно нагревают в резервуаре сырого осадка. Данный резервуар, в свою очередь, нагревается трубчатыми или пластинчатыми теплообменниками и устройствами для рециркуляции осадка до необходимого диапазона мезофильных температур 35–40 °С.

Технология мезофильного сбраживания осадков сточных вод, осуществляемая при температуре 37 °С, реализована в г. Щецин. Продолжительность цикла составляет один месяц. Полученный биогаз, состоящий примерно на 60 % из метана, используется для получения электроэнергии, обеспечивающей работу самих очистных сооружений (Валетов, Кащенко, 2018).

Анаэробное сбраживание применяется в основном на средних и крупных очистных сооружениях. Капитальные вложения обычно варьируются в пределах 5–15 млн евро, включая затраты на строительство ТЭЦ. На очень крупных очистных сооружениях капитальные вложения могут быть значительно выше, около 50–80 млн евро для очистных сооружений с эквивалентом численности населения более 1 000 000 жителей. Срок службы механического и электрического оборудования, как правило, составляет 15–20 лет, бетонных сооружений – 30–40 лет. Установленная мощность – около 100–150 кВт, расход электроэнергии – 100–400 кВт · ч/т сухого вещества, что компенсируется за счет производства электроэнергии из биогаза. Часть энергии, вырабатываемой при сбраживании, расходуется на ее производство, поэтому при оценке чистой экономической выгоды необходимо учитывать энергопотребление мешалок и насосов. Для управления процессом требуются 2–3 оператора.

4.5. Компостирование

Осадки сточных вод содержат значительное количество биогенных веществ – азота, фосфора, калия. Наряду с органическим веществом и микроэлементами они определяют удобрительную ценность различных видов осадков. По этим показателям осадки сточных вод, обработанные соответствующим образом, не уступают традиционным органическим удобрениям.

Как видно из табл. 4.2, по содержанию органических веществ осадки сточных вод не только не уступают органическим удобрениям, но по некоторым показателям превосходят их.

Таблица 4.2

**Содержание основных элементов питания растений
в осадках сточных вод и органических удобрениях**

Удобрение	Содержание, % на сухое вещество			
	Органическое вещество	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Навоз крупного рогатого скота	70–85	1,9–4,3	0,6–2,8	1,3–5,2
Свиной навоз	75–85	2,6–6,5	1,4–3,7	1,4–5,4
Помет	50–75	3,6–8,0	3,0–6,7	1,3–4,0
Торф верховой	95–98	0,2–0,5	0,03–0,3	0,01–0,1
Торф переходной	90–95	1,4–2,5	0,02–0,4	0,05–0,2
Торф низинный	85–92	1,6–4,0	0,1–0,4	0,02–0,3
Осадки сточных вод	48–75	1,4–4,3	1,14–4,44	0,28–0,64

Однако наряду с питательными веществами в осадках сточных вод, особенно промышленно-бытовых сточных вод, могут содержаться в токсичных количествах такие вещества, как тяжелые металлы, органические соединения, а также яйца гельминтов, патогенная микрофлора.

4.6. Производство кормового белка

Исследования, проведенные за последние 40 лет в США, Канаде и Чехии, свидетельствуют о высоких кормовых качествах осадков сточных вод, что обусловлено высоким содержанием белков, свободных аминокислот, липидов и витаминов. Технология получения кормового белка в настоящее время осуществляется лишь на пилотных

установках. Технология сводится к следующему: измельченные отходы целлюлозы перемешиваются с осадками сточных вод с добавлением органических легкоусвояемых субстратов, а также минеральных веществ. На полученной основе выращивается активная ассоциация микроорганизмов, которые гидролизуют инертную биомассу, усваивают азот и другие биоорганические соединения. Процесс осуществляется в температурном диапазоне 25–45 °С. Основная сложность технологии заключается в составлении и подборе микробной ассоциации, которая бы сочетала в себе устойчивость к изменению температуры процесса и усвоение гетерогенных органических остатков, содержащих слабо поддающиеся разложению соединения.

Выводы по главе 4

Таким образом, проблема утилизации осадков сточных вод на сегодняшний день окончательно не решена ни в одной стране мира.

Актуальность этой проблемы обусловлена, с одной стороны, активными процессами формирования мегаполисов, а с другой – появлением новых научных данных о процессах взаимодействия компонентов осадков с окружающей средой.

Анализ научных публикаций последних лет указывает на необходимость комплексного и комбинированного подхода к утилизации осадков, учитывающего конкретные условия и факторы.

Компромисс между экологическим состоянием и обеспечением жизнедеятельности мегаполисов формируется при утилизации осадка сточных вод в рамках особого эффективного менеджмента, учитывающего экономическую целесообразность и санитарно-гигиеническую состоятельность тех или иных решений.

ГЛАВА 5. РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ОБРАЩЕНИЮ С ОСАДКАМИ СТОЧНЫХ ВОД В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ

5.1. Общие рекомендации по обращению с осадками сточных вод для Республики Беларусь

Для эффективной разработки стратегии обращения с осадком сточных вод нужно в первую очередь определить оптимальные способы использования или размещения, а также характеристики продуктов (количественные и качественные) для каждого варианта. Затем определяются технологии получения требуемых продуктов (например, осадок проходит анаэробное сбраживание или не подвергается обработке, обезвоживается или высушивается) для реализации наилучших вариантов безопасного применения и размещения.

Исходя из европейского опыта и перспективных направлений применения осадка сточных вод в странах ЕС, в Республике Беларусь могут быть рассмотрены следующие направления:

1. Внесение осадка сточных вод в почву:

– сельское хозяйство – выращивание технических культур, в том числе топливных;

– рекультивация нарушенных земель на объектах промышленного производства и добычи полезных ископаемых;

– лесное хозяйство;

– озеленение – городские парки, благоустройство территорий и пр.

2. Получение энергии из отходов:

– моносжигание – сжигание только осадка сточных вод;

– установки сжигания твердых коммунальных отходов;

– цементные печи;

– электростанции.

3. Размещение на полигоне либо дальнейшее использование иловых площадок.

Далее выполняется оценка целесообразности применения каждого варианта с учетом возможностей и ограничений обращения с осадком сточных вод в Республике Беларусь.

5.1.1. Внесение осадка в почву

Сельскохозяйственное применение обработанного осадка сточных вод в странах ЕС является более экономичной и экологически безопасной альтернативой химическим удобрениям.

В почву на полях осадки после обработки могут вноситься в любой форме (жидкий осадок, обезвоженный кек, высушенный осадок). При использовании осадков сточных вод необходимо учитывать определенные технические, экологические и ценовые аспекты, связанные с хранением, транспортировкой, внесением материала в почву, а также контролем соблюдения стандартов качества.

Площади для внесения в почву и спрос, которым этот материал может пользоваться у сельскохозяйственных предприятий, зависит от ряда факторов:

1) в организационном отношении применение осадков сточных вод проще на полях крупных хозяйств (сельскохозяйственных предприятий), чем у мелких (индивидуальных) фермеров;

2) могут быть установлены ограничения на применение осадков сточных вод на полях, где выращиваются овощи, ягодные культуры, на пастбищах, а также вокруг фруктовых деревьев (обычно устанавливается требование о том, чтобы внесение в почву выполнялось не позднее, чем за 10 месяцев до сбора урожая). Осадки сточных вод можно использовать для выращивания всех полевых культур, а также энергетических культур, выращиваемых для получения биотоплива или биомассы;

3) требования к качеству осадка и почвы, которые устанавливаются для внесения, в том числе ограничения по содержанию биогенных элементов;

4) необходимость избегать территорий зон санитарной охраны;

5) чем круче уклон, тем выше риск смыва вносимого материала поверхностным стоком и его уноса в водные объекты, а также больше сложность физического внесения осадка в почву;

6) внесение в очень тяжелые и очень легкие почвы нежелательно;

7) ограничения внесения по значению водородного показателя и содержанию тяжелых металлов.

Доза внесения осадка в почву на полях определяется в зависимости от потребности выращиваемых культур в биогенных элементах, но на землях с повышенной чувствительностью к нитратному загрязнению (зоны уязвимости к нитратам – ЗУН) устанавливаются особые ограничения в соответствии с требованиями Директивы ЕС 91/676/ЕЕС.

На землях, которые не относятся к категории ЗУН, обычно допускается ежегодное внесение азота в количестве до 250 кг/га, но в пределах ЗУН Директивой ЕС установлено ограничение 170 кг N/га в год. Таким образом, если осадок содержит 5 % азота (50 кг N/т сухого вещества), максимальная разрешенная доза внесения в почву составит 3,4 т сухого вещества/га и 5 т сухого вещества/га, соответственно в пределах ЗУН и вне ЗУН.

Западноевропейский опыт показывает, что в большинстве случаев утилизация путем внесения осадка в почву остается целесообразной в том случае, если практическое применение осадка возможно лишь на 5–10 % потенциально доступных земель (Отчет Минск).

Возможность использования осадков сточных вод в качестве удобрения в сельском хозяйстве зависит от ряда факторов:

- качества осадка;
- простоты транспортировки и внесения в почву;
- пониженного содержания тяжелых металлов или биологической доступности для растений;
- способности исключить загрязнение выращиваемых культур и риски для здоровья животных и людей в связи с возможным присутствием патогенных микроорганизмов;
- агрономической ценности осадка (содержание органики, биогенных элементов в легко доступной для растений форме, водородный показатель и т. д.).

