АНАЛИЗ ДАННЫХ РАБОТЫ ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЙ РОССИЙСКИХ ГОРОДОВ – ОСНОВА ДЛЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО НОРМИРОВАНИЯ

Москва-2015

`

В разработке отчета принимали участие:

Директор направления «Водоснабжение и Водоотведение» ООО «Домкопстрой»
К.т.н.,
e-mail:marina.kanunnickova2013@yandex.ru,
тел.: +7 926 1502086 _____ М.А. Канунникова

Главный технический специалист
ООО «Домкопстрой», член ТРГ-10
Росстандарта, тел.: +7 926 129 11 63,
e-mail: epov@treatmentwater.ru _____ А.Н. Эпов

`

СОДЕРЖАНИЕ

Введение 4
Общая характеристика станций 4
Нагрузки и срок службы сооружений 6
Удельное водопотребление и качество поступающих вод 11
Температура стоков 21
Качество очищенной воды 22
Потребление энергии на очистку стоков 35
Оценка работы сооружений по ИПКО 38
Удаление техногенных загрязнений 41
Биоокисляемые техногенные загрязнения 42
Бионеоксиляемые техногенные загрязнения 46

`

Введение

В ходе опроса существующих очистных сооружений были получены анкеты более чем от 200 объектов, что составляет более 45% существующих очистных сооружений, попадающих под действие НДТ. Все объекты были разделены на 3 класса:

- Более 300 тыс. $м^3$ в стуки проектной производительности.
- От 100 до 300 тыс. $м^3$ в сутки проектной производительности.
- Менее 100 тыс. $м^3$ в сутки проектной производительности.

При этом станции производительностью менее 10 тыс. $м^3$/сутки рассматривались только при наличии достаточного материала по технологии и анализам, станции производительностью менее 5000 $м^3$/сутки не рассматривались

К сожалению, что предъявление органами охраны окружающей среды ко всем предприятиям отрасли заведомо невыполнимых требований к качеству очистки (как правило, на уровне ПДКрыбхоз) привело к тому, что работники очистных сооружений почти повсеместно вынуждено скрывать в той или иной степени от контролирующих органов фактическое качество сбросов. Это маскирует реальную картину, в том числе зачастую и от собственника данных сооружений. Поэтому изначально до начала анкетирования наиболее острым был вопрос адекватности предоставляемых данных. Для этого по настоянию одного из авторов статьи Бюро НДТ был утвержден механизм анонимности собираемых данных. Текст анкеты отдельно обращал внимание коллег на необходимость предоставления реальных данных.

Для фильтрации полученных данных, полученные анкетные данные были предварительно обработаны с рассмотрением технологических схем и отбраковкой части анализов по критериям соотношения величин концентраций и соответствия получаемых качественных показателей существующей технологии и нагрузки на станцию. Если сомнения вызывало более 45% анализов, станция не рассматривалась. При этом для анализа эффективности нитрификации, удаления азота и фосфора так же было исключено ряд анкет, в которых одновременно эффективность удаления азота превышала 65%, а эффективность удаления фосфора 50%, однако в технологических схемах соответствующие технологические приемы и сооружения отсутствовали. Так же проверялись указанные величины удельных расходов воздуха на соответствие указанным маркам воздуходувок. При отсутствии данных об удельном расходе воздуха или некорректных данных (невозможных технологически значениях) расход воздуха и потребление энергии рассчитывалось исходя из представленного материала по маркам и мощности воздуходувок и общей потребляемой на процесс очистки энергии.

Общая характеристика станций

Данные по общей характеристики станций представлены в таблице 1.

Таблица 1.

Применение основных технологий на объектах ОГСВ.

Показатели	ОС с различной проектной производительностью, % *			
	Более 300 тыс. $м^3$/сут.	100−300 тыс. $м^3$/сут.	Менее 100 $м^3$/сут.	В целом по всем группам
Количество объектов, по которым учтены данные	20 ед.	30 ед.	150 ед.	200 ед.
Имеют биологическую очистку	100	96,7	*100*	*99,5*
Биологическая	100	100	*95,6*	*96,7*

`

очистка осуществляется в аэротенках				
Биологическая очистка осуществляется в биофильтрах	0	0	*4,4*	*3,3*
Применяется удаление азота (денитрификация)	20	16	14	15
Применяется дефосфатация	10	10	*8*	*8,5*
Имеют доочистку	20	29	*31*	*29,6*
УФ обеззараживание	25	30	*18*	*20,5*
Обеззараживание хлором	35	32	*28*	*29,3*
Обеззараживание гипохлоритом натрия	30	22	*24*	*24,3*
Обеззараживание нехлорным реагентом	0	0	*4*	*3,0*
Не имеют обеззараживания	10	16	*26*	*22,9*
Аэробная стабилизация	20	16	*24*	*22,4*
Анаэробное сбраживание	35	13	*8*	*11,5*
Мехобезвоживание	80	71	*31*	*41,9*

* При использовании нескольких альтернативных технологий на объекте анализ производился с учетом доли данных технологий по расходу обрабатываемых сточных вод.

В качестве не хлорных реагентов описано применение дезавита, поалурата-бингсти дефлока, хлорной извести.

Большинство очистных сооружений работают по технологии включающей:

- Решетки
- Песколовки
- Первичные отстойники
- Аэротенки с регенераторами
- Вторичные отстойники.

Т.е. по типовой схеме, применяемой при проектировании в СССР.

Среди крупных станций частично или полностью применяют процесс денитрификации 20%, а удаления фосфора только 10%, учитывая, что внедрение удаления фосфора происходит совместно с удалением азота от 80 до 90% станций, нуждаются в улучшении технологии. С уменьшением производительности процент внедрения современных технологий снижается.

От 20 до 30% сооружений оснащены доочисткой.

На средних и крупных станциях большая часть стоков обеззараживается, при этом 35 – 39% составляет применение хлора. На сооружениях производительностью до 100 тыс. $м^3$/стуки не обеззараживается или обеззараживается сомнительно сток на 30% сооружений.

`

Крупные и средние станции практически на 70% перешли на механическое обезвоживание осадков. Стабилизация осадков на крупных станциях производится на 50% объектов, причем на 22% применяется энергозатратная аэробная стабилизация.

Количество анализов, вызывавших сомнения по соображениям стехиометрии, составляет менее 10% для всех станций, что говорит о хорошей работе лабораторий на рассматриваемых объектах. Наибольшие сомнения вызывали величины $БПК_5$ в очищенной воде, однако при этом следует учитывать, что данный анализ при низких величинах БПК вызывает наибольшие сложности. Последовательное увеличение % сомнительных анализов с уменьшением производительности станции может объясняться лучшей оснащенностью лабораторий крупных и средних станций.

Нагрузки и срок службы сооружений

На графиках (рис.1–3) представлена нагрузка на сооружения, рассчитанная как соотношение проектного и поступающего расхода.

Среди крупных станций нет сооружений работающих с перегрузкой, при этом 13% сооружений работают близко к проектной производительности, 20% с недогрузкой, 30 – 40%, как правило, позволяющей внедрять удаление азота, 40% с нагрузкой около 50%, что позволяет осуществлять существенные изменения технологии и 40% сооружений работают с существенной недогрузкой.

Рис. 1. Распределение нагрузки на сооружения производительностью более 300 тыс. $м^3$/сутки.

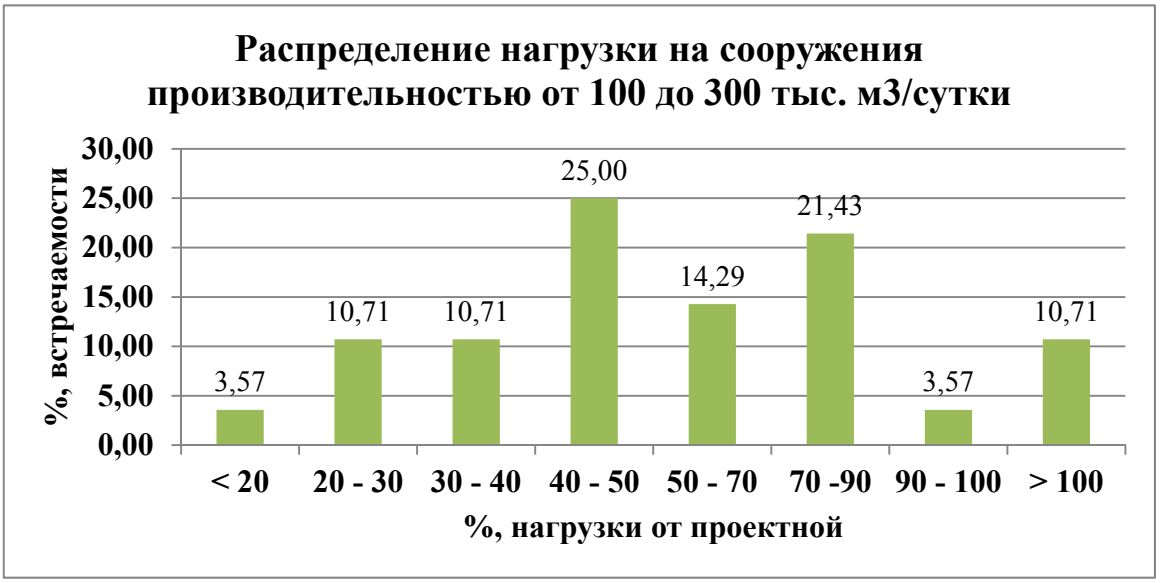

Рис. 2. Распределение нагрузки на сооружения производительностью от 100 до 300 тыс. м^3/сутки.

Рис. 3. Распределение нагрузки на сооружения производительностью менее 100 тыс. м^3/сутки.

Среди сооружений производительностью от 100 до 300 тыс. м^3/сутки 11% работают с незначительными перегрузками, 23% близко к проектной производительности, 3,6 % с недопустимой недогрузкой. Остальные имеют хороший потенциал для внедрения современных технологий.

Для станций производительностью менее 100 тыс. м^3/сутки менее 1% работают с незначительной перегрузкой, 10,6 % близко к проектной производительности и 10% с недопустимой недогрузкой (при столь существенной недогрузки не следует использовать все имеющиеся сооружения).

На рис. 4–6 представлены годы ввода станций в эксплуатацию.

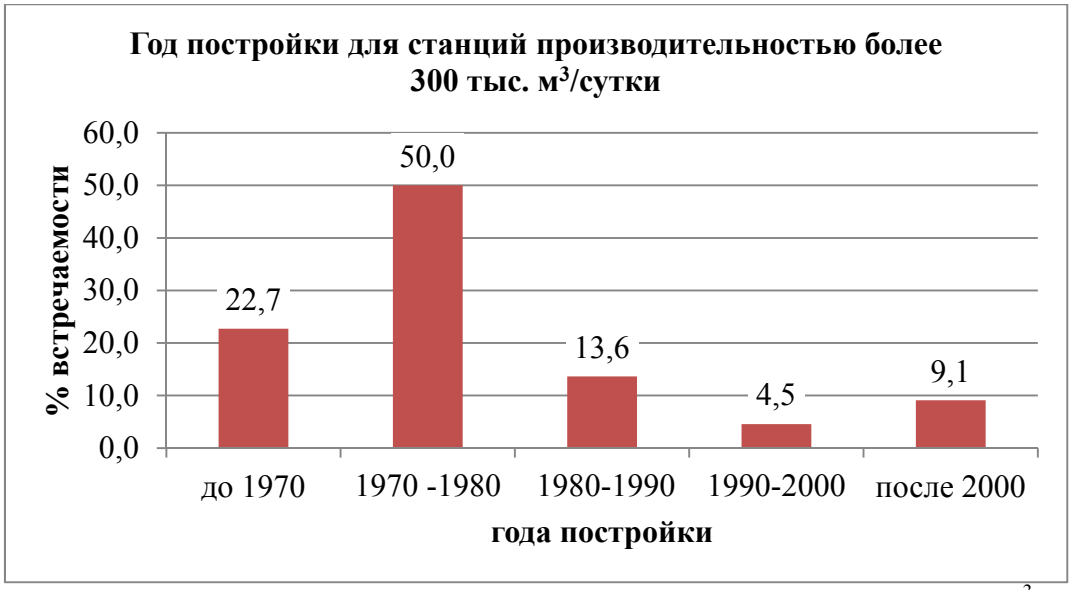

Рис. 4. Год постройки для станций производительностью более 300 тыс. м^3/сутки.

