

АНАЛИЗ РАБОТЫ ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЙ СТОЧНЫХ ВОД С ПРИМЕНЕНИЕМ АКТИВНОГО ИЛА ПРИ ПОМОЩИ ТЕХНОЛОГИЙ БОЛЬШИХ ДАННЫХ

© 2024 В. Н. Штепа¹, К. С. Макаров², А. А. Галицына³

¹*доктор технических наук, доцент, проректор по научной работе
e-mail: shtepa.v@polessu.by
Полесский государственный университет*

²*кандидат технических наук, доцент кафедры программного обеспечения
и администрирования информационных систем
e-mail: runaway90@mail.ru
Курский государственный университет*

³*студент 3 курса бакалавриата направления подготовки
«Информатика и вычислительная техника»
e-mail: galitsina_anna@mail.ru
Курский государственный университет*

В статье проведен анализ работы очистных сооружений сточных вод с использованием активного ила при помощи технологий больших данных. Исследование направлено на выявление основных зависимостей между показателями, а также проведение аналитики по выбросам и аномалиям в процессе очистки сточных вод. Выявлены ключевые факторы, оказывающие воздействие на окружающую среду, и рассмотрены границы допустимых значений. В работе использовались описательная аналитика для выявления выбросов и аномалий, а также диагностическая аналитика для понимания причин их возникновения. Представлены выводы на основе анализа данных и предложения по дальнейшему улучшению процесса очистки сточных вод. Исследование позволяет понять важность применения технологий больших данных в области очистки сточных вод с активным илом для оптимизации процессов, выявления проблемных зон и принятия обоснованных решений.

Ключевые слова: большие данные, сточные воды, активный ил, выбросы.

ANALYSIS OF WASTEWATER TREATMENT PLANTS OPERATION USING ACTIVE SLUDGE WITH BIG DATA TECHNOLOGIES

© 2024 V. N. Shtepa¹, K. S. Makarov², A. A. Galitsyna³

¹*Doctor of Engineering Sciences, Associate Professor, Vice-Rector for Research
e-mail: shtepa.v@polessu.by
Polesie State University*

²*Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Department of Software
and Administration information systems
e-mail: runaway90@mail.ru
Kursk State University*

*³3rd-year undergraduate student in the field of study
"Informatics and Computer Engineering"
e-mail: galitsina_anna@mail.ru
Kursk State University*

In the work, an analysis of the operation of wastewater treatment plants using activated sludge was conducted using Big Data technologies. The study aims to identify the main dependencies between indicators, as well as to conduct analytics on emissions and anomalies in the wastewater treatment process. Key factors influencing the environment have been identified, and the boundaries of permissible values have been considered. Descriptive analytics were used to identify emissions and anomalies, as well as diagnostic analytics to understand the reasons for their occurrence. Conclusions are drawn based on data analysis, and suggestions for further improving the wastewater treatment process are presented. The research helps understand the importance of applying Big Data technologies in the field of wastewater treatment with activated sludge to optimize processes, identify problematic areas, and make informed decisions.

Keywords: big data, wastewater, active sludge, emissions.

В наше время загрязнение водных источников стало одной из наиболее актуальных и серьезных проблем, стоящих перед человечеством. Высокая концентрация загрязнений в сточных водах оказывает негативное воздействие на окружающую среду, а также на здоровье человека. Вместе с тем повсеместно совершенствующиеся технологии в области очистки сточных вод, в том числе с применением активного ила, предоставляют большой спектр возможностей для решения данной проблемы.

Применение технологий больших данных становится неотъемлемой частью современных решений в области анализа и оптимизации функционирования различных систем. Возможности сбора, обработки и анализа больших объемов данных позволяют выявить зависимости, проводить мониторинг процессов, выявлять проблемные зоны, оптимизировать процессы и принимать обоснованные решения для улучшения качества работы систем.

В данной статье производится анализ работы очистных сооружений сточных вод с применением активного ила при помощи технологий больших данных для оптимизации системы и выявления взаимозависимостей компонентов.

В соответствии с законодательством организация водопроводно-канализационного хозяйства является юридическим лицом, ответственным за централизованные системы водоснабжения и водоотведения [1]. Соответственно, ключевым природным ресурсом, который используется и для которого оценивается энергоэффективность в водопроводно-канализационном хозяйстве (ВКХ), выступает вода: прежде всего подразумевается выполнение требований предельно-допустимых концентраций или допустимых концентраций загрязнителей в отводимых в геосистемы водных ресурсах.