Для исключения возможных рисков для здоровья людей осадок, который не вводится непосредственно в грунт струйным или иным способом, должен предварительно проходить биологическую, химическую или термическую обработку в процессе длительного хранения или по другой технологии, снижающей его способность к ферментации (и, соответственно, образованию неприятных запахов) и риски для здоровья.

На территории Республики Беларусь хорошо развиты разные виды сельского хозяйства. Работают фермы по выращиванию крупного рогатого скота, свиноводческие и птицеводческие предприятия. В растениеводстве преобладает выращивание картофеля, льна и сахарной свеклы.

Для обеспечения возможности применения осадков сточных вод после соответствующей обработки в сельском хозяйстве необходимо:

- разработать и внедрить нормативные акты, регулирующие применение осадков сточных вод в сельском хозяйстве (в настоящее время в Республике Беларусь таких документов не существует);

– разработать маркетинговую программу, позволяющую выгодно использовать осадки сточных вод в сельском хозяйстве;

– разработать обучающие программы для фермеров, органов природоохранного регулирования по технологиям и методам применения осадков сточных вод в сельском хозяйстве, безопасным для здоровья человека и окружающей среды.

Реализация приведенных мероприятий может занять длительное время. В связи с этим данный подход не позволит решить стоящую перед Республикой Беларусь задачу утилизации осадков сточных вод в ближайшем будущем, но его можно рассматривать в более отдаленной перспективе.

Рекультивация нарушенных земель. Нарушенные и брошенные земельные участки обычно ухудшают качество ландшафта и при этом являются источником загрязнения, переносимого воздушными и водными потоками. Твердые биологические вещества успешно используются для быстрой рекультивации и улучшения качества большинства видов нарушенных земель с поврежденными почвами или лишенных почвенного покрова.

Продукты переработки осадка сточных вод эффективно используются для рекультивации выработанных шахт и карьеров, которые разрабатывались открытым способом, мест добычи песка и щебня, а также для рекультивации полигонов для захоронения ТБО.

При использовании осадков сточных вод для рекультивации нарушенных земель к ним предъявляются различные требования, которые зависят от ряда факторов:

– площади рекультивации и топографических условий (уклон должен быть не слишком большим);

– целевого назначения участка;

– характеристики ТБО (соответствие требованиям по содержанию тяжелых металлов, степени обезвоживания и т. д.).

Если содержание загрязняющих веществ в осадке выше предельного уровня, при котором допускается его применение в сельском хозяйстве, то осадки сточных вод могут быть использованы: для подготовки территории под застройку; организации укрывного и пересыпочных слоев на полигонах; устройства полей поля для гольфа.

В мире накоплен большой опыт практического применения и изучения различных вариантов применения осадка сточных вод в восстановительных целях.

Этот способ позволяет утилизировать большое количество осадков сточных вод, но он характеризуется непостоянством спроса, так как рекультивация проводится в рамках ограниченных по времени проектов, и такой возможностью часто можно воспользоваться однократно.

В Республике Беларусь отсутствуют крупные объекты рекультивации с возможностью применения осадков сточных вод в больших объемах, однако на юге Минской области активно ведется добыча калиевой руды. Можно предположить, что при этом образуются обширные отвалы, которые требуют рекультивации. Но доставка ТБО на эти площадки будет сопряжена с серьезными транспортными расходами.

Осадки сточных вод можно утилизировать на полигонах ТБО, которые находятся на территории всей страны. Известно, что в 2017 г. в Республике Беларусь разработаны программы по закрытию и рекультивации значительной части старых полигонов. В настоящее время нет сведений о том, сколько таких полигонов расположено в пределах экономически целесообразного транспортного плеча от крупных очистных сооружений и какое количество осадков сточных вод понадобится для их рекультивации. Предполагаемая потребность в укрывном/пересыпном материале для текущих операций на полигонах относительно невелика в сравнении с прогнозами образования осадка на очистных сооружениях.

Таким образом, несмотря на периодически возникающие возможности для утилизации больших объемов осадков сточных вод в проектах рекультивации, данное направление конечного размещения в целом характеризуется непостоянством и недостаточной емкостью.

Лесное хозяйство. Почвы лесного хозяйства в целом беднее сельскохозяйственных земель как по структуре, так и по содержанию питательных веществ. Во многих случаях для поддержания роста деревьев в почву необходимо вносить удобрения. Это дорогостоящее мероприятие можно заменить внесением осадка, который к тому же повышает содержание органики и улучшает структуру почвы. То есть при этом улучшаются физические, химические и биологические свойства почвы, что способствует лучшей приживаемости и росту деревьев. Кроме того, применение осадков сточных вод в лесном хозяйстве вызывает меньше возражений, так как этот путь конечного размещения осадка не затрагивает пищевые цепи.

Результаты исследований, проведенных в разных странах для изучения влияния внесения осадков сточных вод на рост деревьев, состояние окружающей среды и операционные аспекты, показали, что этот продукт хорошо улучшает показатели роста деревьев.

Применение осадков сточных вод в лесопосадках целесообразно при условии, что поблизости есть достаточно большие территории для внесения данного продукта. Осадки сточных вод, получаемые на очистных сооружениях канализации, наиболее эффективны при высадке саженцев, так как они улучшают их приживаемость и поддерживают ранний рост деревьев. Это особенно важно в тех случаях, когда высадка деревьев и других растений проводится для борьбы с эрозией. При этом возможности доставки и внесения осадка зависят от топографических особенностей местности, поскольку может быть затруднен доступ для автотранспорта на крутых склонах, кроме того, часто осадки сточных вод приходится вносить вручную.

Лесопосадки характеризуются продолжительным циклом роста и в целом низкой потребностью в питательных веществах, хотя ситуация может быть иной в случае новых насаждений на бедных почвах или повторных лесопосадок на месте вырубок, где почва истощена прежними насаждениями.

При интенсивном ведении лесного хозяйства промежутки между циклами внесения осадков сточных вод увеличиваются с учетом условий доступности, плодородия почв, а также стадии роста и питательного режима деревьев.

Оценивая возможности утилизации осадка сточных вод для лесопосадок и рекультивации нарушенных земель, необходимо учитывать такие факторы, как уклон поверхности земли, расстояние до водотоков/водоемов (рек, озер и т. д.), жилых построек/поселений, сельскохозяйственных угодий и охраняемых природных территорий.

Осадки сточных вод удобнее всего вносить при посадке деревьев, но такая возможность предоставляется только один раз. Соответственно, в отсутствие обширной и долгосрочной программы лесопосадок лесное хозяйство не может рассматриваться как постоянное направление для утилизации осадков сточных вод.

Кроме того, посадка саженцев выполняется вручную, и осадки сточных вод при этом также нужно вносить ручным способом. Соответственно, материал осадков сточных вод должен быть достаточно сухим и рыхлым, чтобы его было удобно вносить в почву. Содержание сухого вещества для этой цели должно быть не ниже 50 %, а зна-

чит, на очистных сооружениях необходимо предусматривать анаэробное сбраживание и обезвоживание, а также подсушивание осадков сточных вод.

Возможности применения осадков сточных вод в лесном хозяйстве Республики Беларусь минимальны, но это направление утилизации можно использовать (при условии, что качество осадков сточных вод отвечает установленным требованиям), особенно если в регионе планируются масштабные программы лесопосадок.

Озеленение. Твердые биологические вещества используются в озеленении (включая городские парки) в качестве улучшителя структуры почвы, ее удобоукладываемости и способности к задержанию влаги. Поставки осадка сточных вод для озеленения могут осуществляться как небольшими упаковками (обычно в виде компоста) для личных приусадебных участков, так и относительно крупными партиями для городских парков. В обоих случаях люди могут непосредственно прикасаться к продукту, в связи с чем осадок необходимо дополнительно обрабатывать, чтобы уменьшить содержание патогенных микроорганизмов. Чаще всего эта задача решается путем компостирования в смеси с растительными отходами или другим наполнителем.

Площади озеленения в стране минимальны. Доля суммарного объема осадка, которые могут быть утилизированы этим способом, предположительно, еще меньше, чем для применения в лесном хозяйстве. Соответственно, осадок нецелесообразно подвергать дополнительной обработке, чтобы сделать его пригодным для использования на столь ограниченном рынке. При появлении дополнительных возможностей по данному направлению в будущем, их следует изучить и оценить.

5.1.2. Получение энергии из отходов

Моносжигание. На сегодняшний день в мире построено и ведется строительство множества установок сжигания осадка сточных вод (СОСВ). Современные установки сжигания обычно укомплектовываются паровыми турбинами для выработки электроэнергии. Также на некоторых из них реализованы схемы экспорта излишков тепла, например, для систем центрального отопления.

В установках для моносжигания осадка сточных вод, как правило, используется технология сжигания в псевдооживленном слое (СПС) – в ЕС на сегодняшний день действует 40 таких установок. Например,

в Великобритании таких установок две – в Лондоне (ОС Бектон) и Северной Ирландии (ОС Данкру, Белфаст) – общей мощностью по сухому веществу около 90 000 т/год; в Германии уже действует около 30 установок сжигания осадка сточных вод для сжигания сырых или сброженных осадков сточных вод в объеме по сухому веществу 1,4 млн т/год [«Управление осадками сточных вод в Германии» ('Sewage Sludge Management in Germany'), 2013, Umweltbundesamt (UBA). URL: https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/378/publikationen/sewage_sludge_management_in_germany.pdf].

В связи с тем, что технологии сжигания обычно требуют больших инвестиций и дороже в эксплуатации, чем схемы, ориентированные на утилизацию в сельском хозяйстве, к ним прибегают лишь в тех случаях, когда возможность использования осадка на сельскохозяйственных землях ограничена в силу местных обстоятельств (например, наличие земельного фонда) или требований законодательства.