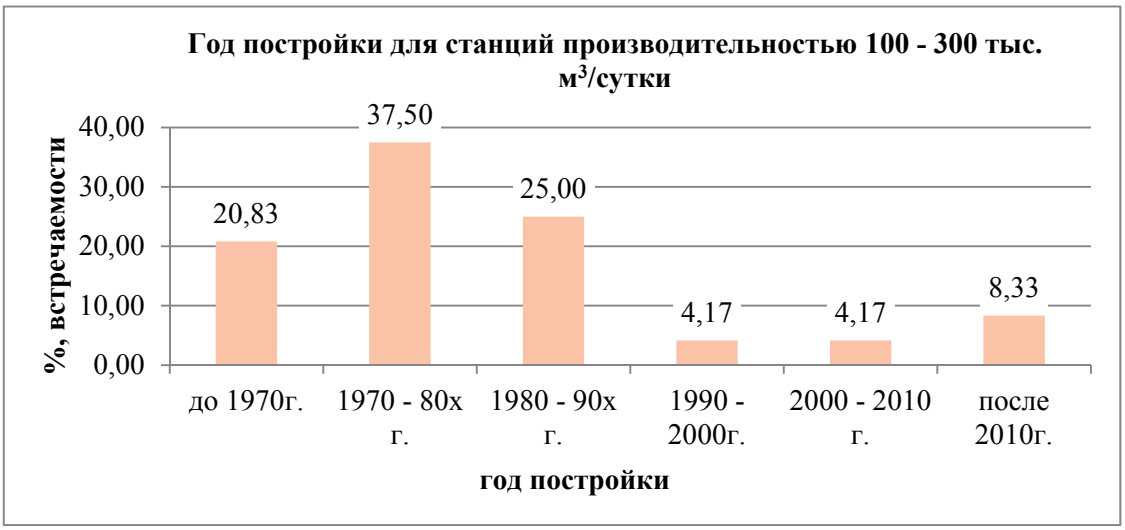

Рис. 5. Год постройки для станций производительностью от 100 до 300 тыс. м^3/сутки.

Рис. 6. Год постройки для станций производительностью менее 100 тыс. м^3/сутки.

`

Для всех станций характерно, что основные мощности были построены в период с 1970 по 1985 год. Крупные и средние станции достраивались до 1990 года. Среди станций производительностью до 300 тыс. м^3/стуки есть сооружения, построенные после 2000 и после 2010 года – от 7 до 12% сооружений.

На рис.7–9 представлены данные о годах расширения и реконструкции сооружений.

Рис. 7. Год расширения или последней реконструкции для станций производительностью более 300 тыс. м^3/сутки.

Рис. 8. Год расширения или последней реконструкции для станций производительностью от 100 до 300 тыс. м^3/сутки.

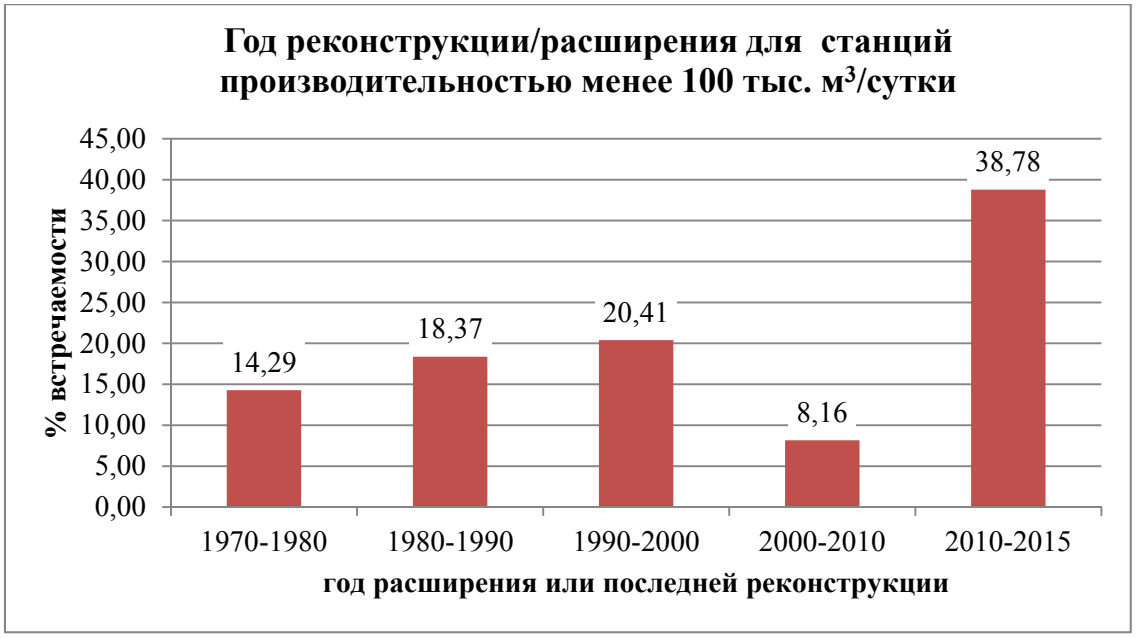

Рис. 9. Год реконструкции/расширения для станций производительностью менее 100 тыс. м^3/сутки.

До 1990 года в основном осуществлялась достройка сооружений и ввод дополнительных блоков. Реконструкции с изменением технологии приходятся на 2000 – 2015 годы, причем, как показывает процент внедрения современных технологий биологической очистки, реконструкции во многом касались внедрения более современных технологий обеззараживания - отказа от хлорирования и перехода на механической обезвоживание.

В целом, анализ материалов данного раздела показывает, что имеющиеся мощности сооружений на большинстве рассмотренных станций имеют хороший потенциал для внедрения современных технологий биологической очистки, который на данный момент мало реализован. Однако, следует учитывать, что основные мощности сооружений были построены в 70-80-е годы и их дальнейшая эксплуатация и реконструкции, как правило, связаны с восстановлением работоспособности железобетонных конструкций. Это увеличивает стоимость работ от 50 до 500 % относительно ретехнологизации (изменения технологии с заменой оборудования).

`

Удельное водопотребление и качество поступающих вод

На рис. 10 представлено распределение удельного расхода стоков на человека для станций производительностью более 300 тыс. м^3 в сутки.

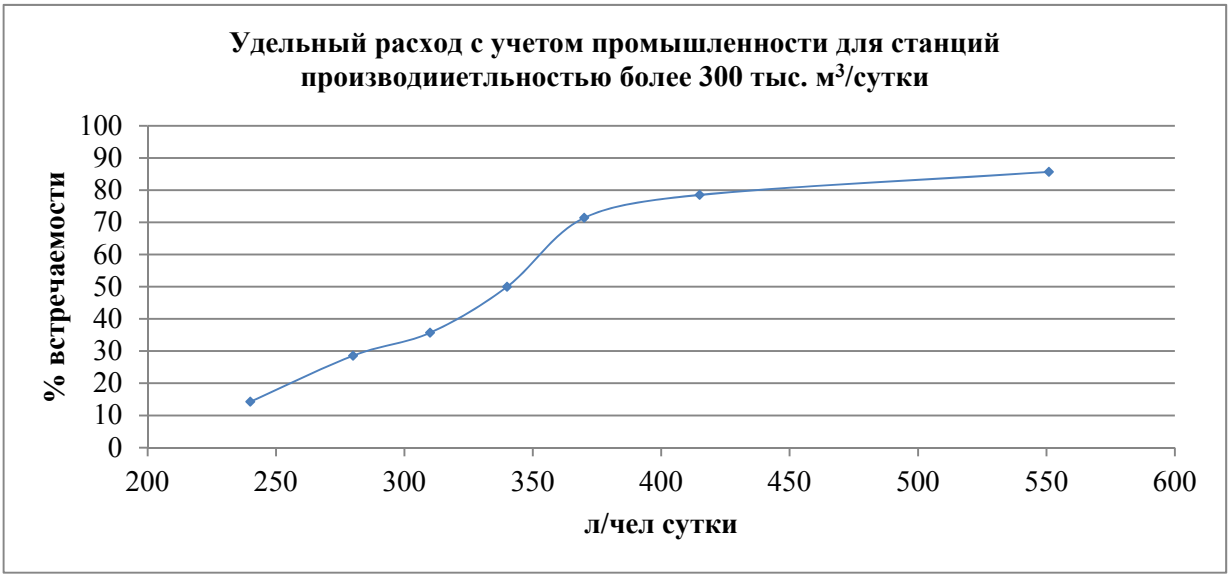

Рис. 10. Удельный расход с учетом промышленности для станций производительностью более 300 тыс. м^3/сутки.

Основная часть распределения соответствует расходам от 270 до 370 л на человека в сутки. Большие значения характерны для станций с высокой долей поступления промстоков, таких как Омск, Дзержинск. Учитывая, что большинство водоканалов характеризовало свою систему канализования, как полураздельную (т.е. с высоким % поступлением поверхностных стоков), использование воды населением в крупных городах можно характеризовать как достаточно экономичное (150 – 200 л/чел в сутки).

На рис. 11 и 12 представлены данные об удельном расходе стоков для станций производительностью от 100 до 300 тыс. м^3 в сутки и менее 100 тыс. м^3 в сутки. Представленные данные показывают, что с уменьшением производительности диапазон удельных расходов значительно расширяется. При этом значения менее 100 л/чел в сутки соответствует не полному канализованию и/или частичному отсутствию централизованного водоснабжения.

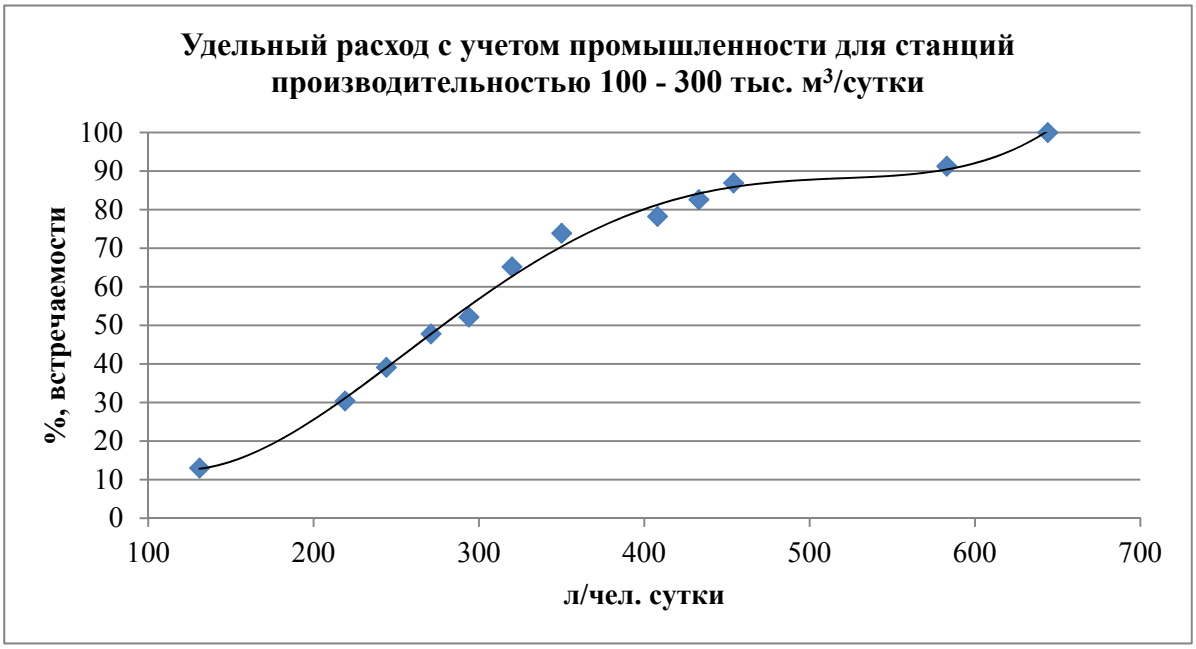

Рис. 11. Удельный расход с учетом промышленности для станций производительностью 100 - 300 тыс. м^3/сутки.