В рамках анализа экологической эффективности применяются различные подходы, такие как горизонтальный, вертикальный, трендовый, относительные показатели-коэффициенты, сравнительный и факторный анализ [2].

Очистные сооружения канализации представляют собой сложные объекты с нелинейным и нестационарным характером, что создает вызовы для автоматического управления и контроля. Значительное влияние на возникновение чрезвычайных ситуаций в геосистемах оказывает необходимость параллельной обработки данных распределенной файловой системы [3] водоотведения, включая очистные сооружения. Недостаток информационных систем, способных работать в режиме реального

времени, ставит под угрозу эффективность контроля качества сточных вод на всех уровнях системы. Поэтому необходимо разрабатывать инновационные решения для обеспечения надлежащего контроля и мониторинга в системах водоотведения, чтобы минимизировать риски возникновения чрезвычайных ситуаций и обеспечить эффективное функционирование очистных сооружений.

Основной задачей является проведение анализа залповых выбросов на предприятии и формулировка предложений по внедрению схемы обработки данных с учётом ЧС, которые могут возникнуть в результате действия нештатных ситуаций на ВКХ.

Для ОС сточных вод оптимально применение технологий работы с большими данными, так как подразумевается обработка данных в реальном времени (поточная обработка), распределенная файловая система, требующая параллельной обработки данных. Также данные постоянно масштабируются (данные записываются каждые 5–7 минут).

Организацию объединенного хранения данных из распределенных хранилищ можно реализовать при помощи Apache Sqoop [4]. Apache Sqoop – это инструмент, предназначенный для эффективной передачи массовых данных между Apache Hadoop [5] и внешними хранилищами данных, такими как реляционные базы данных, корпоративные хранилища данных.

Sqoop используется для импорта данных из внешних хранилищ данных в распределенную файловую систему Hadoop или связанные экосистемы Hadoop, такие как Hive [6] и HBase [7]. Аналогично Sqoop также можно использовать для извлечения данных из Hadoop или его экосистем и экспорта их во внешние хранилища данных, такие как реляционные базы данных, корпоративные хранилища данных. Sqoop работает с реляционными базами данных, в том числе Teradata [8], Netezza [9], Oracle [10], MySQL [11], Postgres [12] и др. Для этого необходимы детали и доступы к локальным файловым хранилищам для настройки правильного функционирования системы. Также этот подход может помочь решить проблему масштабирования данных, так как объединённые данные могут храниться облачно.

Обработку данных в реальном времени можно осуществить в виде конвейера при помощи Apache Nifi [13]. NiFi – открытое программное обеспечение проекта фонда Apache, предназначенное для организации ETL-процессов [14] в рамках экосистемы Hadoop. Применение технологии будет оптимально при реализованном объединенном хранилище, а также при наличии рекомендательной системы или системы прогнозирования.

Для решения основной задачи приведен анализ предметной области, и результаты известных наблюдений помогут для построения дальнейших видов аналитики. Виды аналитики представлены на рисунке 1.



Рис. 1. Виды аналитики

В анализе работы очистных сооружений сточных вод с применением активного ила использовались описательная аналитика для выявления выбросов, аномалий и тенденций, а также диагностическая аналитика для построения предположений о причинах их появления. Для проведения аналитики ниже представлены основные понятия и границы допустимых значений. Объектом анализа являются:

- сточные воды – атмосферные воды и осадки, к которым относятся талые и дождевые воды, а также воды от полива зеленых насаждений и улиц, отводимые в водоёмы с территорий промышленных предприятий и населённых мест через систему канализации или самотёком, свойства которых оказались ухудшенными в результате деятельности человека [15];

- активный ил – биоценоз зоогенных скоплений (колоний) бактерий и простейших организмов, которые участвуют в очистке сточных вод. Применяется в биологической очистке сточных вод. Данный метод был изобретён в Великобритании в 1913 г. Биологическая очистка сточных вод осуществляется с целью удаления из них органических веществ, в том числе соединений азота и фосфора [16].

Набор данных содержит следующие параметры: timestamp, PHSensor, RedoxSensor, ECSensor, TPHSensor, TECSensor, FlowMeter, FL2Sensor, FL1Sensor. Наиболее важным фактором, влияющим на окружающую среду, является параметр «РН».

Значение рН водной среды определяется по формуле [17]:

$$pH = -\lg [H^+]. \quad (1)$$

Разделение сточных вод на категории в зависимости от уровня рН выглядит следующим образом [18]:

- сильнокислые воды, имеющие рН менее 3;
- кислые – с рН от 3 до 5;
- слабокислые – с рН от 5 до 6,5;
- нейтральные – с рН от 6,5 до 7,5;
- слабощелочные – с рН от 7,5 до 8,5;
- щелочные – при рН от 8,5 до 9,5;
- сильнощелочные – с рН от 9,5 до 14.