К недостаткам технологий сжигания (в сравнении с внесением в почву) относятся:

- сложность эксплуатации;
- высокая стоимость;
- увеличенные выбросы углерода и в целом негативное отношение общественности к этой технологии (протесты местных жителей против строительства новых установок по сжиганию).

Для автотермического моносжигания осадка сточных вод (без подачи дополнительного топлива в нормальном режиме работы), как правило, достаточно повысить содержание сухого вещества в осадке до 35 % сухого вещества путем обезвоживания и/или подсушивания. Минимальная концентрация сброженного осадка для сжигания обычно принимается на уровне 45 % сухого вещества или выше, так как в процессе брожения уменьшается количество органических веществ, доступных для сжигания.

Если содержание сухого вещества в обезвоженном осадке недостаточно высоко, чтобы поддерживать устойчивое горение материала (особенно при сжигании сброженного осадка), такой осадок нужно предварительно подсушить. Эффективнее всего использовать для сушки осадка излишки тепла, отводимого от установки сжигания, в связи с чем современные установки проектируются с встроенной системой подсушивания.

Затем осадок с требуемым содержанием сухого вещества подается в печь. В реакторе печи находится очень горячий песок, который ожигается потоком воздуха из дутьевой камеры, расположенной

в основании печи. Для сжигания подаваемый в печь осадок должен быть однородным (по показателям теплотворной способности, зольности и содержанию влаги), поскольку быстрый процесс сжигания более чувствителен к резким изменениям состава осадка.

Установки моносжигания осадка сточных вод работают в диапазоне температур от 850 до 950 °С. При температуре ниже 850 °С включается подача дополнительного топлива и, если температура продолжает падать, производится остановка системы, чтобы не допустить образование диоксинов. При температурах выше 950 °С возможно спекание золы. Температура, которая достигается в процессе сжигания, зависит от энергопотенциала и количества осадка, а также от количества доступного воздуха для горения.

Тепловая энергия утилизируется в системе котлов, которые вырабатывают пар для паровой турбины и тепло для подачи горячего воздуха. Излишки тепла, которые в большинстве случаев образуются в паротурбинной установке, используются для нагрева сушки осадка. Процесс должен быть автотермическим, и дополнительное топливо подается только при запуске и останове печи, чтобы обеспечить температурные условия для начала подачи осадка (или поддержать температуру в печи выше 850 °С, при невозможности поддержания автотермического режима).

Дымовые газы проходят сухую, полусухую или мокрую очистку. В сухой или полусухой системе гашеная известь или бикарбонат натрия вводится в поток перед фильтром, чтобы нейтрализовать кислые газы. Тяжелые металлы и диоксины адсорбируются активированным углем. Часть тяжелых металлов задерживается на поверхности частиц летучей золы, которые улавливает фильтр. Мокрые системы газоочистки обеспечивают более высокие стандарты очистки газовой смеси перед выбросом, но в них образуются жидкие отходы, которые также требуют очистки (в то же время эти системы производят меньше остаточных твердых отходов, направляемых на захоронение на полигон, чем другие системы газоочистки).

После очистки дымовые газы выбрасываются в атмосферу через дымовую трубу высотой 60–70 м (высота дымовой трубы установки сжигания на ОС Данкру – 70 м).

Помимо вспомогательного углеводородного топлива, установки сжигания обычно потребляют электроэнергию (приблизительно 40–50 % энергии, вырабатываемой на паровой турбине), а также реагенты для очистки дымовых газов. Паровая турбина вырабатывает

от 130 до 190 кВт · ч электроэнергии на тонну сырья. Таким образом, чистая отдача энергии с установки составляет 70–110 кВт · ч на тонну. Также производятся излишки тепла (сверх необходимого для подсушивания осадка), которые могут быть переданы внешним потребителям, например, в сеть теплоснабжения или парниковое хозяйство.

В процессе мокрой газоочистки зола и остаточные продукты задерживаются в два этапа: летучие частицы золы отделяются после электрофильтра до введения реагентов для контроля загрязнения атмосферного воздуха, а прочие вторичные отходы задерживаются в рукавном фильтре.

При наличии спроса на рынке зольная пыль может использоваться в строительстве, если ее качество отвечает установленным требованиям. Вторичные отходы из системы контроля загрязнений атмосферного воздуха, которые образуются в относительно небольших объемах, как правило, размещаются на полигоне.

В настоящее время идет разработка экономически приемлемых процессов извлечения фосфора и других потенциально полезных веществ из зольной пыли (уловленной в электрофильтре), которые, как ожидается, пройдут коммерческую апробацию в ближайшее время или в среднесрочной перспективе.

5.1.3. Установки сжигания твердых коммунальных отходов

В ЕС и других странах имеется множество примеров использования систем, в которых часть осадка сточных вод после обезвоживания или сушки сжигается совместно с бытовыми отходами. Обычно эта услуга оказывается на договорной основе, и поставщик осадка вносит плату за прием отходов оператору установки сжигания.

Максимальное количество осадка, который по техническим причинам можно сжечь в смеси с бытовыми отходами, зависит от производительности установки сжигания. Накопленный в отрасли опыт показывает, что добавление в ТКО обезвоженного осадка в количестве 5–7 % (по весу) не оказывает заметного негативного влияния на работу установки сжигания. Также опытом подтверждено, что при необходимости возможно кратковременное (на протяжении 1–2 недель) сжигание смеси ТКО с добавлением до 10 % осадка (по весу).

Помимо тепловой и электрической энергии, установки сжигания производят шлаки, зольную пыль и другие вторичные отходы процесса очистки дымовых газов.

Если предположить, что, основываясь на отраслевом опыте, на совместное сжигание с твердыми коммунальными отходами будет приниматься 5–7 % осадка сточных вод (по весу), и с учетом других технических, законодательных и коммерческих ограничений, то с применением мусоросжигательных заводов можно было бы утилизировать лишь небольшую часть осадка, образующегося в процессе очистки сточных вод. И это было бы возможно лишь при условии неполной загрузки мощности мусоросжигательных заводов твердыми коммунальными отходами, чтобы оставался резерв для приема на утилизацию осадка сточных вод.

Совместное сжигание осадка сточных вод в цементных печах (в качестве дополнительного топлива). Производство цемента – очень энергоемкий процесс, в связи с чем предприятиями по производству цемента накоплен богатый опыт использования альтернативных видов топлива, получаемого из отходов. Такие схемы позволяют уменьшить потребление углеводородного топлива и, соответственно, сократить издержки. Кроме того, минеральные компоненты осадка сточных вод могут заменять собой минеральное сырье (песок, железную руду) для производства цемента. Также совместное сжигание осадка сточных вод на цементных заводах способствует снижению выбросов углерода за счет уменьшенного расходования топлива и сырья.

Данный подход широко распространен в европейских странах, в частности, в Германии, Швейцарии и Шотландии. Однако готовность цементных заводов принимать осадок на утилизацию зависит от местных условий, таких как политика компании или отдельного завода в отношении сокращения выбросов углерода, условия экологических разрешений, качество осадка (физический объем и теплотворная способность), технические возможности сжигания осадка в цементной печи, а также экономическая целесообразность такой схемы.

Недостаток сжигания в цементных печах состоит в том, что при этом безвозвратно теряется фосфор из осадка сточных вод – он либо включается в состав цемента, либо сильно разбавляется в шлаке и других остаточных продуктах процесса сжигания.

Как правило, цементные заводы принимают на утилизацию только высушенный осадок (в редких случаях цементные заводы самостоятельно осуществляют сушку осадка с утилизацией излишков тепла цементных печей). Необходимость сушки осадка приводит к значительному удорожанию капитальных и эксплуатационных затрат по этому варианту. Традиционно цементные заводы взимают плату за прием осадка на утилизацию, но, в стремлении минимизиро-

вать затраты на энергию и выбросы углерода, некоторые заводы покупают высушенный осадок по ценам, установленным в зависимости от его энергопотенциала.

На территории Республики Беларусь действуют три цементных завода. За последние пять лет все они приобрели оборудование для использования топлива из отходов (RDF) и, соответственно, у них должна быть техническая возможность принимать на утилизацию высушенный осадок (табл. 5.1).

Таблица 5.1

**Возможность использования отходов в качестве топлива
на цементных заводах Беларуси**

Наименование завода	Месторасположение	Производственная мощность (млн т цемента в год)	Возможность использования отходов, в том числе осадка сточных вод
ОАО «Кричев-цементношифер»	г. Кричев, Могилевская область	0,6	В цементной печи возможно сжигание старых автопокрышек в качестве топлива Построена установка RDF
ОАО «Белорусский цементный завод»	г. Костюковичи, Могилевская область	2,3	Нет данных
ОАО «Красносельск-стройматериалы»	г. Волковыск, Гродненская область	1,6	В мае 2020 г. сообщалось, что в конце 2020 г. завершится строительство установки для использования топлива из отходов, что позволит уменьшить потребление заводом угля и торфа

Предельно допустимая доля применения осадка обычно составляет 5 % производства клинкера. Исходя из общей производительности по цементу, согласно данным (4,5 млн т/год), цементные заводы потенциально могли бы принимать на утилизацию осадки сточных вод в количестве 176 000 т/год по сухому веществу.