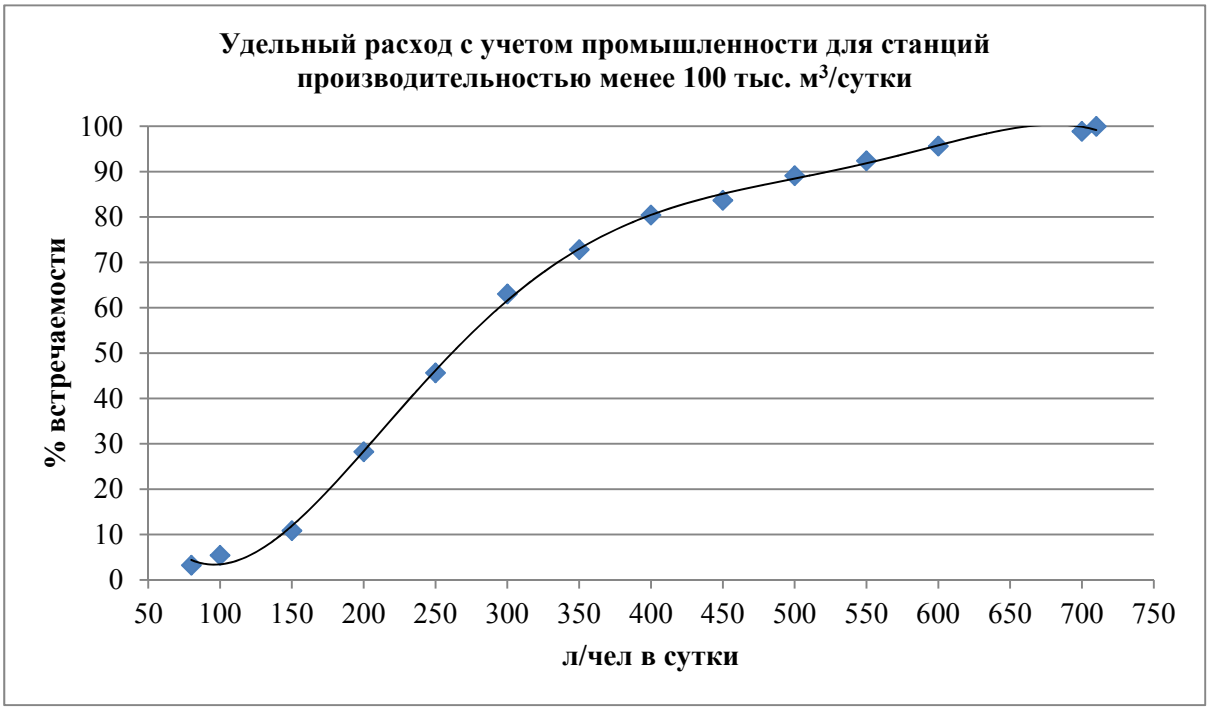

Рис. 12. Удельный расход с учетом промышленности для станций производительностью менее 100 тыс. м^3/сутки.

В целом, для станций производительностью 100 – 300 тыс. м^3/сутки и особенно менее 100 тыс. м^3/сутки имеется резерв снижения водопотребления путем экономии воды.

На рис. 13 – 18 представлены данные о концентрации взвешенных веществ и БПК$_5$ в поступающем стоке для станций различной производительности.

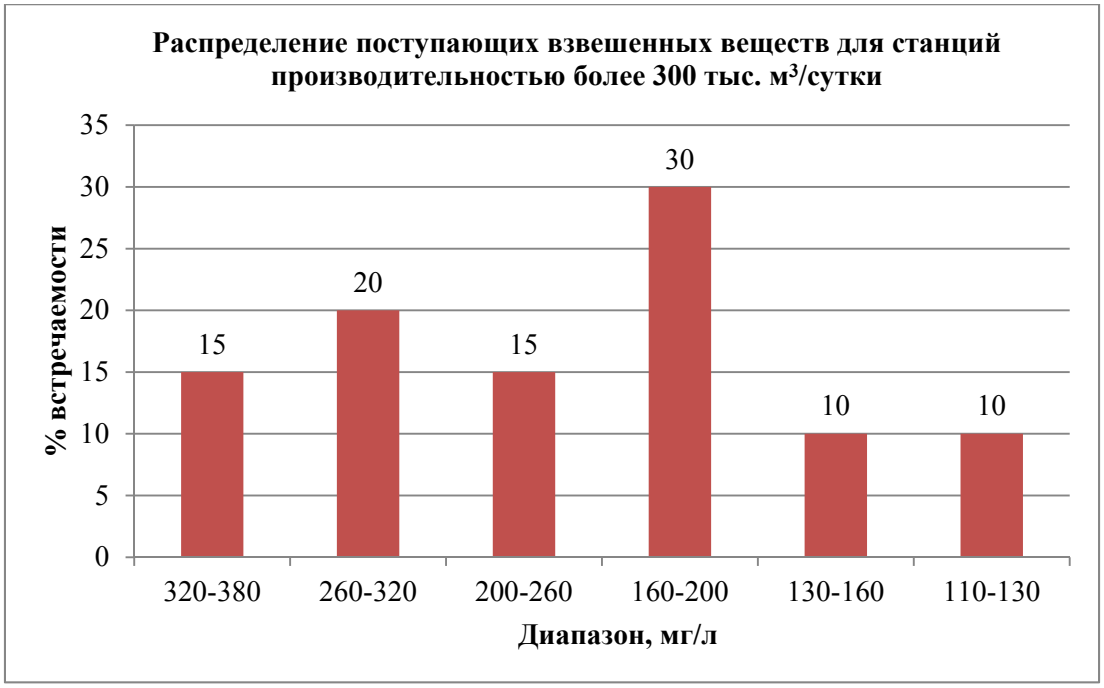

Рис. 13. Распределение поступающих взвешенных веществ для станций производительностью более 300 тыс. м^3/сутки.

Рис. 14. Распределение поступающих взвешенных веществ для станций производительностью 100 - 300 тыс. м^3/сутки.

Рис. 15. Распределение взвешенных веществ на входе для станций производительностью менее 100 тыс. м^3/сутки.

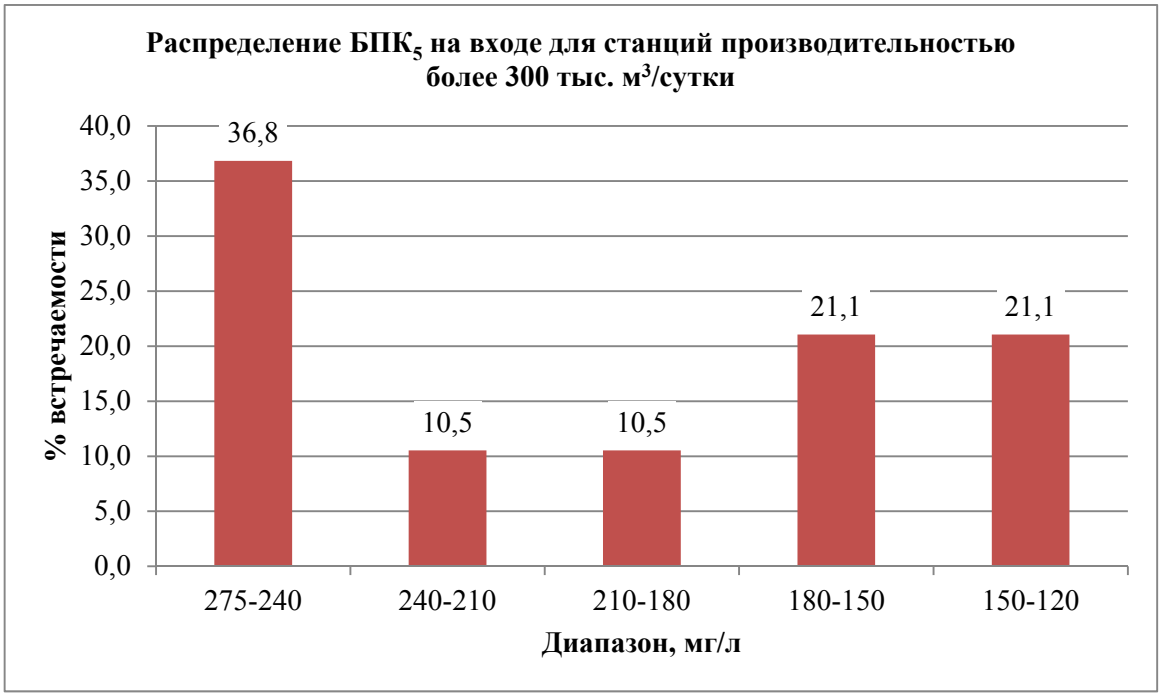

Рис. 16. Распределение БПК$_5$ на входе для станций производительностью более 300 тыс. м^3/сутки.

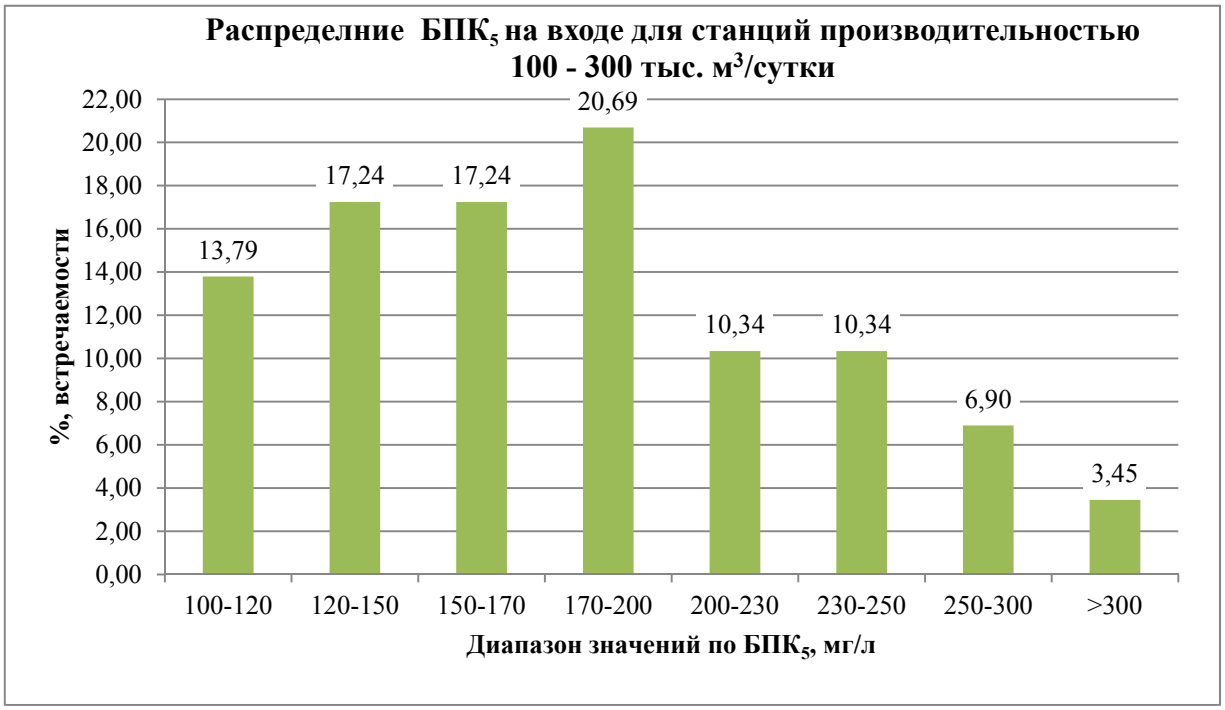

Рис. 17. Распределение $БПК_5$ вход для станций производительностью 100 – 300 тыс. $м^3$/сутки.

Рис.18. Распределение $БПК_5$ вход для станций производительностью менее 100 тыс. $м^3$/сутки.

Согласно представленным данным к низко концентрированным водам следует отнести стоки с диапазоном концентраций менее 100 мг/л по взвешенным веществам и $БПК_5$. Данные стоки чаще встречаются на станциях производительностью менее 100 тыс. $м^3$/сутки. К средне концентрированным стокам следует отнести стоки с концентрациями

`

150-250 мг/л по взвешенным веществам, 120-200 мг/л по $БПК_5$, составляющие основную часть распределения для всех рассмотренных станций.

К концентрированным стокам можно отнести стоки с концентрациями 250-350 мг/л по взвешенным веществам и 240-270 мг/л по $БПК_5$.

Стоки с большими концентрациями в основном характерны для станций производительностью менее 100 тыс. $м^3$/стуки и объясняются большим влиянием промстоков на сооружения меньшей производительности.