Активный ил показывает свою эффективность в диапазоне рН от 6,5 до 7,8, то есть в условиях нейтральной или слабощелочной среды, где он может полноценно развиваться и обладать максимальной способностью к осаждению.

Для экосистемы активного ила наиболее неблагоприятный сдвиг рН к кислотности, что может привести к худшим условиям. В то время как сдвиг

в щелочную сторону может увеличить токсичность сточных вод за счет накопления аммиака. Поэтому при очистке промышленных стоков требуется постоянный контроль и нейтрализация рН до оптимальных значений.

Нормой считаются значения от 6 до 9 рН в соответствии с Постановлением Правительства РФ от 29.07.2013 № 644 (ред. от 10.10.2023) «Об утверждении Правил холодного водоснабжения и водоотведения и о внесении изменений в некоторые акты Правительства Российской Федерации» [20].

Процесс очистки сточных вод с применением активного ила состоит из нескольких этапов. На первом этапе происходит предварительная обработка, которая включает в себя фильтрацию и удаление крупных частиц. Затем идет основной этап – биологическая очистка, где активный ил разлагает органические загрязнения в сточных водах. Наконец, на последнем этапе происходит вторичная обработка, включающая фильтрацию и удаление остаточных загрязнений [21].

Этап биологической очистки состоит из 2 типов бактерий. Анаэробные и аэробные бактерии активного ила играют различные роли в процессе очистки сточных вод. Анаэробные бактерии разлагают органические загрязнения в отсутствие кислорода, а аэробные бактерии работают в атмосфере кислорода и разлагают органические загрязнения с кислородом. В результате их деятельности происходит окисление загрязнений до более простых и менее опасных соединений. Таким образом, оба типа бактерий выполняют важные функции в очистке сточных вод, помогая превратить органические загрязнения в более безопасные соединения, что способствует защите окружающей среды и сохранению ее экологического равновесия.

Очистка стоков при помощи активного ила является побочным продуктом способности микроорганизмов питаться загрязнениями. Так, поглощая загрязняющие вещества, бактерии параллельно с собственным питанием очищают стоки.

Существует два способа очищения сточных вод – аэробные (при участии кислорода) и анаэробные (при отсутствии кислорода). Именно анаэробный способ упоминается в описании проблематики.

Достоинства очистки сточных вод активным илом – низкая стоимость, надежность, экологичность, высокая степень очистки, отсутствие постоянной закупки расходных материалов [22].

Когда мы рассматриваем нормы Redox, обычно используются стандартные электроды, такие как Ag/AgCl или Pt-проводящие электроды. Для процессов биологической очистки воды обычно требуется поддержание отрицательного потенциала окислительно-восстановительного равновесия (–200 до –400 мВ) для обеспечения эффективной работы биологических микроорганизмов, которые участвуют в очистке сточных вод.

При поддержании Redox в пределах от 0 до –200 мВ процессы окисления преобладают, что может приводить к окислению органических веществ в активном иле, таких как микроорганизмы, которые участвуют в процессе очистки воды. Это может вызвать изменение состава активного ила и, возможно, привести к снижению эффективности этих организмов в процессе очистки. В диапазоне от 0 до –200 мВ окислительные процессы могут способствовать разложению органических загрязнений, но при этом могут также происходить окислительные реакции, в результате чего вода может стать менее щелочной (снижение рН). Окисление органических веществ может приводить к образованию кислотных соединений, что может оказать влияние на рН воды.

Произведена предварительная очистка набора данных и выявлены аномалии на основе границ нормы для показателей.

В исходном наборе поле timestamp содержит дату и время проведения наблюдения. Для дальнейшей обработки значения разделены на поля date и time.

На рисунке 2 представлена схема отсутствующих значений в наборе данных, где синим цветом обозначены столбцы, в которых есть данные, серым – отсутствующие значения. В исходном наборе данных содержатся неинформативные столбцы, так как они не имеют значений (рис. 2). Следовательно, произведено их удаление из набора данных целиком. Остальные столбцы не содержат пустых значений на этом этапе.