Их можно использовать для утилизации осадка сточных вод с близлежащих очистных сооружений Республики Беларусь. Однако возможность реализации этой схемы имеет серьезные ограничения:

– цементным заводам нужен высушенный осадок (> 85 % сухого вещества), и на очистных сооружениях, которые планируют поставлять туда осадок придется построить термосушку, для работы которой требуется большое количество тепловой энергии. Если на площадке сооружений будет также построена установка анаэробного сбраживания, то потребность в тепловой энергии можно будет частично покрыть за счет сжигания биогаза в котлах. Но, вероятнее всего, все же придется использовать дополнительное углеводородное топливо, что увеличит затраты, а также выбросы парниковых газов;

– сушка осадка сточных вод отличается сложностью и дороговизной эксплуатации и обслуживания и требует принятия дополнительных мер, чтобы минимизировать риск взрыва (пыли высушенного осадка);

– спрос на осадок и оплата (цементные заводы в Республике Беларусь, возможно, будут покупать сухой осадок, который по своим свойствам подобен низкосортному углю, на конкурентных условиях, с учетом теплотворной способности других предлагаемых видов топлива. Но эти доходы не покроют затраты на сушку и перевозку. К тому же, если заводам будет удобнее и дешевле закупать другое топливо (твердые коммунальные отходы), то ставка платы за осадок будет еще ниже, или очистным сооружениям даже придется вносить плату за прием осадка на утилизацию;

– загрузка мощностей цементных заводов может изменяться в зависимости от колебаний спроса на цемент, нерентабельное производство может быть остановлено.

Таким образом, утилизация осадков сточных вод на цементных заводах может быть рассмотрена очистными сооружениями после внедрения соответствующей технологии подготовки осадка.

Совместное сжигание осадка (в качестве дополнительного топлива) с другими видами топлива на электростанциях. В ЕС и других странах имеется множество примеров использования систем, в которых часть высушенного осадка сточных вод сжигается совместно с твердым топливом (обычно это уголь). Как правило, эта услуга оказывается на договорной основе, и поставщик осадка вносит плату за его прием оператору электростанции.

Осадок сточных вод с содержанием сухого вещества от 20 до 35 % обычно принимается для утилизации на электростанциях, имеющих системы измельчения угля, где может быть обеспечено одновременное подсушивание осадка. Ограничивающим фактором для объема утилизации обезвоженного осадка может стать сушильная мощность системы измельчения угля. Также на электростанциях можно утилизировать полностью высушенный осадок.

В окрестностях Минска расположены четыре теплоэлектростанции мощностью от 94 до 1035 МВт, работающие на природном газе и жидком углеводородном топливе, и сжигание осадка на них технически невозможно.

5.2. Дальнейшее использование иловых площадок

При использовании иловых площадок для обезвоживания осадков сточных вод до внедрения механического обезвоживания с последующей утилизацией целесообразно произвести интенсификацию их работы.

Основной причиной неудовлетворительной работы иловых площадок является некачественная предварительная стабилизация осадков. Подача нестабильного осадка приводит к его загниванию на иловых площадках, что еще более ухудшает влагоотдачу и приводит к образованию слоя загрязнений, который всплывает на поверхность. Этот слой мешает удалению воды и усложняет испарение влаги. Плохая водоотдача хорошо стабилизированных осадков может быть следствием нарушения режимов стабилизации или неправильного выбора самой технологии стабилизации.

Прямая зависимость между значением удельного сопротивления осадка и эффективностью работы иловых площадок подтверждается опытом эксплуатации многих очистных сооружений. Со снижением удельного сопротивления осадка улучшаются процессы фильтрации жидкости через слой осадка и удаление ее через дренаж, повышается эффективность удаления воды с поверхности осадка (декантация), увеличивается скорость испарения влаги со свободной поверхности осадка. Таким образом, улучшение влагоотдачи может быть достигнуто при использовании следующих методов: *реагентной, тепловой и радиационной обработки, замораживания и размораживания, наложения внешнего электромагнитного поля, введения присадок.*

Одним из способов улучшения влагоотдачи, уплотненного аэробно стабилизированного осадка, является его аэрация на протяжении 0,5–1,5 ч перед подачей на иловые площадки. Аэрация с интенсивностью $1\text{--}2 \text{ м}^3/\text{м}^2 \cdot \text{ч}$ восстанавливает функциональные возможности аэробных бактерий стабилизированного осадка, предотвращает развитие анаэробных процессов в период его пребывания на иловой площадке. В этом случае производительность иловых площадок увеличивается в 1,4–2,0 раза.

Возможна флотационная обработка осадков перед обезвоживанием, которую рекомендуется осуществлять по схеме флотации с рециркуляцией рабочей жидкости при коэффициенте рециркуляции 4–6 и давлении насыщения рабочего раствора воздухом 0,3–0,4 МПа.

Работу иловых площадок можно интенсифицировать предварительным промыванием очищенной водой плохо фильтруемых осадков. При этом достигается увеличение нагрузки на иловые площадки на 70 %. Технология промывания анаэробно сброженных осадков может быть такой же, как и при подготовке их к механическому обезвоживанию.

Применяя технологию замораживания–оттаивания, необходимо соответствующим образом организовать эксплуатацию иловых площадок. В зимний период подача осадка на иловые площадки должна обеспечивать послойное его намораживание на картах, так, чтобы весь слой накопленного за зиму осадка был хорошо проморожен. В случае сильных снегопадов необходимо удалять снег с поверхности намороженного осадка, что ускорит его промерзание на всю глубину.

В процессе весеннего оттаивания осадка на поверхности иловых площадок образуется слой относительно чистой воды (около 80 % объема намороженного осадка), которая должна быть удалена за границу площадки как можно быстрее. При длительном контакте осадка с талой водой в нем увеличивается количество связанной воды, что ухудшает его дальнейшее подсыхание. Для быстрого и равномерного удаления влаги иловые площадки должны иметь водоотводные колодцы с водосливом переменного уровня, которые устраивают по периметру карт на расстоянии 30–50 м один от другого.

При больших значениях удельного сопротивления осадков, подаваемых на иловые площадки, основная часть воды удаляется выпариванием. Скорость выпаривания с открытой поверхности будет тем выше, чем тоньше слой напуска. Чем хуже фильтруются осадки, тем быстрее происходит коагуляция дренающего основания вследст-

вие большого содержания в таких осадках тонкодисперсных и коллоидных частиц. При высокой способности осадков отдавать влагу происходит фильтрация через слой осадка, который откладывается на основании, а основание играет роль поддерживающей и водоотводящей среды.

Для поддержания высокой пористости основания при каждом удалении обезвоженного осадка рекомендуется снимать вместе с осадком верхний слой песка дренирующего основания. Перед новой подачей осадка на иловую площадку основание обновляется путем досыпания тонкого слоя песка.

Одно из направлений реконструкции иловых площадок – это усовершенствование дренажных систем. Новые конструкции иловых площадок имеют обычно дренаж вертикального типа, обеспечивающий удаление воды фильтрацией со всего слоя осадка, который находится на площадке.

Иловая площадка на водонепроницаемом основании имеет вертикальный дренаж, состоящий из двух стенок с отверстиями, и размещенный между ними фильтрующий слой с щебнем и гравием. Боковые стенки могут быть выполнены из перфорированных плит или блоков, пористого бетона. В качестве дренажных элементов используются простые плиты, которые устанавливают наклонно на поддерживающий каркас. Пространство между плитами используется для отведения профильтрованной воды к сборному желобу. В качестве фильтрующих элементов вертикального и горизонтального дренажей можно использовать фильтростеклопластиковые трубы, которые применяют в водозаборных скважинах. Вертикальные фильтрующие элементы из таких труб дополнительно покрывают фильтрующим материалом и присоединяют к трубопроводам горизонтальной дренажной системы. Горизонтальный дренаж состоит из фильтра стеклопластиковой трубы, отсортированной гравийной загрузки и перфорированного пластикового воздуховода, используемого для периодической продувки дренажа, и слоя осадка. После продувок при повторных напусках осадка скорость фильтрования остается довольно высокой.

При эксплуатации подобных иловых площадок особое внимание надо обращать на режим напуска осадка. Размеры карт должны быть такими, чтобы их заполнение происходило не более чем за сутки. При подаче аэробно стабилизированного активного ила с влажностью 98 % высота напуска может быть 0,8–1,0 м. В этом случае большая часть влаги отводится через вертикальный дренаж. При подаче анаэробно

сброженного осадка высота слоя напуска рекомендуется 0,4–0,8 м при первом напуске и 0,05–0,1 м при последующих.

Нагрузка на иловые площадки, оборудованные системами вертикального и горизонтального дренажа, может составлять 5,0–5,5 м³/м² в год. При предварительной обработке осадка катионным флокулянтom с дозой 0,05–0,1 % нагрузка на иловые площадки может составлять до 7,0–7,5 м³/м² в год.