На рис. 19-21 представлены распределения концентраций поступающего ХПК для станций различной производительности.

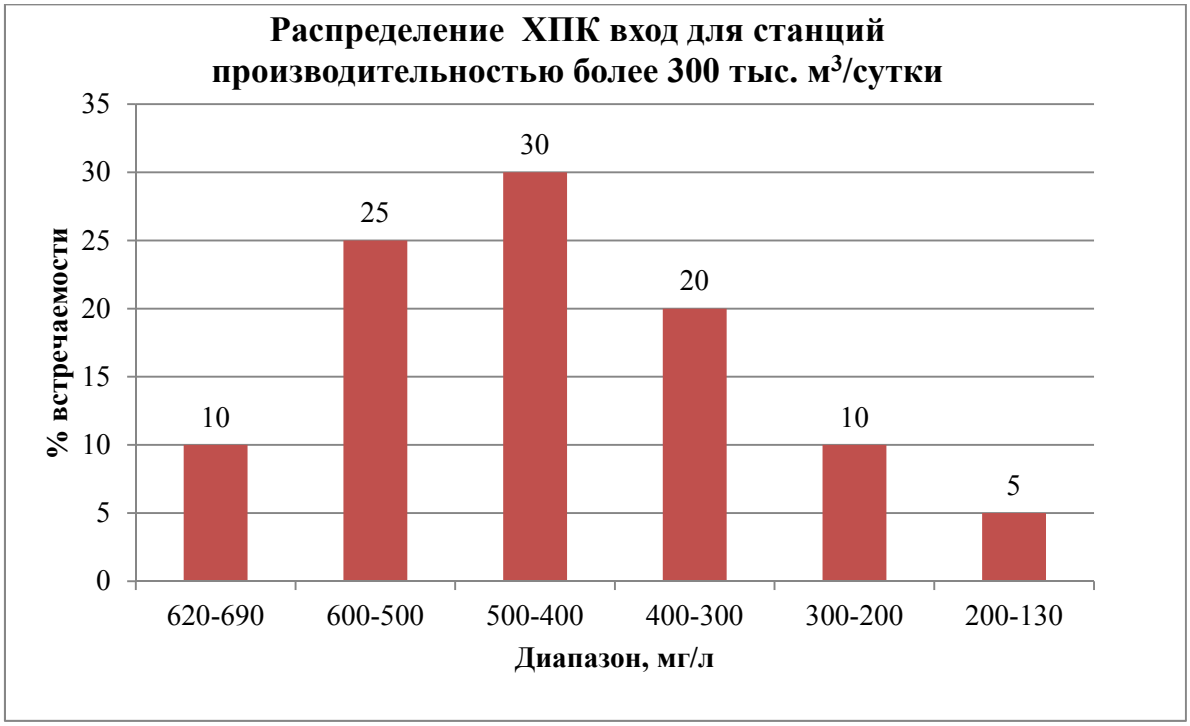

Рис. 19. Распределение ХПК вход для станций производительностью более 300 тыс. $м^3$/сутки.

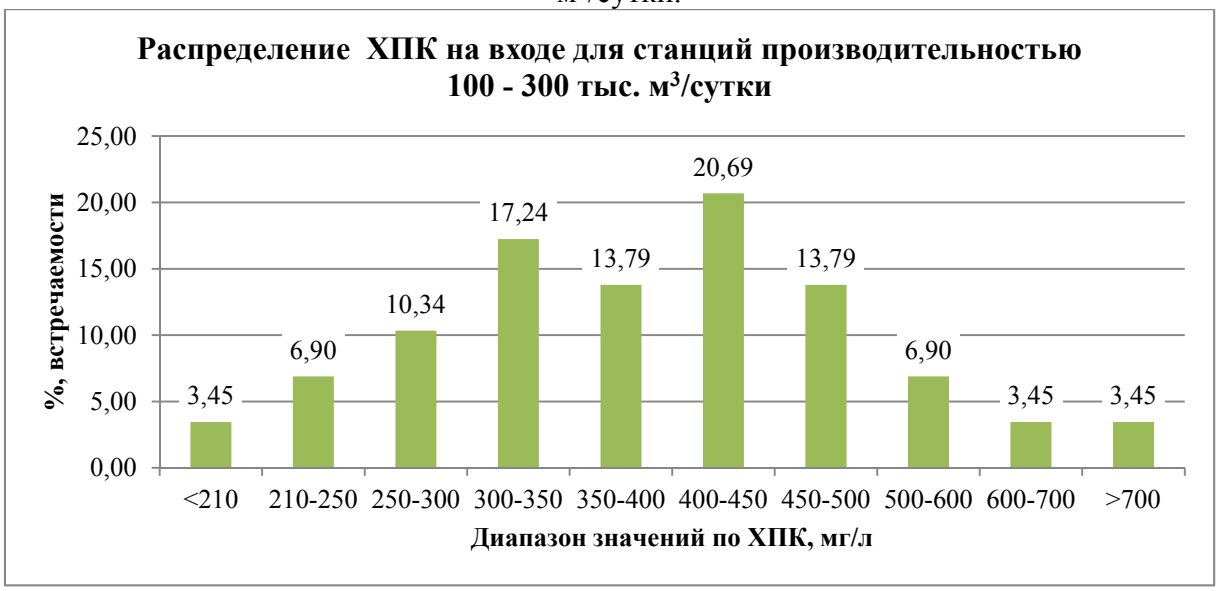

Рис. 20. Распределение ХПК на входе для станций производительностью 100 - 300 тыс. $м^3$/сутки.

Рис. 21. Распределение ХПК на входе для станций производительностью менее 100 тыс. м^3/сутки.

Представленные данные показывают, что основной диапазон значений ХПК, который можно выделить как средне концентрированные стоки составляет от 300 до 500 мг/л. При этом для станций производительностью менее 100 тыс. м^3/сутки встречаются значения более 800 и 1000 мг/л, что так же показывает большее влияние промстоков на сооружения меньшей производительности.

На рис. 22 – 27 показано вероятностное распределение значений концентраций биогенных элементов в поступающих на станции стоках.

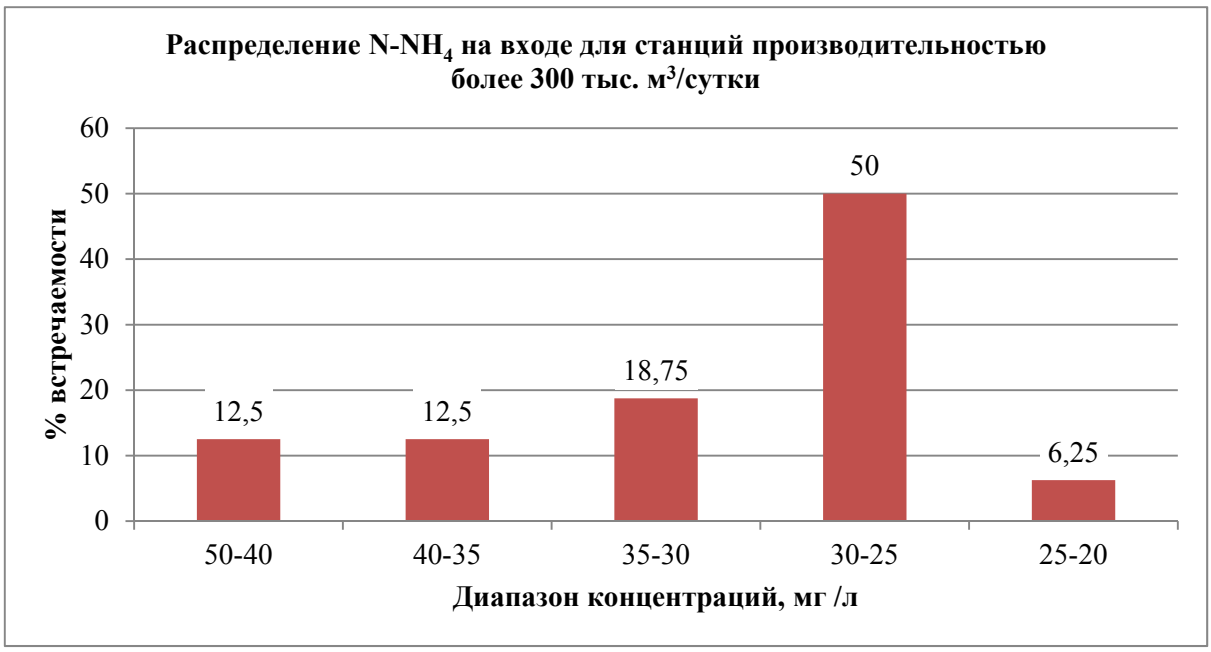

Рис. 22. Распределение N-NH$_4$ на входе для станций производительностью более 300 тыс. м^3/сутки.

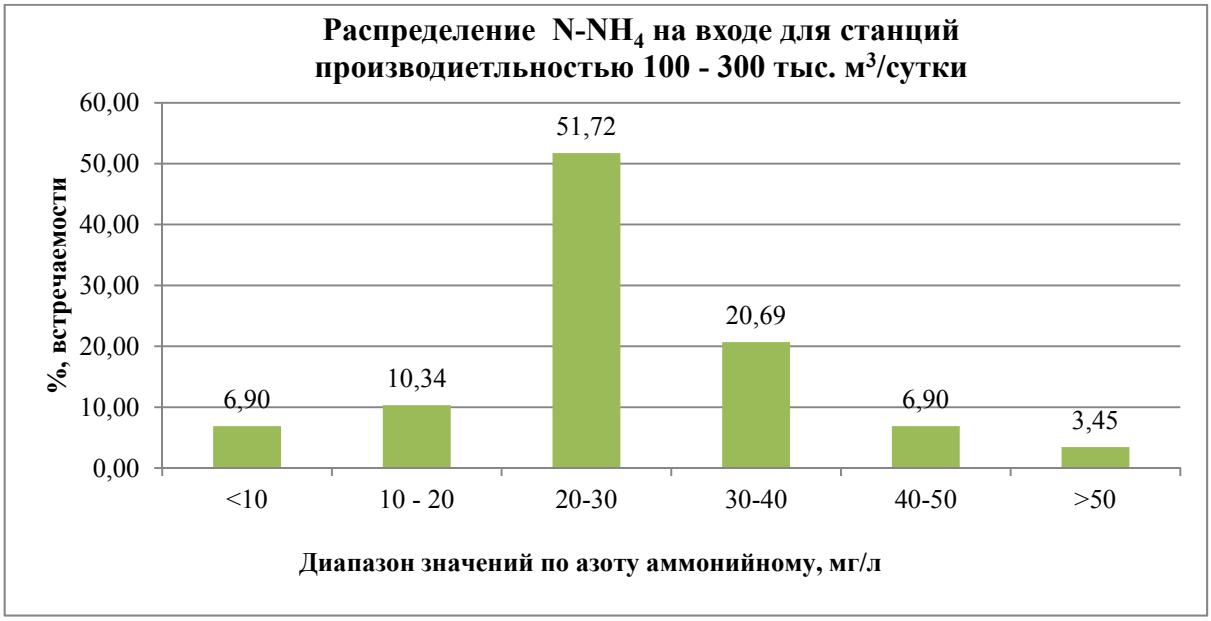

Рис. 23. Распределение $N\text{-}NH_4$ на входе для станций производительностью 100 - 300 тыс. $м^3$/сутки.