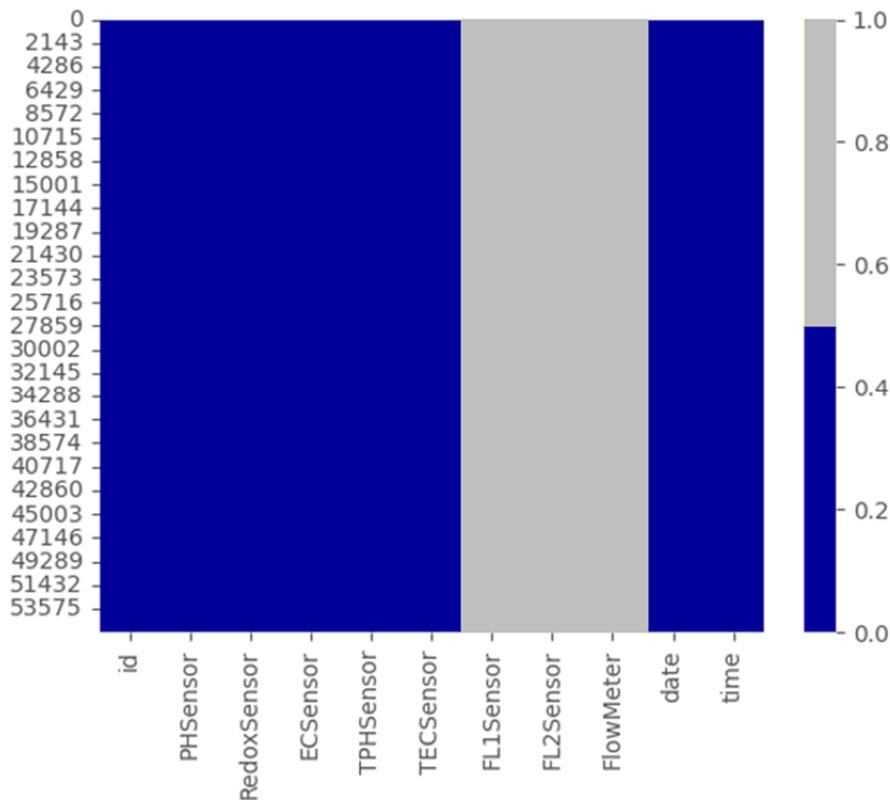


Рис. 2. Отсутствующие значения в наборе данных

Фрагмент набора данных приведен на рисунке 3.

	id	timestamp	PHSensor	RedoxSensor	ECSensor	TPHSensor	TECSensor	date	time
0	1	2022-08-10 12:02:09	7.44	-20	1.73	22.1	21.8	2022-08-10	12:02:09
1	2	2022-08-10 12:05:32	7.40	-17	1.80	22.1	21.9	2022-08-10	12:05:32
2	3	2022-08-10 12:10:34	7.40	-17	1.74	22.1	22.0	2022-08-10	12:10:34
3	4	2022-08-10 12:15:34	7.40	-17	1.67	22.1	21.6	2022-08-10	12:15:34
4	5	2022-08-10 12:20:34	7.40	-17	1.70	22.1	21.7	2022-08-10	12:20:34
...
55706	55707	2023-03-20 10:57:12	7.40	-92	1.35	15.8	14.6	2023-03-20	10:57:12
55707	55708	2023-03-20 11:02:13	7.41	-92	1.38	17.1	16.2	2023-03-20	11:02:13
55708	55709	2023-03-20 11:07:15	7.73	-111	1.46	17.1	16.8	2023-03-20	11:07:15
55709	55710	2023-03-20 11:12:16	7.09	-74	1.58	16.9	16.7	2023-03-20	11:12:16
55710	55711	2023-03-20 11:17:44	7.40	-92	1.61	16.6	16.1	2023-03-20	11:17:44

Рис. 3. Фрагмент набора данных

Интервалы между наблюдениями имеют различное значение, что не соответствует требованиям для работы с временными рядами. Для того чтобы избежать этой проблемы, данные приведены с единым интервалом времени между наблюдениями, равным 30 минутам, значение показателей для каждого интервала рассчитано как среднее арифметическое значение в строках, входящих в интервал. Результат представлен на рисунке 4.