Таблица 5.2

Методы интенсификации обезвоживания осадков сточных вод на иловых площадках со снижением экологического ущерба при появлении неблагоприятных климатических сигналов

Направление интенсификации	Способ реализации	Ожидаемый эффект
<i>Иловые площадки или поля фильтрации и на естественном основании без дренажа (г. Миоры)</i>		
Реагентное кондиционирование осадков	Оборудование узла приготовления и дозирования реагентов	Увеличение нагрузки на иловые площадки
Использование покрытия над иловыми площадками	Установка покрытия	Увеличение нагрузки на иловые площадки
Реконструкция	Строительство искусственного покрытия и дренажа	Увеличение нагрузки на иловые площадки
Переход на механическое обезвоживание	Строительство цеха механического обезвоживания осадка	Улучшение экологического состояния в районе очистных сооружений. Освобождение земли
<i>Иловые площадки на естественном основании с дренажом (г. Мосты)</i>		
Реагентное кондиционирование осадков	Строительство узла приготовления и дозирования реагентов	Увеличение нагрузки на иловые площадки
Использование покрытия над иловыми площадками	Установка покрытия	Увеличение нагрузки на иловые площадки
Реконструкция	Замена системы дренажа с использованием современных материалов	Увеличение нагрузки на иловые площадки
Переход на механическое обезвоживание	Строительство цеха механического обезвоживания осадка	Улучшение экологического состояния в районе очистных сооружений. Освобождение земли

Направление интенсификации	Способ реализации	Ожидаемый эффект
<i>Иловые площадки на искусственном основании с дренажом (г. Крупки)</i>		
Реагентное кондиционирование осадков	Оборудование узла приготовления и дозирования реагентов	Увеличение нагрузки на иловые площадки
Промывка дренажа	Монтаж системы промывки дренажа	Увеличение срока службы дренажа
Продувка дренажа	Монтаж системы продувки дренажа	Увеличение срока службы дренажа
Замена дренажа	Замена дренажной системы на более современную, оборудованную горизонтальным и вертикальным дренажем из полимерных труб	Увеличение производительности иловых площадок. Уменьшение нагрузки на сооружения биологической очистки
Вакуумирование дренажной системы и обеспечение ее регенерации путем продувки сжатым воздухом	Установка вакуумно-нагнетательной установки	Увеличение нагрузки на иловые площадки
Реконструкция	Оборудование механического перемешивания и уборки обезвоженного осадка	Увеличение нагрузки на иловые площадки

5.3. Участие сообществ в развитии систем очистки сточных вод

Централизованные системы очистки сточных вод в крупных городах и других селитебных территориях исторически были доминирующими и чрезвычайно эффективными при выборе той или иной технологии обезвреживания и удаления загрязнений различных веществ [1]. В настоящее время сообщества сталкиваются с серьезными проблемами, которые накладывают дополнительную нагрузку на инфраструктуру и бюджеты населенных пунктов, включая изменение плотности населения, коммерческий рост предприятий, увеличение трафика дорожного движения, развитие торговли и др.

Одной из самых основных обязанностей сообщества является общественное здравоохранение. Рассматривая коммунальную гигиену как одну из важнейших обязанностей Министерства здравоохранения Республики Беларусь (например, СанПИН «Требования к системам водоотведения населенных пунктов, утвержденные постановлением от 15 мая 2012 г. № 48), должностные лица должны учитывать перспективы, которые предполагает изменение плотности населения, коммерческое (промышленное) развитие района и возраст существующих очистных сооружений и инженерных систем, а также включать вероятность изменения будущих объемов сточных вод и стратегии в выборе метода очистки в качестве части генерального плана [29, 30]. При этом государственный санитарный надзор за соблюдением требований санитарных норм и правил осуществляется в порядке, установленном законодательством. Если не просчитывать негативные варианты, то эвентуальность загрязнения сточными водами может привести к напряжению или нарушению местных водных ресурсов (водотоков или водоемов), повреждению источника воды или колодца и негативным перспективам для показателей безопасности воды поверхностных водных объектов для рекреационного использования. Это видение специалистами возможного негативного сценария воздействия несанкционированного сброса неочищенных сточных вод часто является катализатором разработки новых правил или проектирования новых очистных сооружений в том или ином районе [30]. Хотя ранее и говорилось о том, что строительство канализационных систем неудобно и дорого, но по ряду причин использовать децентрализованный метод очистки было нецелесообразно [51]. При решении проблем со сточными водами у сообществ есть несколько вариантов для рассмотрения, включая установку централизованной канализационной системы [4], расширение существующей централизованной системы очистки путем модернизации очистных сооружений для получения дополнительной мощности или ориентация на новые технологии и подходы, такие как децентрализованные системы очистки сточных вод (ДОСВ) [34, 53].

Поэтому необходимо сформулировать возможные запросы сообществ в зависимости от экономических, технологических и социальных факторов по развитию ДОСВ в населенных пунктах или отдельных районах города [21].

Решение для проектирования и строительства ДОСВ может стать оптимальным выбором как для коммерческих/промышленных объектов, так и небольших сообществ; для малоэтажной застройки в сельской, пригородной и городской среде.

Децентрализованная система очистки сточных вод – это локальная территория, где подземные воды извлекаются для водоснабжения, потребляются населением, собираются, обрабатываются и возвращаются близко к месту их происхождения для пополнения местного водоносного горизонта. Сегодня децентрализованные системы могут обрабатывать сточные воды на том же уровне, что и централизованные системы. Используя модульные конструкции, можно их масштабировать с минимальными затратами на строительство. Такие проекты предусматривают выполнение экологических требований, оптимального энергопотребления и минимизации землеотведения.

Новые технологии ДОСВ, использующие естественные подходы, более рентабельные и обеспечивающие безопасную и эффективную очистку с уменьшением загрязнения и потенциальных рисков для здоровья, связанных со сточными водами [23]. В настоящее время подход ДОСВ инженеры и разработчики используют для решения по проектированию и строительству модульной системы, адаптированной к району строительства, например, для объектов со сложными почвами, пересеченной местностью или крупных рекреационных и коммерческих объектов в экологически чувствительных районах. С распространением наиболее доступных технологий в сфере водоотведения о повышении производительности системы ДОСВ становятся все более популярными среди местных отделов общественного здоровья областных центров гигиены и эпидемиологии. При децентрализованном подходе одни и те же технологии очистки, используемые крупномасштабными установками по очистке сточных вод, доступны и для небольших потоков. Например, мембранные биореакторы (рис. 5.1), которые стали популярными в последнее десятилетие [10]. И сообщество или владелец/застройщик может не зависеть от водоканала, требующего расширения канализации, и им не нужно годами ждать, пока станция очистки сточных вод будет модернизирована и иметь расширенную пропускную способность, чтобы район смог подключиться к канализационным сетям в соответствии с проектом.

Стандартная схема при централизованном подходе к очистке сточных вод включает сбор, очистку и сброс, как правило, из точечного источника. Однако система сбора может иметь приток и инфильтрацию от поверхностных или грунтовых вод, поступающих в систему. Это имеет место независимо от того, является ли система сбора старой или новой. Когда это случается, пропускная способность

системы сбора может быть превышена, что приводит к переполнению комбинированной канализации и к сбросу неочищенных вод непосредственно в принимающий орган.

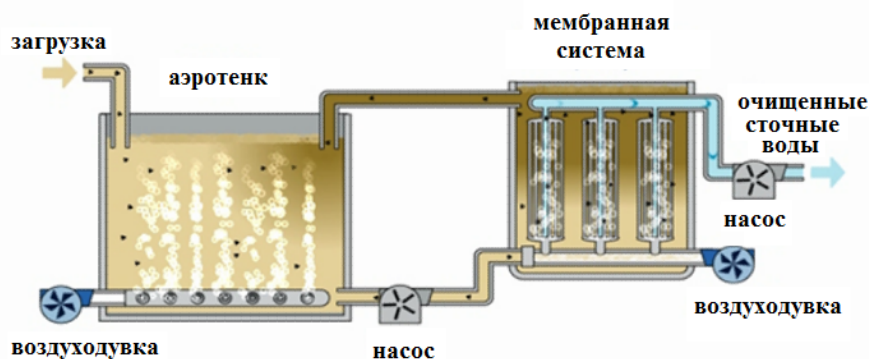


Рис. 5.1. Протекание процесса в мембранном биореакторе

Проведем оценку запросов сообществ и специалистов по стратегическому направлению развития. Известно, что потребности и проблемы различных сообществ сильно различаются.

Рассмотрим восемь ключевых вопросов, которые сообщества должны задать себе и рассмотреть, чтобы принимать мудрые решения по развитию системы водоотведения и очистки сточных вод.

1. *Каково видение будущего нашего сообщества, населенного пункта, района?*

Канализация неразрывно связана с уровнем благосостояния общества и открывает возможности для увеличения населения и роста бизнеса, например, для строительства высотных отелей и увеличения плотности застройки [29]. Однако наряду с этим может возникнуть увеличение трафика, усложнение уличной сети, появление больших торговых центров и, как следствие, потеря аутентичного характера сообщества. Поэтому планирование сообщества лежит в основе определения не только 5-, 10- и 20-летнего видения, но и в выборе наилучшего устойчивого плана очистки сточных вод [22].

2. *Какими, по Вашему мнению, должны быть будущие мощности по очистке сточных вод?*

С помощью ДОСВ сообщество может сосредоточиться только на благоустройстве тех районов города, которые испытывают наибольшую потребность, и постепенно проводить другие виды благоустройства с течением времени. Это позволяет снизить расчетные потоки, уменьшить площади рассеивания и, следовательно, снизить затраты. При таком подходе финансовое бремя ложится на те объекты недвижимости,

где проблемы видны или ожидаются, а не на все остальные. Централизованные канализационные системы не всегда предлагают функциональные и избирательные возможности.

3. Какие в настоящее время существуют проблемы с очисткой сточных вод?

Должностные лица сообщества, связанные с водоканалом и местной администрацией, должны точно оценить текущие проблемы с очисткой сточных вод в сообществе. Протекающие канализационные коллекторы, системы с недостаточной пропускной способностью, недостаточное финансирование, проблемы с водосбором, загрязнение грунтовых вод и несоблюдение нормативных требований – все это должно быть задокументировано. Как только эта оценка будет проведена, жители должны быть проинформированы о проблемах сообщества и им должна быть предоставлена подробная информация для рассмотрения, включая предлагаемые решения, связанные с ними затраты, а также краткосрочные и долгосрочные воздействия. Тщательные оценки и надлежащее открытое просвещение сообщества станет залогом общественной поддержки для необходимых улучшений.