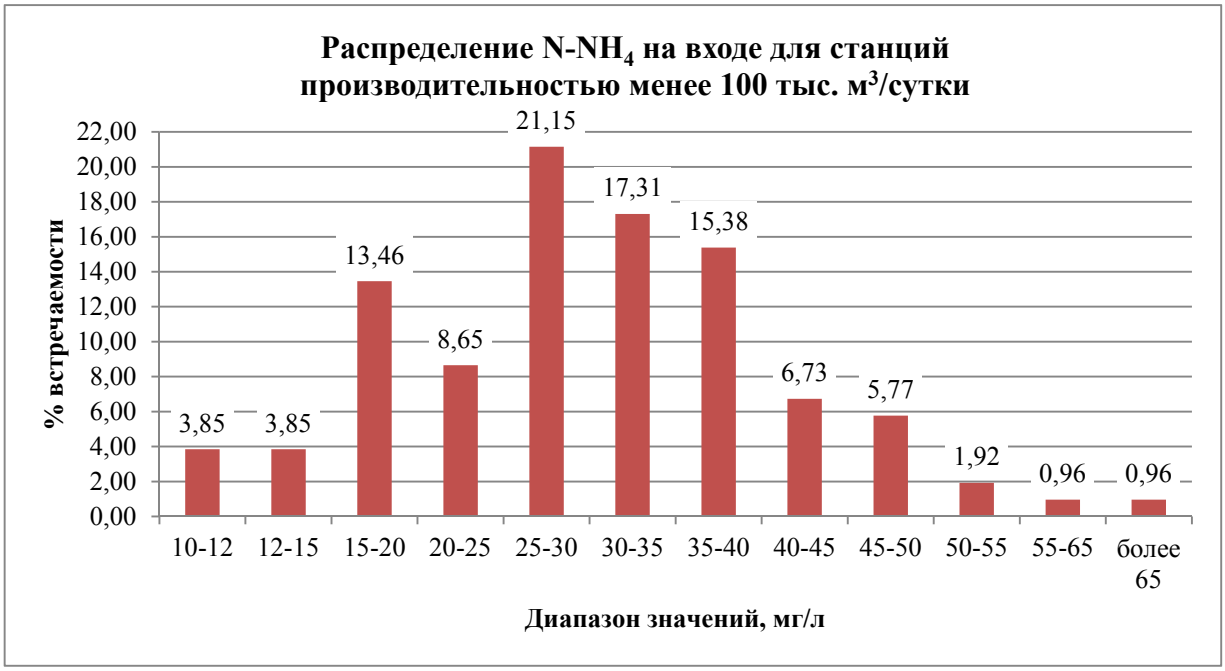

Рис. 24. Распределение $N\text{-}NH_4$ на входе для станций производительностью менее 100 тыс. $м^3$/сутки.

Рис. 25. Распределение P-PO_4 на входе для станций производительностью более 300 тыс. $м^3$/сутки.

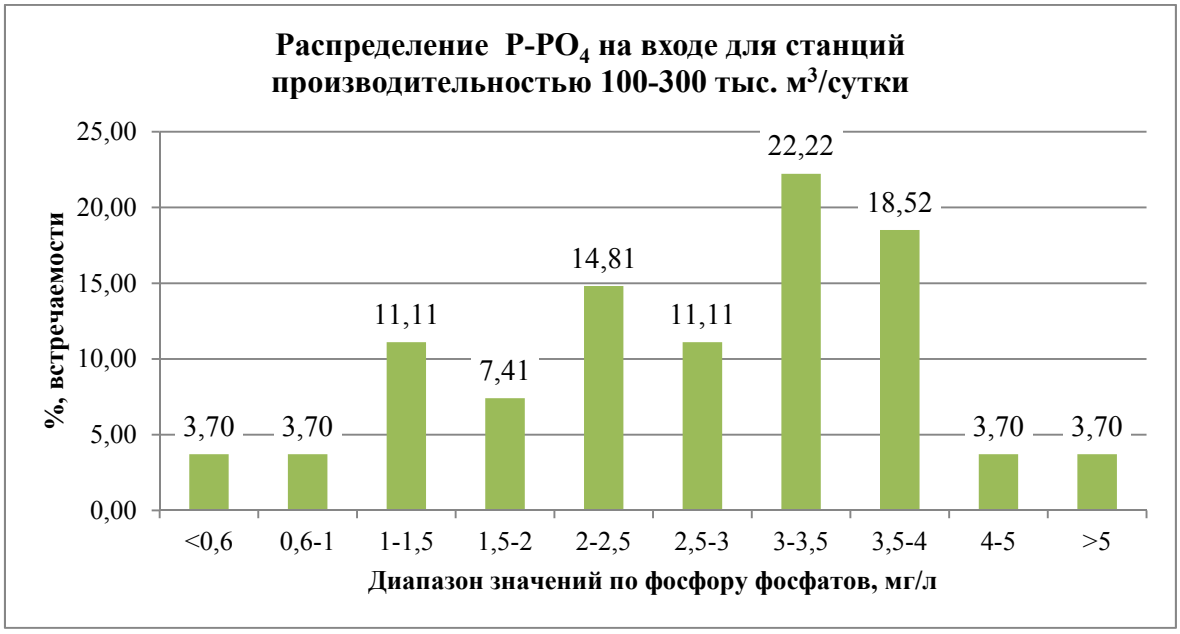

Рис. 26. Распределение P-PO_4 на входе для станций производительностью 100-300 тыс. $м^3$/сутки.

Рис. 27. Распределение Р-PO_4 на входе для станций производительностью менее 100 тыс. $м^3$/сутки.

Для концентраций азота аммонийного наиболее характерный диапазон концентраций составляет 25 до 35 мг/л, для низко концентрированных стоков менее 20 мг/л, а для высоко концентрированных стоков 40-50 мг/л. Концентрации более 50 мг/л с учетом диапазона удельных расходов объясняются влиянием промстоков.

Для фосфора фосфатов наиболее распространённый диапазон составляет 2,5 – 4 мг/л.

Анализ концентраций поступающей сточной воды показывает увеличение разброса встречаемости с уменьшением производительности станции, что объясняется большим диапазоном удельных расходов и увеличением влияния промстоков с уменьшением производительности станции. Характерные диапазоны для городских стоков суммированы в таблице 4.

Таблица 4. Характерные диапазоны концентраций основных загрязнений в исходном городском стоке.

Показатель	Низко концентри-рованные стоки, мг/л	Средне концентрированные стоки, мг/л	Концентри-рованные стоки, мг/л	При влиянии промстоков, мг/л
Взвешенные вещества	Менее 100	150-250	250-350	Больше 400
$БПК_5$	Менее 100	120-200	240-270	Больше 400
ХПК	Менее 200	300-500	600-700	Больше 800
Азот аммонийный	Менее 20	25-35	40-45	Более 50
Фосфор фосфатов	Менее 1,5	2-4	4-5	Более 5

`

Температура стоков

Поскольку температура стоков наиболее важна для расчётов процессов нитрификации, приводятся данные по обработке минимальных среднемесячных температур. Распределение минимальных среднемесячных температур представлено на рис. 28-30.

Для крупных станций наиболее характерна температура более 14°С, при этом стоки с температурой менее 10°С составляют 10% и характерны для тех станций, где система канализованния характеризована как полураздельная или общесплавная.

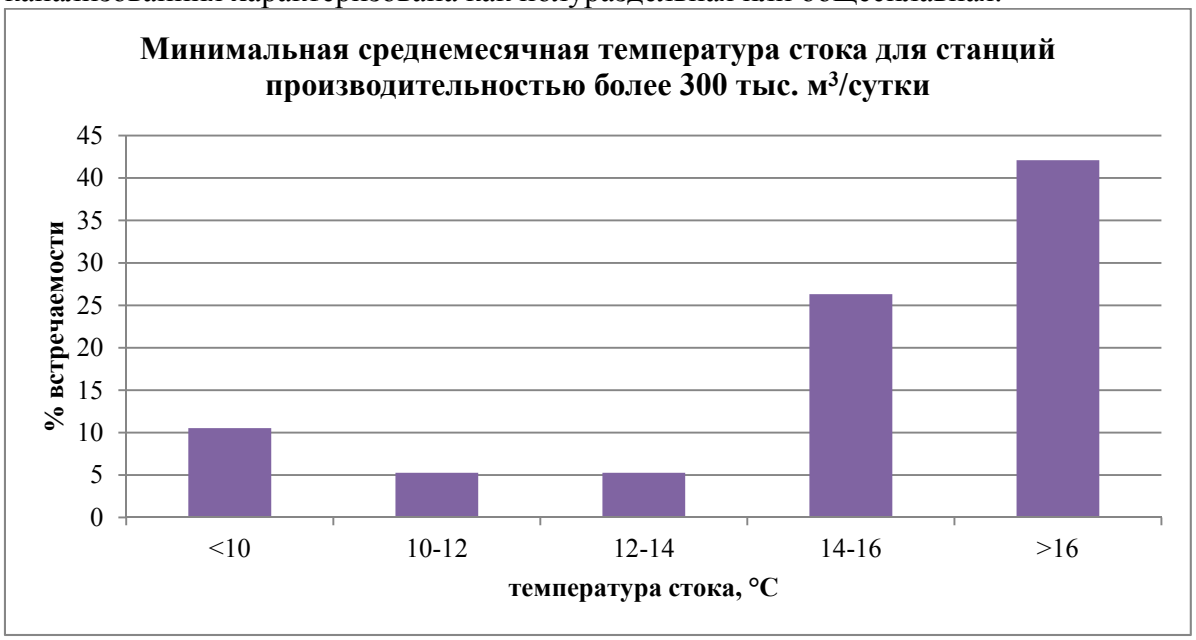

Рис. 28. Минимальная среднемесячная температура стока для станций производительностью более 300 тыс. м^3/сутки.

Рис. 29. Минимальная среднемесячная температура стока для станций производительностью 100-300 тыс. м^3/сутки.

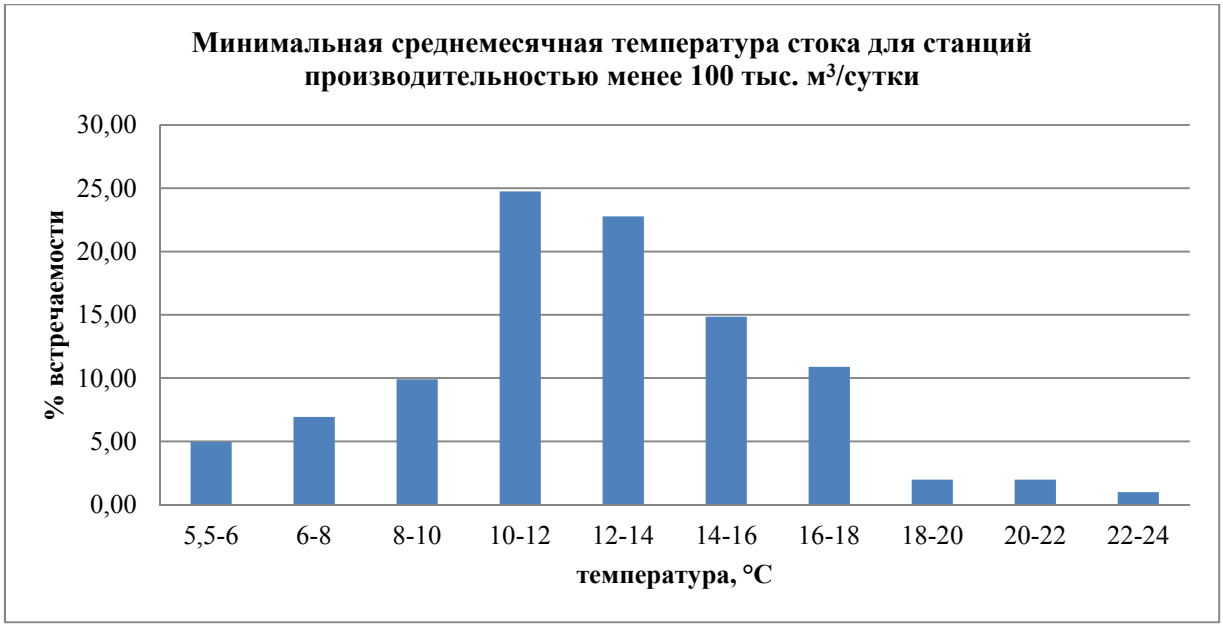

Рис. 30. Минимальная среднемесячная температура стока для станций производительностью менее 100 тыс. м^3/сутки.

Для станций производительностью 100-300 тыс. м^3/сутки основной диапазон температуры стоков 12-16°С, а для станций производительностью менее 100 тыс. м^3/стуки наиболее характерна температура 12-14°С, причем стоки с температурой 10°С и менее, составляют 22%, что существенно для оценки процесса нитрификации.

Качество очищенной воды

Поскольку многие станции оснащены сооружениями доочистки, которые представлены зернистыми фильтрами, биореакторами с ершовой загрузкой и биопрудами, то для оценки влияния доочистки для станций производительностью менее 100 тыс. м^3/сутки (наиболее репрезентативная выборка) оценивалось качество очистки по взвешенным веществам для сооружений, имеющих доочистку и работающих без доочистки. Эти данные представлены на рис. 31.