	timestamp	id	PHSensor	RedoxSensor	ECSensor	TPHSensor	TECSensor	date	time
0	2022-08-10 12:00:00	3.5	7.406667	-17.500000	1.786667	22.100000	21.866667	2022-08-10	12:00:00
1	2022-08-10 12:30:00	10.5	7.470000	-21.625000	1.621250	21.687500	21.700000	2022-08-10	12:30:00
2	2022-08-10 13:00:00	18.0	7.477143	-22.000000	1.584286	21.714286	21.357143	2022-08-10	13:00:00
3	2022-08-10 13:30:00	24.5	7.648333	-32.333333	1.600000	21.450000	21.333333	2022-08-10	13:30:00
4	2022-08-10 14:00:00	30.5	7.671667	-33.500000	1.560000	21.383333	21.366667	2022-08-10	14:00:00
...
10650	2023-03-20 09:00:00	55686.5	6.983333	-67.833333	1.408333	14.733333	14.816667	2023-03-20	09:00:00
10651	2023-03-20 09:30:00	55692.5	6.813333	-58.166667	1.356667	15.383333	15.150000	2023-03-20	09:30:00
10652	2023-03-20 10:00:00	55698.5	7.005000	-69.000000	1.381667	15.283333	15.083333	2023-03-20	10:00:00
10653	2023-03-20 10:30:00	55704.5	7.210000	-80.833333	1.330000	15.783333	15.233333	2023-03-20	10:30:00
10654	2023-03-20 11:00:00	55709.5	7.407500	-92.250000	1.507500	16.925000	16.450000	2023-03-20	11:00:00

Рис. 4. Набор данных после преобразования

Было выяснено, что были промежутки, в которых данные не фиксировались (рис. 5).

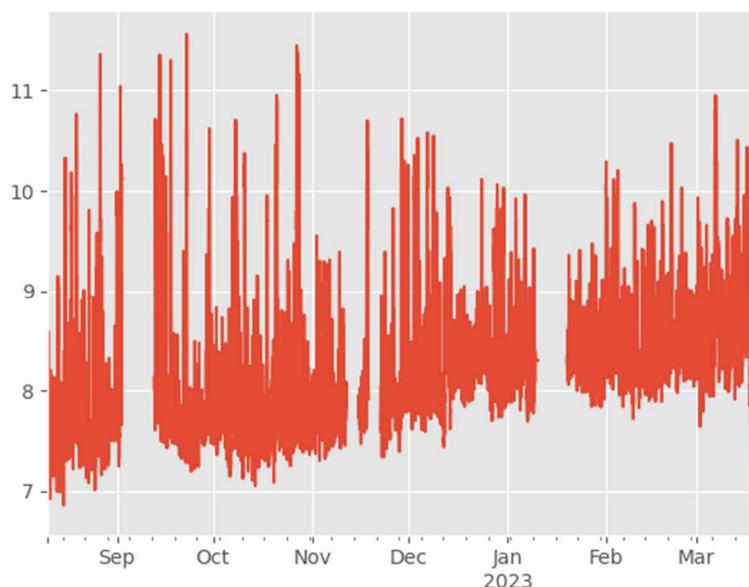


Рис. 5. Набор данных после преобразования

В рамках описательной аналитики, которая направлена на изучение структуры данных, выявление основных характеристик и описание их распределения, проблема пропущенных значений может быть решена различными способами. В нашем случае удаление строк с пропущенными значениями является приемлемым подходом, так как эти значения несущественны для общего понимания данных.

Далее произведено выявление зависимостей между параметрами. При помощи матрицы корреляции были выявлены признаки, имеющие наибольшее влияние друг на друга (имеющие наибольшее значение по модулю) (рис. 6).

	id	PHSensor	RedoxSensor	ECSensor	TPHSensor	TECSensor
id	1.000000	0.360468	-0.396345	-0.003611	-0.910196	-0.909828
PHSensor	0.360468	1.000000	-0.970570	-0.011910	-0.330223	-0.334167
RedoxSensor	-0.396345	-0.970570	1.000000	0.016520	0.344088	0.348237
ECSensor	-0.003611	-0.011910	0.016520	1.000000	-0.052868	-0.051820
TPHSensor	-0.910196	-0.330223	0.344088	-0.052868	1.000000	0.997165
TECSensor	-0.909828	-0.334167	0.348237	-0.051820	0.997165	1.000000

Рис. 6. Матрица корреляции

По матрице заметно, что наибольшее влияние на pH воды имеет Redox показатель. Redox (или ОВП – окислительно-восстановительный потенциал) – это измерение способности раствора переносить электроны (окисление или восстановление). Остальные факторы имеют слабую взаимосвязь с параметром pH.

На рисунке 7 представлена зависимость показателей pH и Redox.