4. Решит ли предлагаемое решение существующие проблемы загрязнения?

В большинстве случаев, когда сообщество рассматривает возможность модернизации системы очистки сточных вод для устранения выявленной проблемы загрязнения, сообщество может получить ответ от государственного регулирующего органа об утверждённом плане решения этой проблемы. Канализация целого города для удовлетворения потребностей небольшой части жителей может не иметь экономической выгоды, но она будет удовлетворять социальные и экологические потребности. При этом необходимо убедиться, что все альтернативные варианты рассмотрены специалистами и экспертами в области технологий очистки сточных вод и что наиболее доступные варианты не игнорируются без надлежащей проверки и могут быть использованы для решения проблемы удаления загрязнений, в том числе и с использованием варианта ДОСВ.

5. Когда новая система должна быть введена в эксплуатацию?

Известно, что поспешное строительство системы до тщательного анализа никогда не является решением проблемы. Запуск нового решения в эксплуатацию требует тщательного планирования и составления бюджета, будь то для отдельных систем ДОСВ или более крупные системы сообщества. Затраты могут сильно варьироваться

в зависимости от нормативных требований и конкретной технологии. И в зависимости от решаемой проблемы соблюдение правил может быть сложной задачей и требовать экспертных знаний и опыта.

6. Какие варианты очистки сточных вод доступны?

В настоящее время специалистам доступно множество специфических технологий, но основной выбор – между децентрализованным или централизованным решением для очистки сточных вод или их сочетанием, которое завоевало популярность во многих сообществах мира. При оценке вариантов сообществу важно нанять эксперта по каждой модели. В противном случае выбранное решение может быть смещено только в сторону одного из вариантов.

7. Каковы краткосрочные и долгосрочные затраты?

Краткосрочные затраты, которые следует учитывать при любом новом подходе к системе очистки, включают проектирование системы, отвод площади земельного участка исходя из конфигурации, трассы прохождения подводящих и отводящих трубопроводов, а также с учетом откосов и дорог для проезда автотранспорта, размеры санитарно-защитных зон от сооружений канализации, выдачу разрешений, юридическое согласование с заинтересованными сторонами и строительство. Долгосрочные затраты включают текущее техническое обслуживание, эксплуатацию и управление, которые часто упускаются из виду как фактор при рассмотрении вариантов. Кроме того, лицензированные операторы, отбор проб, мощность, структура выставления счетов, районные транспортные средства, такие как специализированные грузовики и специализированное оборудование и т. п. – все это необходимо учитывать при расчете стоимости на длительный срок.

Децентрализованная очистка может предложить множество преимуществ с точки зрения затрат, в том числе меньшие проектные потоки сточных вод, меньшие площади очистки и удаления отходов, меньшее потребление энергии, сокращение текущего технического обслуживания и меньшее регулирование, связанное с загрязнением почвы, по сравнению с жестко регулируемым одноточечным сбросом в водоем от городских очистных сооружений.

8. Потребуется ли рассматриваемая система профессионального управления?

Об этом было изложено выше, но это фактор, который следует полностью изучить и оценить как часть многих новых подходов к очистке сточных вод, масштаб которых позволяет обрабатывать ожидаемые потоки сточных вод для поддержания роста сообщества селитеб-

ной территории. В принципе любая система ДОСВ должна быть под профессиональным управлением регулирующих органов, так как это повысит эффективность системы в долгосрочной перспективе и обеспечит более тщательный текущий мониторинг.

Общественные и коммерческие системы или кластерные системы являются устойчивым вариантом, который может эффективно контролироваться и управляться независимыми подрядчиками, разработчиками или существующими коммунальными службами. Они экономичны и могут быть легко спрятаны и благоустроены для интеграции в смотровые площадки открытого пространства. Достижения в области технологий и дизайна систем ДОСВ обеспечивают улучшенную децентрализованную обработку в коммерческих и общественных системах, включая оптимизированный сбор и увеличенную емкость хранилища для удовлетворения пиковых потоков.

Пути решения по развитию систем ДОСВ. Стандарты, кодексы и предписания по ремонту и замене различаются в зависимости от региона. Обновления и замены могут принимать различные формы, и существует множество доступных решений и типов систем очистки, технологические решения которых варьируются в зависимости от нормативных требований. Для небольших, труднодоступных участков, возможно, лучше всего установить системы откачки сточных вод из септиков (СОВС) для транспортировки сточных вод на участок с доступной площадью и хорошими почвенными условиями, расположенные вдали от чувствительного водоема (рис. 5.2). Дело в том, что варианты разнообразны, и понимание местности и отдельных объектов в ней – единственный способ дать наилучшую рекомендацию.



Рис. 5.2. Пример установки септика

На площадках с достаточным пространством применение инженерных водно-болотных угодьев могут привести к существенной экономии затрат на эксплуатацию, особенно для систем, которые должны работать в течение длительных периодов времени. Спроектированные водно-болотные угодья (биоплато) отличаются от других процессов обработки тем, что они используют растительность как часть процесса обработки и требуют очень небольшого расхода энергии.

Внедрение легко адаптируемых пластиковых камер расширило возможности для проектирования специализированных систем и удовлетворения потребностей в обработке (рис. 5.3). Высокоадаптируемые и эффективные камеры могут быть ключевым элементом в септических системах, эвапотранспирационных слоях, общественных (кластерных) системах, сооруженных водно-болотных угодьях и крупномасштабных установках по очистке сточных вод.



Рис. 5.3. Общественная дренажная система для обслуживания жилого поселка

Индивидуальные системы – септические системы на месте установки бывают различных размеров и конструктивных конфигураций, включая конструкции траншей и ложа, песчаные фильтры и системы насыпей. На рис. 5.4 приведен пример высокопроизводительного песчаного фильтра с небольшими габаритами, который обеспечивает очень высокую степень очистки при поверхностном сбросе. Эта система полностью пассивна и требует минимального обслуживания [10].



Рис. 5.4. Высокопроизводительный песчаный фильтр

Модернизация городских очистных сооружений обеспечивает экономически эффективную и экологически безопасную очистку сточных вод, когда очистные сооружения работают на полную мощность. Продление срока службы городских очистных сооружений возможно также и путем постройки вспомогательного очистного поля или другого расширения установки для обеспечения эффективной очистки сточных вод всей селитебной территории сообществу. В этом случае используется вариант комбинирования децентрализованного и централизованного решения для очистки сточных вод.

Разнообразие систем очистки в зависимости от местных условий – это пример того, как централизованные и естественные системы очистки могут работать согласованно с соблюдением всех экологических и нормативных требований.

Развитие компаний по проектированию и строительству децентрализованных систем очистки сточных вод имеет исторически долгий путь и обладает большими перспективами для расширения сферы внедрения своих технологических решений. Различные технологии обработки, которые когда-то были доступны только для крупномасштабных городских очистных сооружений, теперь эффективно используются для небольших систем, а человеческий и интеллектуальный потенциал в виде проектировщиков и монтажников стал более образованным и креативным. Правила и предписания улучшились, и все важные пробелы заполняются и дополняются квалифицированными специалистами. Проектные решения в конечном счете являются

ответственностью сообщества, и соответствующее решение может включать в себя комбинацию технологий. Цель состоит в том, чтобы обеспечить систему, которая будет хорошо реформироваться для клиента, соответствовать нормативным уровням обращения, чтобы соответствовать кодексу, и защищать здоровье населения и окружающую среду.

Выводы по главе 5

Приведенная оценка запросов сообществ и специалистов по стратегическому направлению развития систем очистки сточных вод в зависимости от экономических, технологических и социальных факторов децентрализованных систем очистки в населенных пунктах или отдельных районах города позволит выработать конкретные рекомендации по обращению с осадками сточных вод. Практическая реализация от предлагаемых технологических решений позволит сообществам принимать наиболее оптимальный вариант в зависимости от запросов и возможностей территориальной единицы.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Систематизированы факторы рисков климатических изменений на возможность пертурбации хранения ила очистных сооружений на иловых площадках.

Выполнена оценка текущего и будущего влияния климата на сферу обращения с илом очистных сооружений коммунальных сточных вод. Результаты данной информационно-аналитической работы основаны на изучении: статистических данных по эффективности работы очистных сооружений Беларуси; анализа географических спутниковых снимков очистных сооружений и иловых площадок Мостовского, Крупского и Миорского районов; государственных кадастров и другой информации, находящейся в открытом доступе.

В отчете использованы и результаты ранее проведенных исследований очистных сооружений в г. Мосты и других городах Беларуси [29–34]. Проведенный блиц-опрос местных должностных лиц Водоканалов отдельных административных центров Беларуси в ходе интервью и обсуждений позволил уточнить некоторые детали и внести корректировки по аналитическим результатам. Полученные результаты оценки уровня ЭСР необходимы для разработки мероприятий по снижению риска аварийных загрязнений окружающей среды (почвы и атмосферы) от рабочих иловых площадок при возникновении определенного неблагоприятного сочетания климатических сигналов и их последствий. Применение комплексной научно обоснованной методики оценки ЭСР эксплуатации иловых площадок при их надлежащем содержании позволит повысить эффективность управления ЭСР с целью их минимизации.

Обзор международных рекомендаций по обращению с илом с учетом изменения климата (адаптация к изменению климата) свидетельствует о том, что проблема утилизации и управления осадком сточных вод на сегодняшний день окончательно не решена ни в одной стране мира, так как это связано, с одной стороны, активными процессами формирования мегаполисов, с другой – появлением новых научных данных о процессах взаимодействия компонентов осадков с окружающей средой.