Хорошо видно, что в диапазоне от 5 до 20 мг/л распределение взвешенных веществ в очищенной воде практически совпадает для станций, имеющих доочистку и работающих только со вторичными отстойниками. Для 25% рассмотренных станции доочистка действительно позволяет получать очищенную воду с концентрациями взвешенных веществ менее 7 мг/л, что соответствует хорошо работающим сооружениям доочистки, в остальных случаях существующие сооружения доочистки не эффективны.

После вторичных отстойников на 80% сооружений качество очистки по взвешенным веществам не более 15мг/л, что соответствует нормам проектирования в СССР. Т. е. 80% сооружений производительностью менее 100 тыс. м^3/сутки достигают проектного качества очистки по взвешенным веществам.

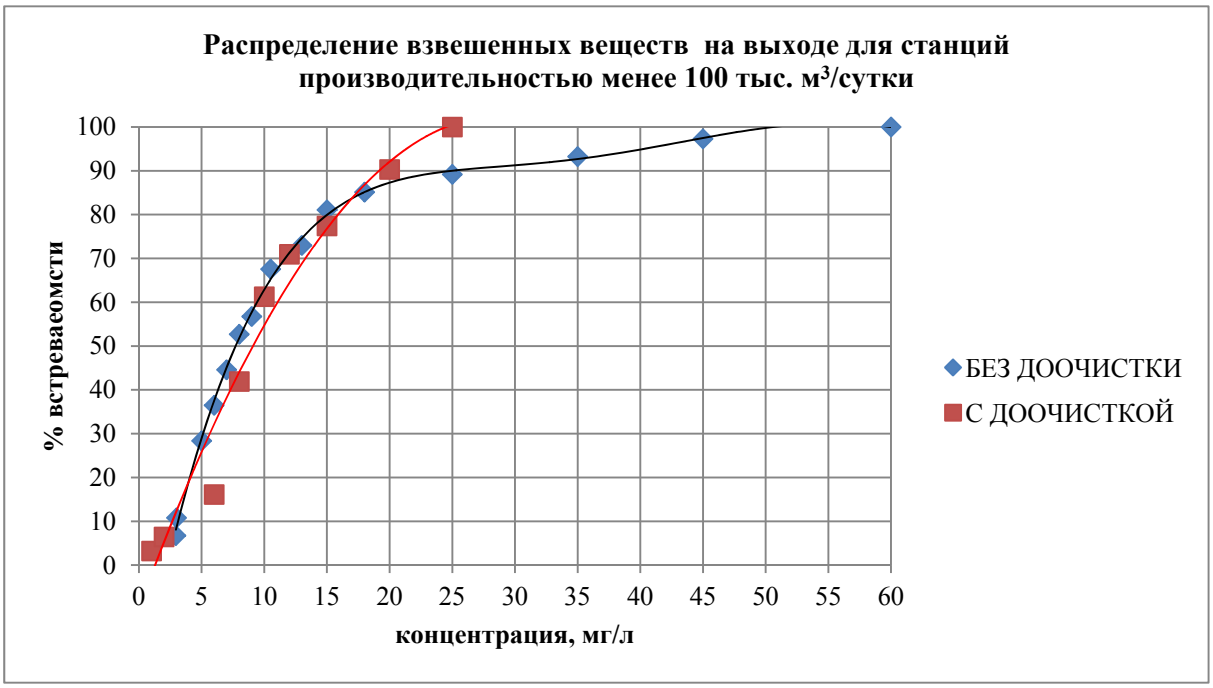

Рис. 31. Распределение взвешенных веществ на выходе для станций производительностью менее 100 тыс. м^3/сутки.

Более того, 70% очистных сооружений работают с выносом взвешенных веществ менее 10 мг/л. Это показывает, что при низкой нагрузки на вторичные отстойники очистка стока с получением выноса 10 мг/л может достигаться с высокой надежностью.

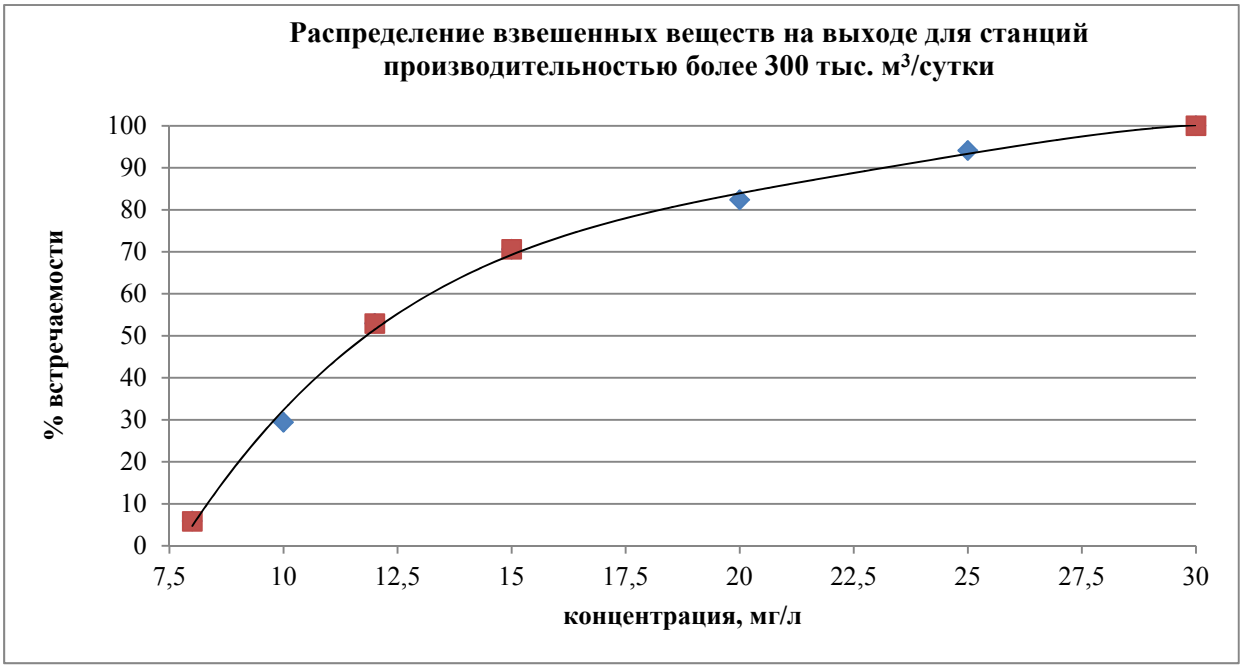

Рис. 32. Распределение взвешенных веществ на выходе для станций производительностью более 300 тыс. м^3/сутки.

На рис. 32 представлено распределение выноса взвешенных веществ для станций производительностью боле 300 тыс. м^3/сутки. Красным выделены сооружения, имеющие

доочистку. Эффективная доочистка наблюдается менее, чем в 10% случаев. 70% станций достигают проектное значение 15 мг/л.

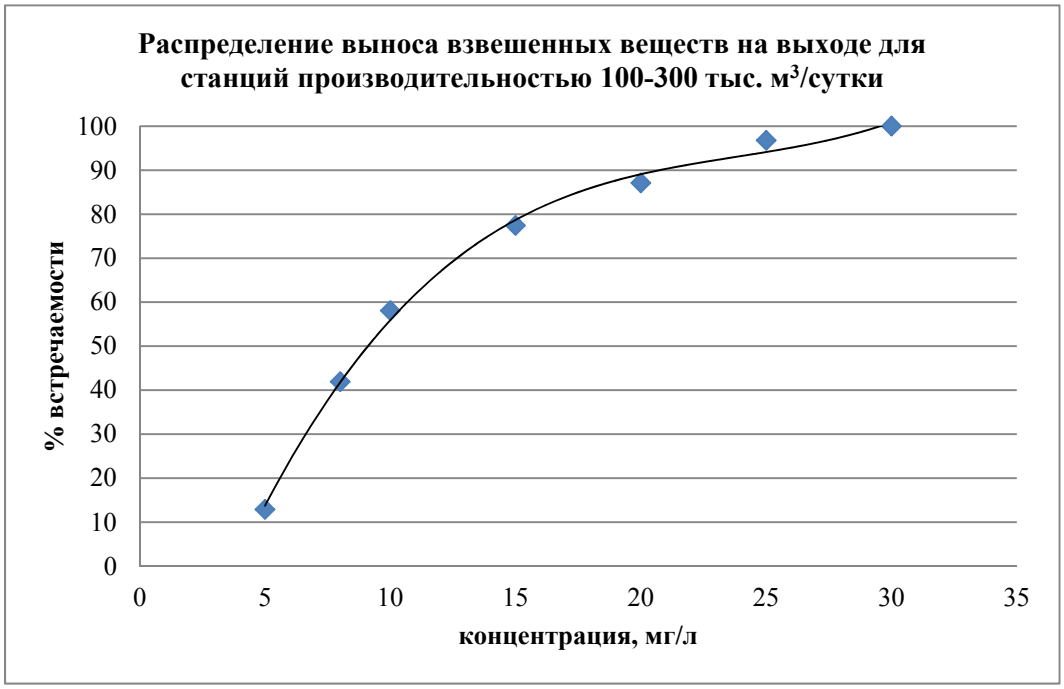

Рис. 33. Распределение выноса взвешенных веществ на выходе для станций производительностью 100-300 тыс. $м^3$/сутки.

На рис. 33 представлено распределение взвешенных веществ для станций производительностью 100-300 тыс. $м^3$/сутки. Здесь так же 80% сооружений обеспечивают проектное качество очистки до 15 мг/л, и 60% менее 10 мг/л.

На рис. 34-36 представлено распределение качества очистки по $БПК_5$ для станций различной производительности.

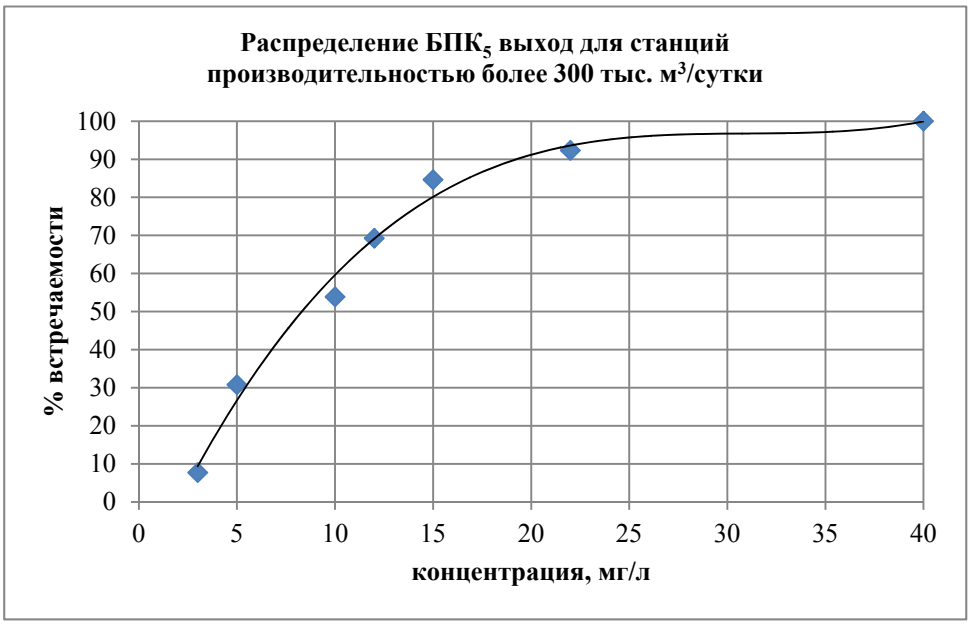

Рис. 34. Распределение $БПК_5$ выход для станций производительностью более 300 тыс. $м^3$/сутки.