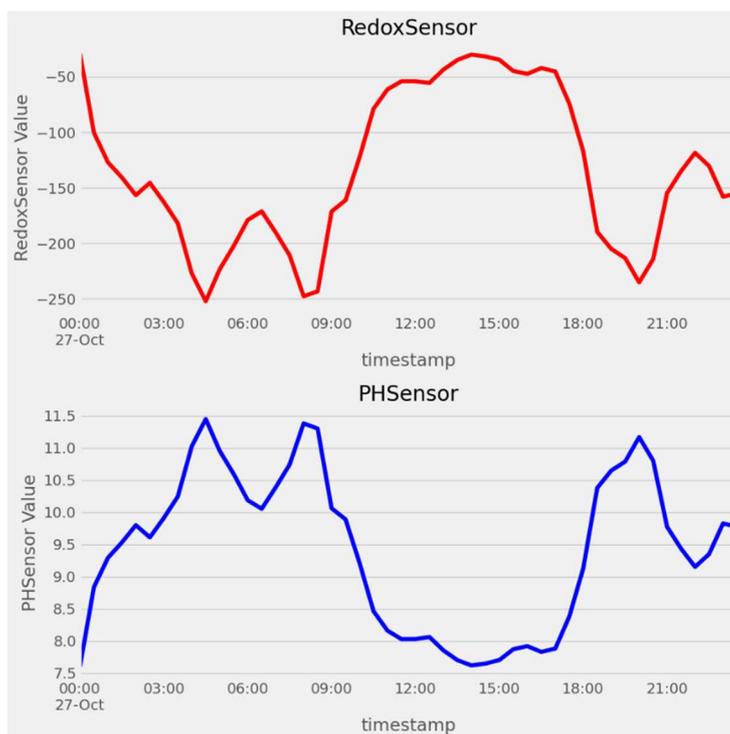


Рис. 7. Зависимость полей pH и Redox

Очевидно, что при снижении redox показателя идет повышение уровня pH воды и выбросы, негативно влияющие на работу активного ила и очистных сооружений, зависят именно от redox показателя.

Как описано выше, для эффективной работы очистных сооружений и активного ила Redox показатель должен находиться в пределах от -200 до -400.

В имеющемся наборе данных большинство значений от 0 до -150 (рис. 8).

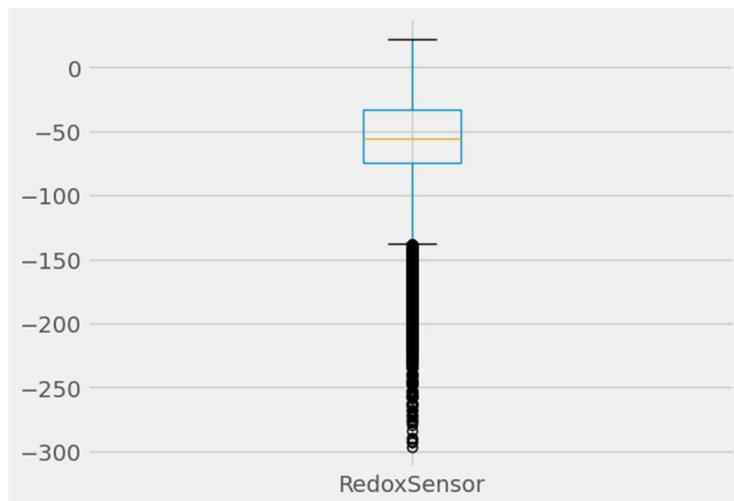


Рис. 8. Redox показатель вод

Также при анализе предметной области было выявлено, что понижение Redox-потенциала обычно связано с уменьшением окислительного потенциала в системе, что влечет за собой различные окислительные и восстановительные процессы. Однако в нашем наборе данных уровень pH воды возрастает в результате.

На это может влиять ряд факторов.

1. Окислительные процессы: В условиях пониженного Redox-потенциала окислительные процессы могут сдерживаться, оставляя воду в более восстановленном состоянии [23]. Это означает, что в воде могут преобладать вещества, склонные к восстановлению, например, наличие активных гидроксидных [24] и аминогрупп [25]. Эти вещества могут быть основаниями и способствовать увеличению уровня pH воды.

2. Процессы аммонификации и денитрификации: снижение Redox-потенциала может также способствовать процессам аммонификации и денитрификации, что также может привести к повышению уровня pH. В результате этих процессов образуются аммиак и аминные соединения, которые могут увеличить щелочность воды.

3. Электродные реакции. В системах с электродными процессами понижение Redox-потенциала может влиять на электродные реакции, приводя к изменениям концентрации ионов водорода и увеличению уровня pH.

4. Процесс биогенного выщелачивания, при котором повышенная активность анаэробных бактерий приводит к образованию щелочных продуктов.