На основе предварительных результатов разработаны рекомендации для Республики Беларусь в целом, а также для Мостовского, Крупского и Миорского районов по утилизации в будущем осадка с иловых площадок.

Литература

1. Bartell, S. M. Ecological / S. M. Bartell // Environmental Risk Assessment / Risk Assessment and Management Handbook. – New York, 1996.

2. Carr, R. Guidelines for the safe use of wastewater in agriculture: revisiting WHO guidelines. Water science and technology / R. Carr, U. Blumenthal, D. Mara // Journal of the International Association on Water Pollution Research, 1 July 2004. DOI: 10.2166/WST.2004.0081. – Mode of access: Guidelines for the safe use of wastewater in agriculture: revisiting WHO guidelines. | Semantic Scholar.

3. Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions. Pathway to a Healthy Planet for All EU Action Plan: «Towards Zero Pollution for Air, Water and Soil» – Brussels, 12.5.2021. – 22 p. – Mode of access: communication_en.pdf (europa.eu).

4. Environmental risk management. Forecasting and modeling of emergency risk management situations / January 2018. MATEC Web of Conferences 251:06030. DOI: 10.1051/mateconf/201825106030

5. Guidelines for the safe use of wastewater, excreta and greywater. – Vol. 2. Wastewater use in agriculture. – World Health Organization, 2006. – 222 p.

6. Hallahan, D. When Decentralized Wastewater Is The Wise Choice // D. Hallahan // Water innovation. – 2022. – № 11. – P. 15–18.

7. Risk management – Risk assessment techniques : ISO/IEC 31010 : 2009. It is commissioned 2009-10-09. – Geneva : IEC, 2009. – 176 p.

8. Sewage sludge management in Germany / Authors: Dipl.-Ing. Benjamin Wiechmann Dipl.-Ing. Claudia Dienemann Dr. Christian Kabbe M. Sc. Simone Brandt Dr. Ines Vogel Dr. Andrea Roskosch/ – Umweltbundesamt (UBA), 2013. – 104 p. – Mode of access: Sewage sludge management in Germany (umweltbundesamt.de).

9. Song, U. Environmental and economical assessment of sewage sludge compost application on soil and plants in landfill / U. Song, E. J. Lee // Resources, Conservation and Recycling. – 2020. – Vol. 54. – P. 1109–1116.

10. Андриянов, А. П. Особенности и перспективы применения мембранных биореакторов для очистки сточных вод / А. П. Андриянов // Вода Magazin. – 2012. – № 6. – С. 22–30.

11. Ануфриев, В. Н. Технологии обработки осадков сточных вод (начало) / В. Н. Ануфриев // Экология на предприятии. – 2017. – № 5 (71). – С. 84–95.

12. Борзосеков, А. Н. Методы дезинвазии сточных вод и их осадков в условиях Центрально-Черноземной зоны (на примере Курской обл.) : автореф. дис. ... канд. биол. наук : 03.00.19 / А. Н. Борзосеков. – Курск, 2006. – 160 с.

13. Венцель, Е. С. Теория вероятностей / Е. С. Венцель. – М. : Высш. шк., 2002. – 575 с.

14. Вильсон, Е. В. Оперативно-менеджерская оценка как этап учета рисков работы очистных сооружений канализации в процессе их ретехнологизации / Е. В. Вильсон, К. А. Соловьев // Вестн. евраз. науки. – 2018. – № 4. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/operativno-menedzherskaya-otsenka-kak-etap-ucheta-riskov-raboty-ochistnyh-sooruzheniy-kanalizatsii-v-protssesse-ih-retehnologizatsii>. – Дата доступа: 19.12.2021.

15. Влияние климатических рисков и устойчивое развитие финансового сектора Российской Федерации : докл. для обществ. консультаций. – М., 2020. – 35 с.

16. Государственный водный кадастр: Водные ресурсы, их использование и качество вод (за 2020 год). – Минск : ЦНИИКВР, 2021. – 223 с.

17. Децентрализованная очистка сточных вод – пример использования биоорганического флокулянта GWT Zeoturb. – Режим доступа: <https://ru.genesiswatertech.com/blog-post/decentralized-wastewater-treatment/>. – Дата доступа: 01.10.2022.

18. Дрегуло, А. М. Объекты прошлого экологического ущерба и проблемы почвенной утилизации илов и осадков сточных вод / А. М. Дрегуло, Р. Ф. Витковская, А. Н. Петров // Вестн. СПГУТД. – 2016. – № 1. – С. 68–71.

19. Дрегуло, А. М. Оценка негативного воздействия на окружающую среду полигонов складирования осадков биологических сооружений / А. М. Дрегуло, Н. Е. Панова // Экология и пром-сть России. – 2012. – № 8. – С. 43–45.

20. Дрегуло, А. М. Иловые площадки как специфические объекты накопленного экологического ущерба (в бассейне Финского залива) / А. М. Дрегуло, В. В. Кулибаба, И. М. Гильдеева. – Общество. Среда. Развитие. – 2016. – № 3 (40). – С. 115–119. – Режим доступа: [ViYe_3\(75\)-54-62.pdf \(wemag.ru\)](https://www.wemag.ru/ViYe_3(75)-54-62.pdf).

21. Евдокимов, А. А. Альтернативные подходы в системах водоотведения / А. А. Евдокимов, Н. И. Самойленко // Радиоэлектроника и информатика. – 2000. – № 1 (10). – С. 118–121.

22. Егорова, Е. Н. Экономические инструменты защиты окружающей среды от аварийных загрязнений / Е. Н. Егорова. – Владивосток, 2013. – 33 с. – Режим доступа: <http://www.myshare.ru/slide/923972/>.

23. Ким, А. Н. Очистка поверхностного стока с урбанизированных территорий на локальных пассивных системах / А. Н. Ким, А. В. Михайлов // Вода и экология: проблемы и решения. – 2017. – № 4 (72). – С. 40–52.

24. Климатическая характеристика 2020 года. – Режим доступа: <https://belgidromet.by/ru/climatolog-ru/view/klimaticheskaja-harakteristika-2020-goda-3666-2021/>.

25. Ключенович, В. И. Проблемный анализ гигиенических аспектов состояния очистки и обеззараживания сточных вод в Республике Беларусь / В. И. Ключенович, Т. С. Трешкова // Проблемы здоровья и экологии. – 2007. – № 2. – С. 141–146.

26. Мелех, Д. В. Определение влияния неопределенности выбросов парниковых газов в секторе «Энергетика» на общую оценку неопределенности инвентаризации выбросов и поглощений парниковых газов в Республике Беларусь / Д. В. Мелех, К. В. Гончар, И. П. Наркевич // Тр. БГТУ. Сер. 2, Химические технологии, биотехнологии, геоэкология. – 2021. – № 1 (241). – С. 211–227.

27. Морчиладзе, Д. Э. Децентрализованный метод очистки сточных вод / Д. Э. Морчиладзе, Г. Н. Кудряшова, З. У. Джангидзе // Вестн. МГСУ. – 2009. – № 3. – С. 110–113.

28. Национальный доклад о кадастре антропогенных выбросов из источников и абсорбции поглотителями парниковых газов, не регулируемых Монреальским протоколом, за 1990–2019 гг. – Минск : «Бел НИЦ «Экология», 2021. – 324 с.

29. Невзорова, А. Б. Водоснабжение и водоотведение селитебных территорий : монография / А. Б. Невзорова, О. К. Новикова, Г. Н. Белоусова. – Гомель : БелГУТ, 2015. – 265 с.

30. Невзорова, А. Б. Организация центральной канализации в коттеджном поселке / А. Б. Невзорова, Ю. В. Хименкова // Водоснабжение, химия и прикладная экология : материалы Междунар. науч.-практ. конф., Гомель, 22 марта, 2022 г. – Гомель : БелГУТ, 2021. – С. 95–96.

31. Невзорова, А. Б. Анализ рисков инфраструктуры водоснабжения и канализации селитебных территорий / А. Б. Невзорова // Водоснабжение, химия и прикладная экология : материалы Междунар. науч.-практ. конф., Гомель, март 2022 г. – Гомель : БелГУТ, 2022. – С. 109–112.

32. Невзорова, А. Б. Оценка значимости риска влияния климата на состояние иловых площадок / А. Б. Невзорова, О. К. Новикова. – С.О.К. – 2022. – № 4 (244). – С. 34–38.

33. Новикова, О. К. Использование осадка сточных вод городских очистных сооружений в качестве компонента при производстве компостов / О. К. Новикова, Р. Н. Вострова, А. В. Роденко // Сборник статей 5-й Восточно-Европейской конференции «Опыт и молодость в решении экологических проблем» IWA. Ч. 2 (Русскоязычная версия). – Киев, 26–28 июня, 2013 – С. 333–339.

34. Новикова, О. К. Системы канализации малых населенных пунктов: текущая ситуация и проблемные аспекты / О. К. Новикова, А. Б. Невзорова. – Тр. БГТУ. Сер. 2, Химические технологии, биотехнология, геоэкология. – 2020. – № 2 (235). – С. 183–188.

35. Новикова, О. К. Обработка осадков сточных вод : учеб.-метод. пособие / О. К. Новикова ; М-во трансп. и коммуникаций Респ. Беларусь, Белорус. гос. ун-т трансп. – Гомель : БелГУТ, 2015. – 96 с.