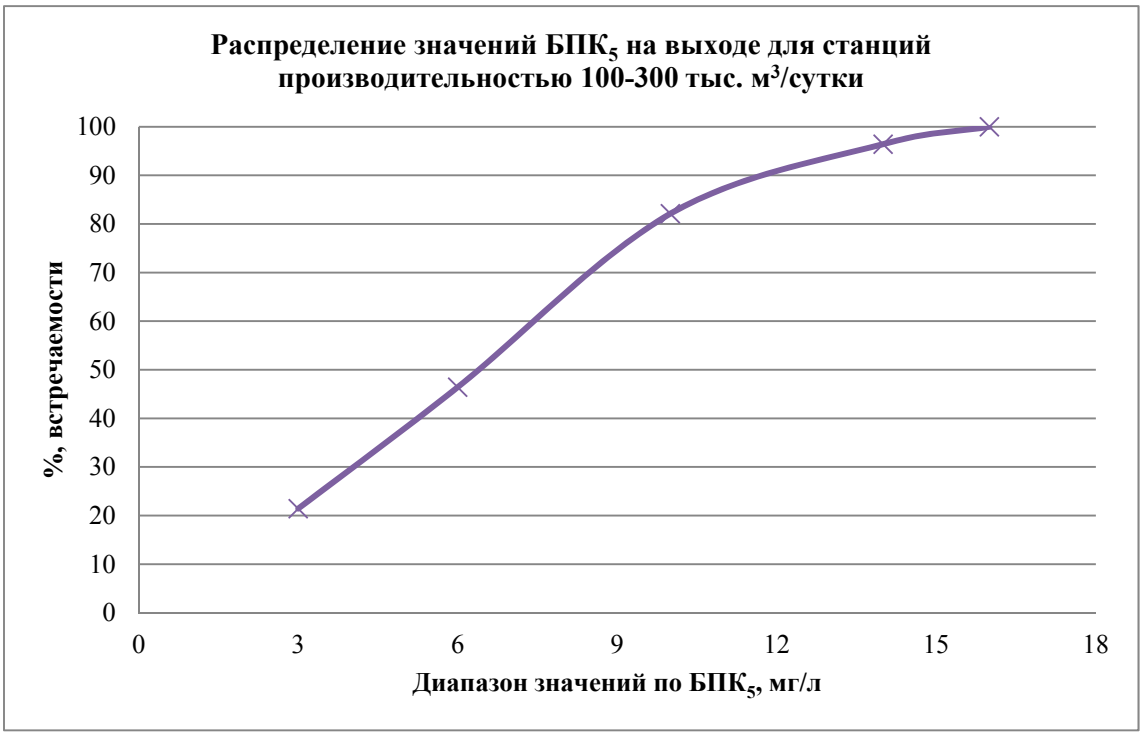

Рис. 35. Распределение значений $БПК_5$ на выходе для станций производительностью 100-300 тыс. $м^3$/сутки.

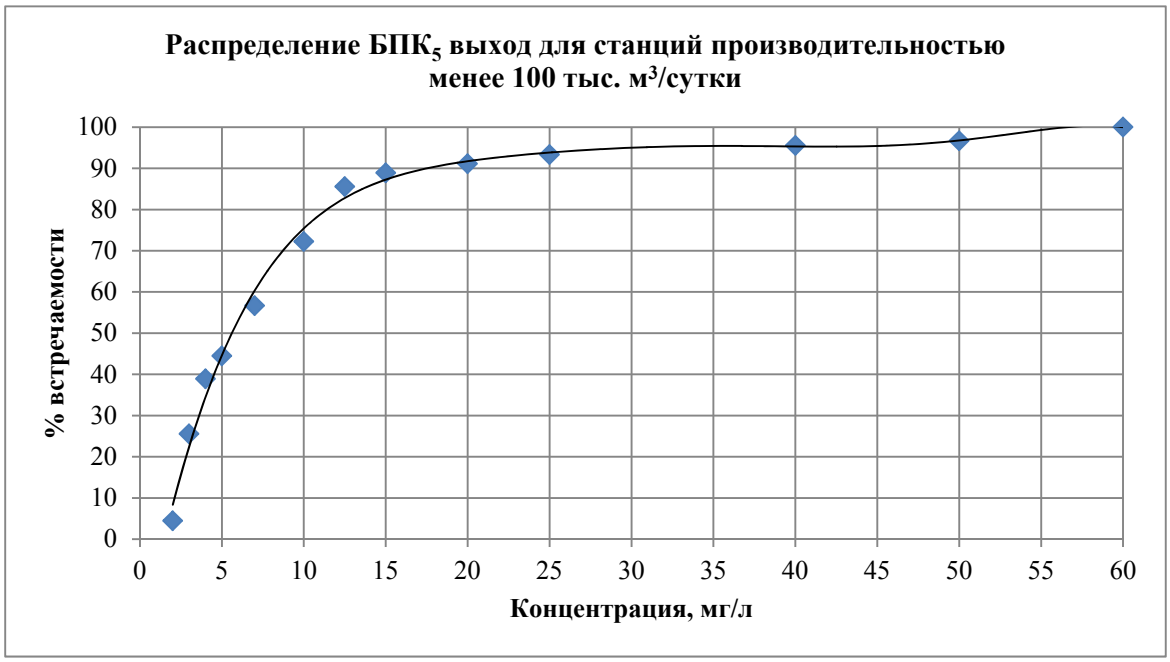

Рис. 36. Распределение $БПК_5$ выход для станций производительностью менее 100 тыс. $м^3$/сутки.

От 30 до 40% сооружений обеспечивают качество чистки по $БПК_5$ менее 5-6 мг/л, что связано в основном с существенной недогрузкой сооружений. Качество очистки до 10 мг/л обеспечивается надежно на 60-80% сооружений и может быть принято как

`

хорошая цифра для работы с вторичными отстойниками. Проектное качество очистки до 15 мг/л, обеспечивается на 85% станций производительностью до 100 тыс. м^3/сутки и более, чем на 95 % сооружений производительностью 100-300 тыс. м^3/сутки. На крупных станциях так же 85% сооружений обеспечивают очистку до 15 мг/л.

На рис. 37-39 передавлены распределения качества очистки по ХПК.

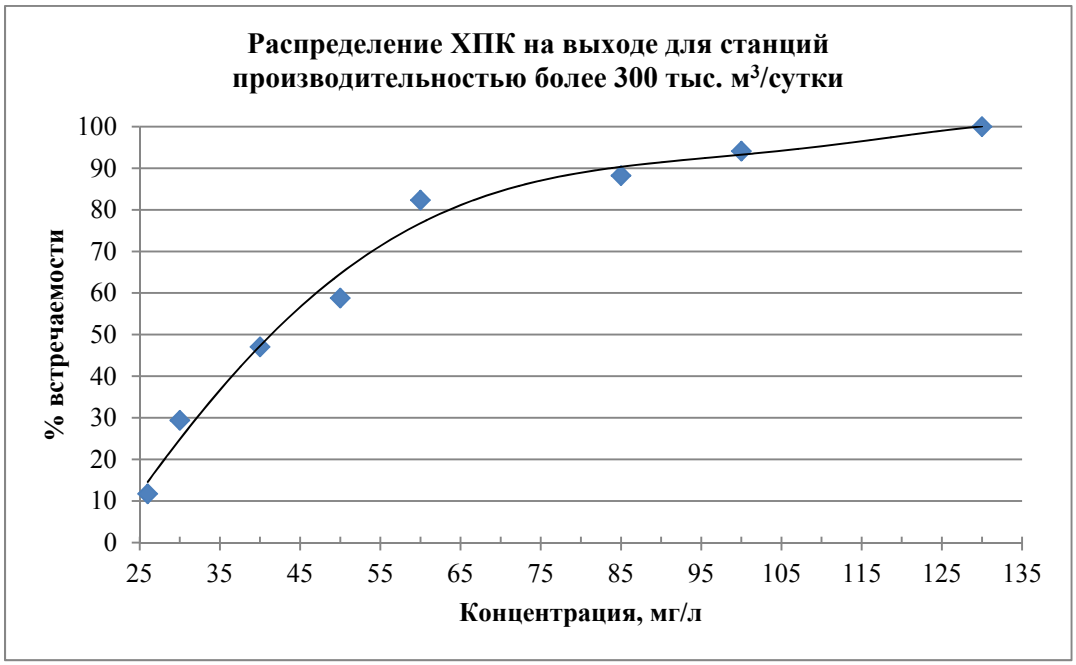

Рис. 37. Распределение ХПК на выходе для станций производительностью более 300 тыс. м^3/сутки.

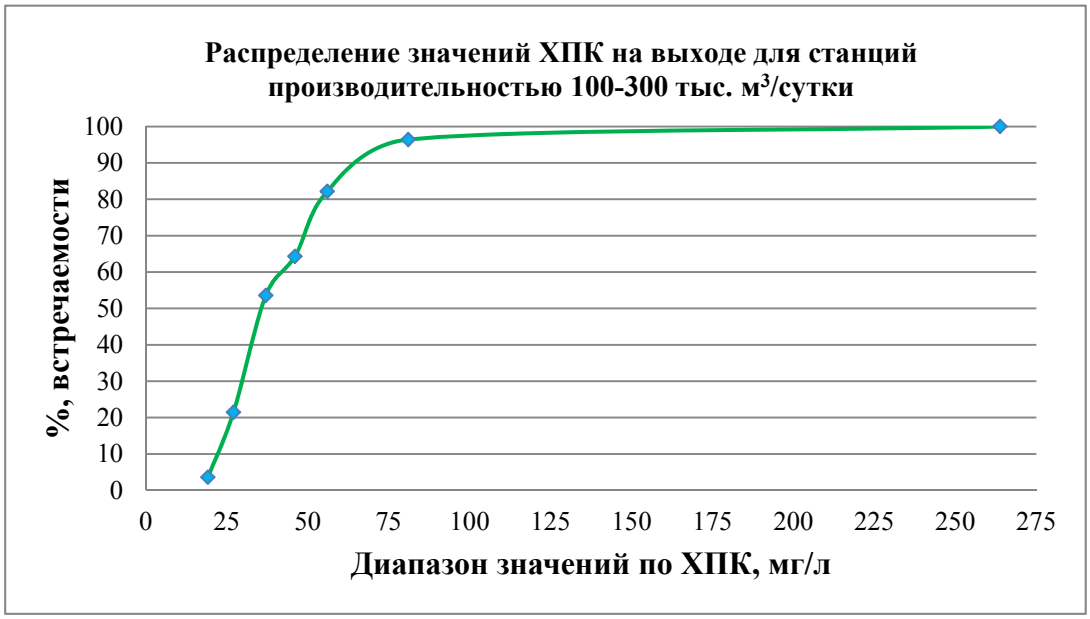

Рис. 38. Распределение значений ХПК на выходе для станций производительностью 100-300 тыс. м^3/сутки.

На рис.38 точка со значением ХПК=264 мг/л соответствует станции, не имеющей биологической очистки.

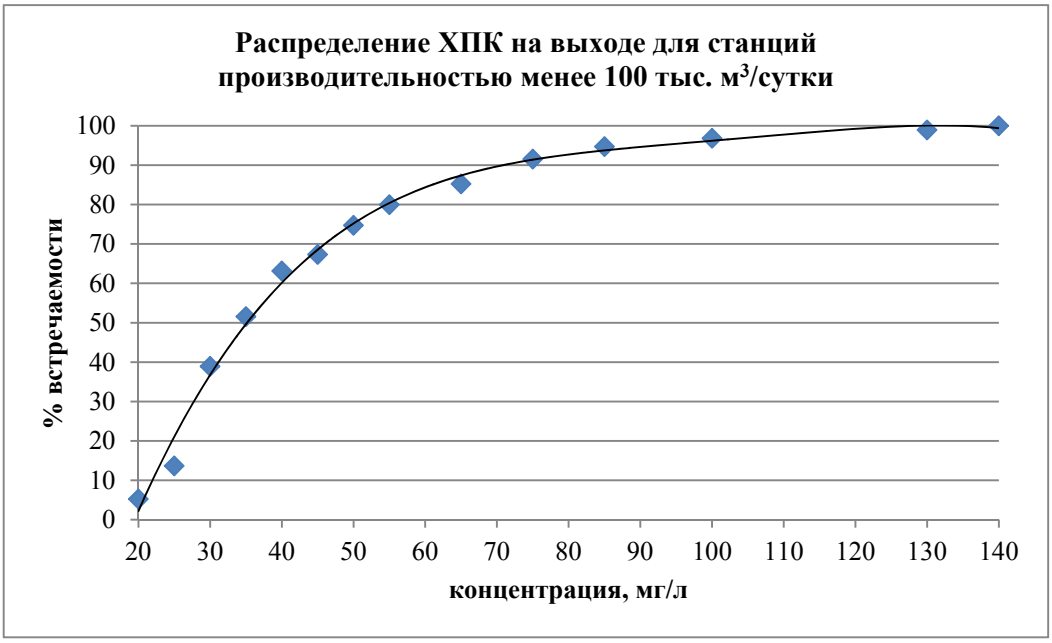

Рис. 39. Распределение ХПК на выходе для станций производительностью менее 100 тыс. $м^3$/сутки.