График pH показателя воды за весь промежуток представлен на рисунке 9, где черная линия обозначает верхнюю границу допустимой нормы. Выбросов в сторону понижения pH ниже допустимой не наблюдается.

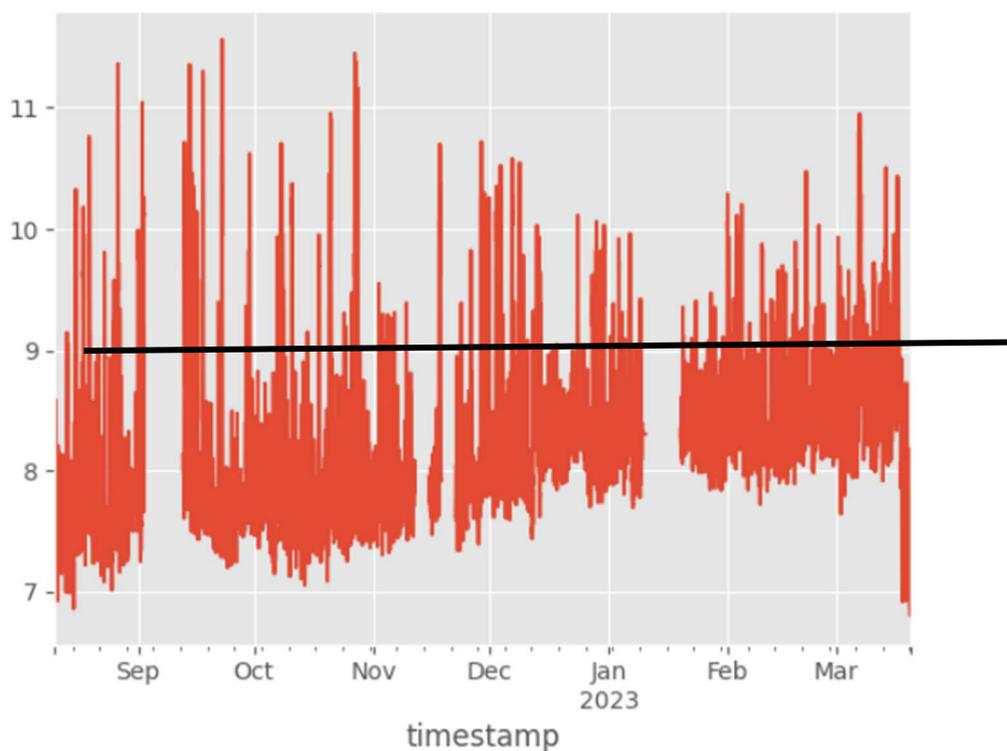


Рис. 9. График pH-показателя воды за весь промежуток

Следовательно, все точки, находящиеся на рисунке 9 выше черной черты, принимаем как выбросы, требующие анализа. Всего дней, содержащих выбросы, в наборе данных 125. Из них 6 имеют выбросы со значением pH более 11, при которых активный ил терпит сильные негативные изменения. Хотя всего в наборе данных наблюдения длились 223 дня.

Можно сделать вывод, что большую часть наблюдаемых дней были выбросы, при которых повреждались бактерии активного ила.

Увеличение pH может оказать влияние на осаждение металлов, коагуляцию частиц, взаимодействие с биологическими процессами, а также на электрические свойства ила.

Например, при более высоком pH могут образовываться осадки металлов, что может усложнить процессы очистки. Изменившиеся химические свойства ила также могут привести к изменениям в его способности удерживать загрязнения или взаимодействовать с биологическими организмами, участвующими в процессах очистки.

Таким образом, влияние повышенного pH на активный ил в процессе очистки сточных вод является важным вопросом при проектировании и эксплуатации очистных сооружений. Изучение этих процессов может привести к оптимизации процессов очистки сточных вод и повышению их эффективности.

В результате анализа данных о показателях работы очистных сооружений можно сделать ряд выводов и предположений.

1. Выбросы, наблюдаемые большую часть времени, негативно влияют на работу активного ила, что полностью меняет соотношение pH и Redox показателей.
2. Бактерии активного ила работают неправильно и требуют замены.
3. Недостаточное количество параметров для проведения более детального анализа, для отслеживания влияния других факторов на работу очистных сооружений.