36. Новикова, О. К. Технология очистки сточных вод : учеб. пособие / О. К. Новикова ; М-во трансп. и коммуникаций Респ. Беларусь, Белорус. гос. ун-т трансп. – Гомель : БелГУТ, 2020. – 302 с.

37. О некоторых вопросах аналитического (лабораторного) контроля в области охраны окружающей среды : постановление Мин-ва природ. ресурсов и охраны окружающей среды Респ. Беларусь от 28 сент. 2015 г. № 331-ОД.

38. Об обращении с отходами : Закон Респ. Беларусь, 20 июля 2007 г., № 271-З.

39. Об объемах сбора вторичных материальных ресурсов и отходов товаров и упаковки, размерах расходования денежных средств, полученных от производителей и поставщиков в 2020 г. : отчет / Гос. учреждение «Оператор вторичных материальных ресурсов». – Минск, 2020. – 16 с.

40. Обработка, обезвреживание, использование осадков очистных сооружений канализации. По материалам специалистов Белорусского государственного технологического университета. Презентация. – Режим доступа: Slajd 1 (uzmzscge.by).

41. Объекты (Реестр объектов по использованию отходов и реестр объектов хранения, захоронения и обезвреживания отходов) / М-во природ. ресурсов и охраны окружающей среды Респ. Беларусь. – Режим доступа: <https://minpriroda.gov.by>.

42. Об утверждении методических рекомендаций по проведению инвентаризации объектов накопленного экологического ущерба : приказ Росприроднадзора, 25 апр. 2012 г., № 193 // Консультант Плюс. – М., 2012.

43. Панов, В. П. Содержание тяжелых металлов в избыточных илах и осадках биологических очистных сооружений (на примере г. Санкт-Петербурга) / В. П. Панов, А. М. Дрегуло // Безопасность в техносфере. – 2010. – № 3. – С. 37–39.

44. Правила проведения оценки воздействия на окружающую среду (ОВОС) и подготовки отчета : ТКП 17.02-08-2012. – Минск : Минприроды Респ. Беларусь, 2012. – 48 с.

45. Правила эксплуатации и контроля за работой очистных сооружений и сбросом сточных вод. Охрана окружающей среды и природопользование. Гидросфера : ТКП 17.06-13–2015. – Минск : Минприроды, 2015. – 44 с.

46. Реестр объектов хранения и захоронения отходов. – Режим доступа: <https://ecoinfo.by>.

47. Руководство по оценке неминуемых угроз и экологического ущерба / Агентство по охране окружающей среды Португалии, 2011. – Режим доступа: http://ec.europa.eu/environment/legal/liability/pdf/eld_guidance/Portugal%20-%20Guide.pdf.

48. Сметанин, В. И. Рекультивация земель с использованием осадков сточных вод / В. И. Сметанин, В. Н. Земсков // Природообустройство. – 2013. – № 2. – С. 15–20.

49. Состояние природной среды Беларуси : ежегод. информац.-аналит. изд. / под общ. ред. М. А. Ересько. – Минск : РУП «Бел НИЦ «Экология», 2020. – 101 с.

50. Статистический бюллетень «Численность населения на 1 января 2020 г. по Республике Беларусь в разрезе областей, районов, городов, поселков городского типа» / Нац. стат. ком. Респ. Беларусь. – 2020. – 17 с.

51. Требования к системам водоотведения населенных пунктов : санитар. нормы и правила Респ. Беларусь : утв. постановлением М-ва здравоохранения Респ. Беларусь от 15.05.2012 г. № 48.

52. Третий двухгодичный доклад Республики Беларусь, представленный в соответствии с решением 1/СР.16 Конференции Сторон Рамочной Конвенции ООН об изменении климата. – Минск : РУП «Бел НИЦ «Экология», 2018.

53. Щербаков, Ю. А. Децентрализованное водоотведение и повторное использование очищенных «серых» сточных вод / Ю. А. Щербаков, А. А. Кадревич // Сантехника. – 2022. – № 3. – С. 30–33.

54. Управление рисками – Методы оценки рисков : ИЕС 31010 : 2009. – 2009. – 176 с.

55. Экологический портал. Отходы. – Режим доступа: <https://ecoportal.gov.by/otkhody/nalichie-obrazovanie-i-dvizhenie-otkhodov/otkhody-proizvodstva-po-klassifikatoru/>.

Список рисунков

Рисунок 1.1 – Зависимость прироста биомассы и снижения биохимического потребления кислорода от продолжительности аэрации

Рисунок 1.2 – Количество очистных сооружений и полей фильтрации

Рисунок 2.1 – Вывоз на самосвале обезвоженного осадка избыточного ила с очистных сооружений

Рисунок 2.2 – Иловые пруды Минской очистной станции в Минском районе (около д. Синило)

Рисунок 2.3 – Расположение иловой площадки Минского водоканала

Рисунок 2.4 – Новая иловая площадка под складирование избыточного ила с очистных сооружений Минска

Рисунок 2.5 – Расположение новой иловой площадки в Минском районе на спутниковой карте

Рисунок 2.6 – Радиус поражения по специфическому запаху от иловых площадок Минской очистной станции

Рисунок 2.7 – Спутниковая карта расположения г. Мосты и очистных сооружений (декабрь, 2021 г.)

Рисунок 2.8 – Песковые площадки очистных сооружений г. Мосты (2019 г.)

Рисунок 2.9 – Иловые площадки очистных сооружений г. Мосты (2019 г.)

Рисунок 2.10 – Спутниковая карта расположения г. Крупки и очистных сооружений

Рисунок 2.11 – Спутниковая карта расположения г. Миоры и полей фильтрации для очистки сточных вод от городской центральной канализации

Рисунок 2.12 – Очистные сооружения г. Гданьска

Рисунок 3.1 – Отклонение средней годовой температуры воздуха от климатической нормы (+6,7 °С) по Беларуси

Рисунок 3.2 – Отклонение средней месячной температуры воздуха от климатической нормы в среднем по Беларуси за 2020 г.

Рисунок 3.3 – Отклонение годовых сумм осадков от климатической нормы (646 мм) по территории Беларуси

Рисунок 3.4 – Сумма осадков и климатическая норма по месяцам 2020 г. по территории Беларуси

Рисунок 3.5 – Схема концепции управления рисками для разработки адаптации к изменению климата

Рисунок 3.6 – Комплексная схема оценки уровня эколого-социального риска загрязнения при возникновении климатического сигнала

Рисунок 5.1 – Протекание процесса в мембранном биореакторе

Рисунок 5.2 – Пример установки септика

Рисунок 5.3 – Общественная дренажная система для обслуживания жилого поселка

Рисунок 5.4. Высокопроизводительный песчаный фильтр

Список таблиц

Таблица 1.1 – Статистика по эффективности работы очистных сооружений и полей фильтрации по областям Республики Беларусь

Таблица 1.2 – Статистика по суммарной мощности очистных сооружений по областям и г. Минску за 2013–2019 гг., млн м³/год

Таблица 1.3 – Количество осадков сточных вод, образующихся на очистных сооружениях различных стран

Таблица 1.4 – Статистика распределения иловых площадок и полигонов твердых коммунальных отходов по областям (на 2021 г.), шт.

Таблица 1.5 – Количество осадков сточных вод (активного ила), образующихся на очистных сооружениях Республики Беларусь по сухому веществу

Таблица 1.6 – Возможные способы утилизации осадков (ила) городских очистных сооружений в зависимости от уровня их загрязнения

Таблица 2.1 – Иловые площадки с признаками объектов накопленного экологического ущерба

Таблица 2.2 – Определение показателей пространственного масштаба воздействия

Таблица 2.3 – Определение показателей временного масштаба воздействия

Таблица 2.4 – Определение показателей значимости изменений в природной среде

Таблица 2.5 – Общая оценка значимости воздействия иловых площадок

Таблица 3.1 – Влияние климатических сигналов на возникновение опасных явлений и медленных изменений при хранении накопленного ила очистных сооружений и определение факторов эколого-социального риска

Таблица 3.2 – Шкала оценки вероятности наступления эколого-социального риска (*R*)

Таблица 3.3 – Шкала оценки величины эколого-социального ущерба (*D*) от территории распространения загрязнения

Таблица 3.4 – Матрица распределения значений уровня эколого-социального риска

Таблица 3.5 – Определение категорий уровня климатического риска для полученных значений *LR*

Таблица 4.1 – Основные методы утилизации осадков сточных вод, %

Таблица 4.2 – Содержание основных элементов питания растений в осадках сточных вод и органических удобрениях

Таблица 5.1 – Возможность использования отходов в качестве топлива на цементных заводах Беларуси

Таблица 5.2 – Методы интенсификации обезвоживания осадков сточных вод на иловых площадках со снижением экологического ущерба при появлении неблагоприятных климатических сигналов

Научное издание

Невзорова Алла Брониславовна

**ВЛИЯНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА
НА СФЕРУ ОБРАЩЕНИЯ С АКТИВНЫМ
ИЛОМ СТОЧНЫХ ВОД**

Монография

Редактор *Н. Г. Мансурова*
Компьютерная верстка *Н. Б. Козловская*

Подписано в печать 30.12.22.

Формат 60x84/16. Бумага офсетная. Гарнитура «Таймс».
Ризография. Усл. печ. л. 6,28. Уч.-изд. л. 7,89.
Тираж 50 экз. Заказ № 37/27.

Издатель и полиграфическое исполнение
Гомельский государственный
технический университет имени П. О. Сухого.
Свидетельство о гос. регистрации в качестве издателя
печатных изданий за № 1/273 от 04.04.2014 г.
246746, г. Гомель, пр. Октября, 48