Библиографический список

1. Федеральный закон от 27 июля 2010 г. № 210-ФЗ «Об организации предоставления государственных и муниципальных услуг» [Электронный ресурс]. – URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_122867/b819c620a8c698de35861ad4c9d969bee0c3ee7a/ (дата обращения: 2024.02.26).
2. Методы экологического анализа [Электронный ресурс]. – URL: https://studme.org/63247/ekologiya/metody_ekologicheskogo_analiza (дата обращения: 2024.02.26).
3. Распределенные информационные системы: особенности [Электронный ресурс]. – URL: <https://apni.ru/article/6996-raspredelennie-informatsionnie-sistemi-osoben> (дата обращения: 2024.02.26).
4. Apache Sqoop Tutorial [Электронный ресурс]. – URL: https://translated.turbopages.org/proxy_u/en-ru.ru.2c781adf-658bcf13-07c3e286-74722d776562/https/www.projectpro.io/hadoop-tutorial/hadoop-sqoop-tutorial#:~:text=Apache%20Sqoop%20-%20Это%20инструмент%2C,такие%20как%20Hive%20и%20HBase (дата обращения: 2024.02.26).
5. What is Hadoop? [Электронный ресурс]. – URL: <https://aws.amazon.com/ru/what-is/hadoop/#:~:text=Apache%20Hadoop%20-%20Это%20платформа,параллельный%20анализ%20огромных%20наборов%20данных> (дата обращения: 2024.02.26).
6. Apache Hive [Электронный ресурс]. – URL: <https://hive.apache.org/> (дата обращения: 2024.02.26).
7. Apache HBase [Электронный ресурс]. – URL: <https://hbase.apache.org/> (дата обращения: 2024.02.26).
8. Teradata [Электронный ресурс]. – URL: <https://en.wikipedia.org/wiki/Teradata> (дата обращения: 2024.02.26).
9. Netezza [Электронный ресурс]. – URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Netezza> (дата обращения: 2024.02.26).
10. Oracle [Электронный ресурс]. – URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Oracle> (дата обращения: 2024.02.26).
11. MySQL [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.mysql.com/> (дата обращения: 2024.02.26).
12. PostgreSQL [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.postgresql.org/> (дата обращения: 2024.02.26).
13. Apache NiFi [Электронный ресурс]. – URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/NiFi> (дата обращения: 2024.02.26).
14. Что такое ETL [Электронный ресурс]. – URL: <https://practicum.yandex.ru/blog/chto-takoe-etl/> (дата обращения: 2024.02.26).
15. Сточные воды [Электронный ресурс]. – URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Сточные_воды (дата обращения: 2024.02.26).
16. Активный ил [Электронный ресурс]. – URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Активный_ил (дата обращения: 2024.02.26).
17. Водородный показатель pH [Электронный ресурс]. – URL: <https://skysmart.ru/articles/chemistry/vodorodnyj-pokazatel-ph> (дата обращения: 2024.02.26).
18. Влияние pH водной среды на работу очистительных сооружений [Электронный ресурс]. – URL: https://nomitech.ru/articles-and-blog/vliyanie_rn_vodnoy_sredy_na_rabotu_ochistitelnykh_sooruzheniy/ (дата обращения: 2024.02.26).

19. Особенности строения и жизнедеятельности флокулообразующих бактерий [Электронный ресурс]. – URL: https://nomitech.ru/articles-and-blog/osobennosti_stroeniya_i_zhiznedeyatelnosti_flokuloobrazuyushchikh_bakteriy/ (дата обращения: 2024.02.26).

20. Устав о фонде гарантирования вкладов физических лиц [Электронный ресурс]. – URL: <https://base.garant.ru/70427212/> (дата обращения: 2024.02.26).

21. Активный ил [Электронный ресурс]. – URL: https://helyx-systems.com/press/articles/aktivnyu-yl/?utm_referrer=https%3A%2F%2Fyandex.ru%2F (дата обращения: 2024.02.26).

22. Активный ил [Электронный ресурс]. – URL: <https://helyx-systems.com/press/articles/aktivnyu-yl/> (дата обращения: 2024.02.26).

23. Восстановленная вода [Электронный ресурс]. – URL: [https://wiki5.ru/wiki/Reclaimed_water#:~:text=Восстановленная%20или%20оборотная%20Овода%20\(также,\(т.%20Е.%20пополнение%20подземных%20вод\)](https://wiki5.ru/wiki/Reclaimed_water#:~:text=Восстановленная%20или%20оборотная%20Овода%20(также,(т.%20Е.%20пополнение%20подземных%20вод)) (дата обращения: 2024.02.26).

24. Гидроксиды [Электронный ресурс]. – URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Гидроксиды> (дата обращения: 2024.02.26).

25. Аминогруппа [Электронный ресурс]. – URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Аминогруппа> (дата обращения: 2024.02.26).