Для всех станций наблюдается существенный разброс значений ХПК в очищенной воде. При этом основной диапазон величины ХПК составляет от 30 до 60 мг/л. В отличие от взвешенных веществ и $БПК_5$ величина ХПК зависит не только от глубины очистки по органическим веществам, но и от состава исходной воды – бионеокисляемой части ХПК, которая и дает дополнительный разброс ХПК в очищенной воде.

На рис. 40-42 представлены распределения форм азота в очищенной воде для крупных станций.

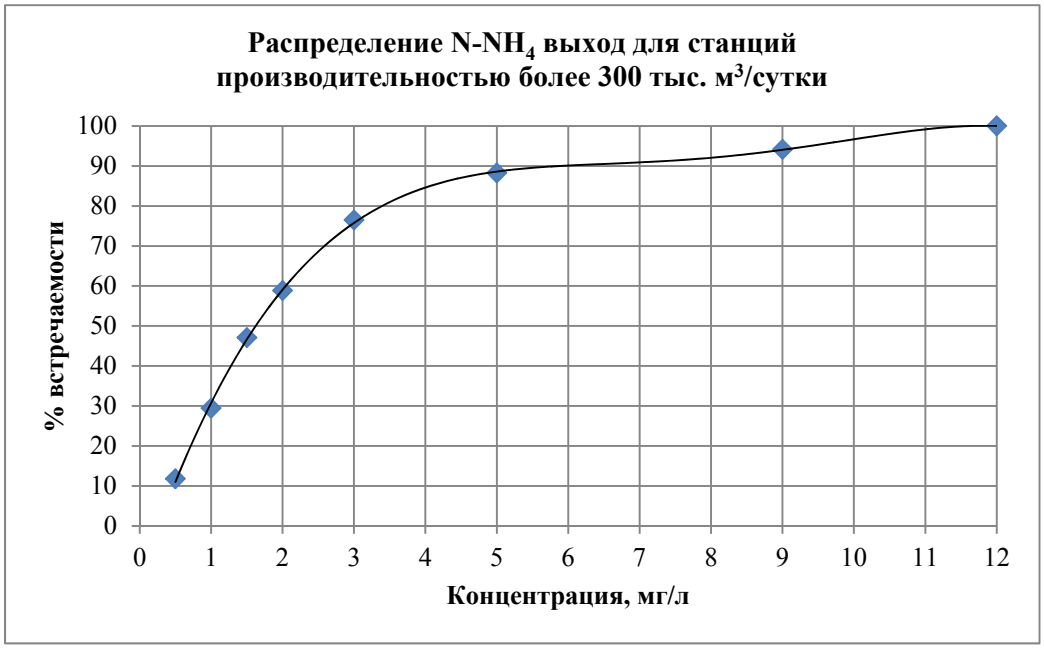

Рис. 40. Распределение $N\text{-}NH_4$ выход для станций производительностью более 300 тыс. $м^3$/сутки.

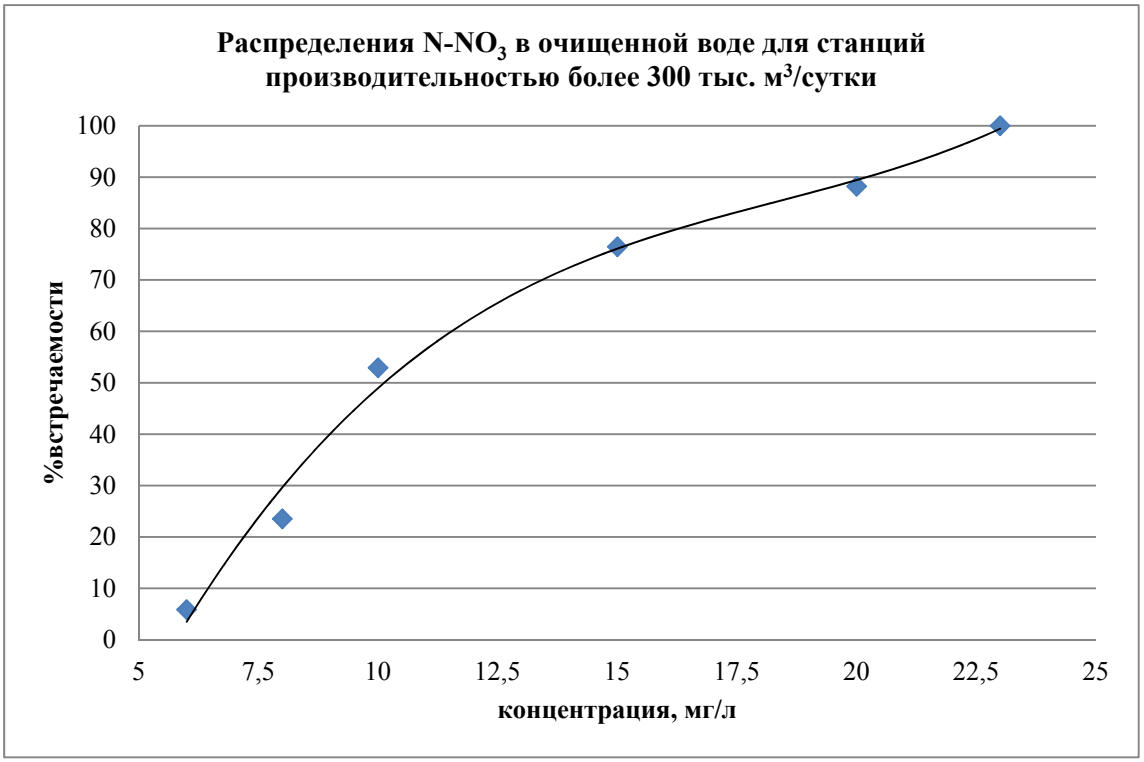

Рис. 41. Распределения азота нитратов в очищенной воде для станций производительностью более 300 тыс. $м^3$/сутки.

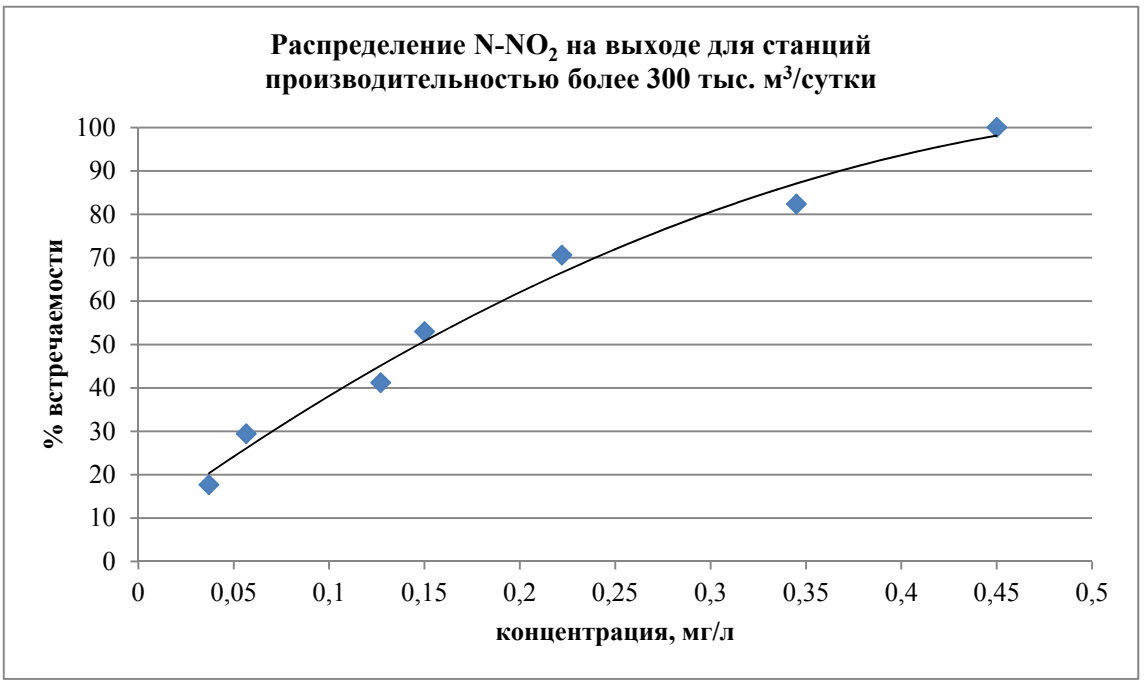

Рис. 42. Распределение $N\text{-}NO_2$ на выходе для станций производительностью более 300 тыс. $м^3$/сутки.

Анализ форм азота показывает, что при наиболее распространенном входе 25-35 мг/л по аммонийному азоту сумма форм азота на выходе в 80% случаев составляет до 18 мг/л. Т.е. на большинстве станций настроен режим частичной денитрификации, что как правило достигается созданием зон с низкой концентрацией кислорода. При этом только 10% станций обеспечивают нитрификацию менее 1 мг/л. В основном нитрификация

`

проходит до уровня 1-3 мг/л. Достаточно высокие концентрации аммонийного азота могут объясняться использованием регенератов и снижением концентрации кислорода для уменьшения азота нитратов. Так же при неполной нитрификации наблюдается значительный разброс концентраций азота нитритов от 0,05 до 0,5 мг/л, что хорошо соответствует теории процесса нитрификации.

На рис. 43-45 представлены распределения форм азота для станций производительностью 100-300 м^3/сутки.

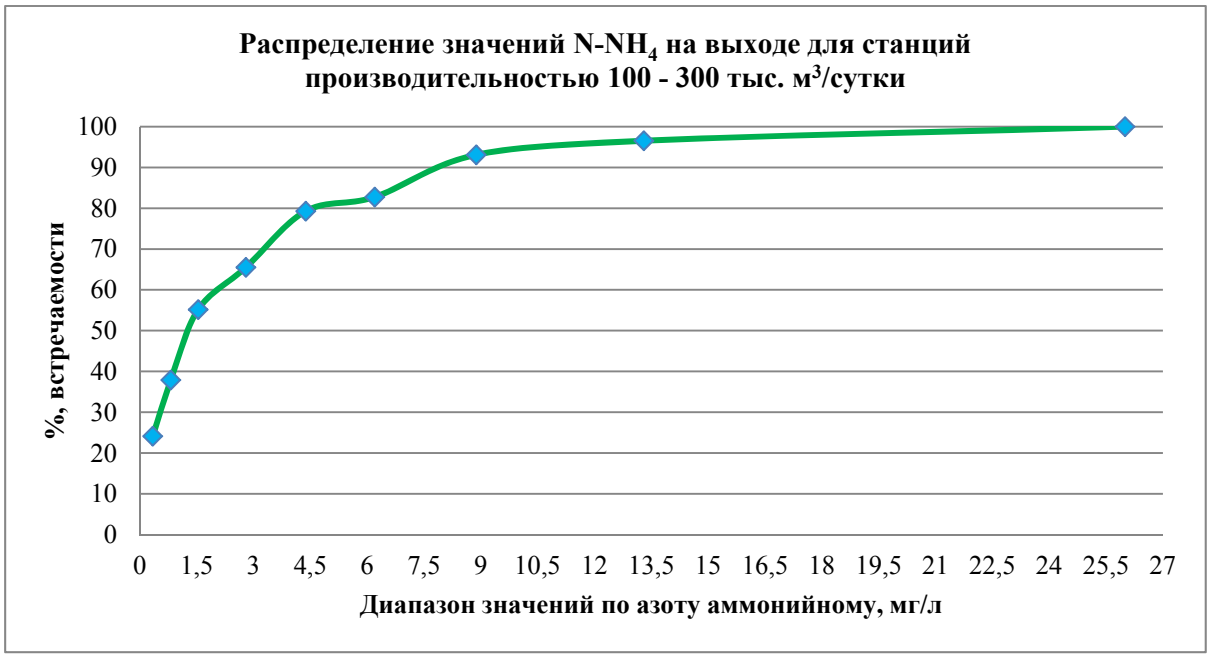

Рис. 43. Распределение значений N-NH_4 на выходе для станций производительностью 100 - 300 тыс. м^3/сутки.

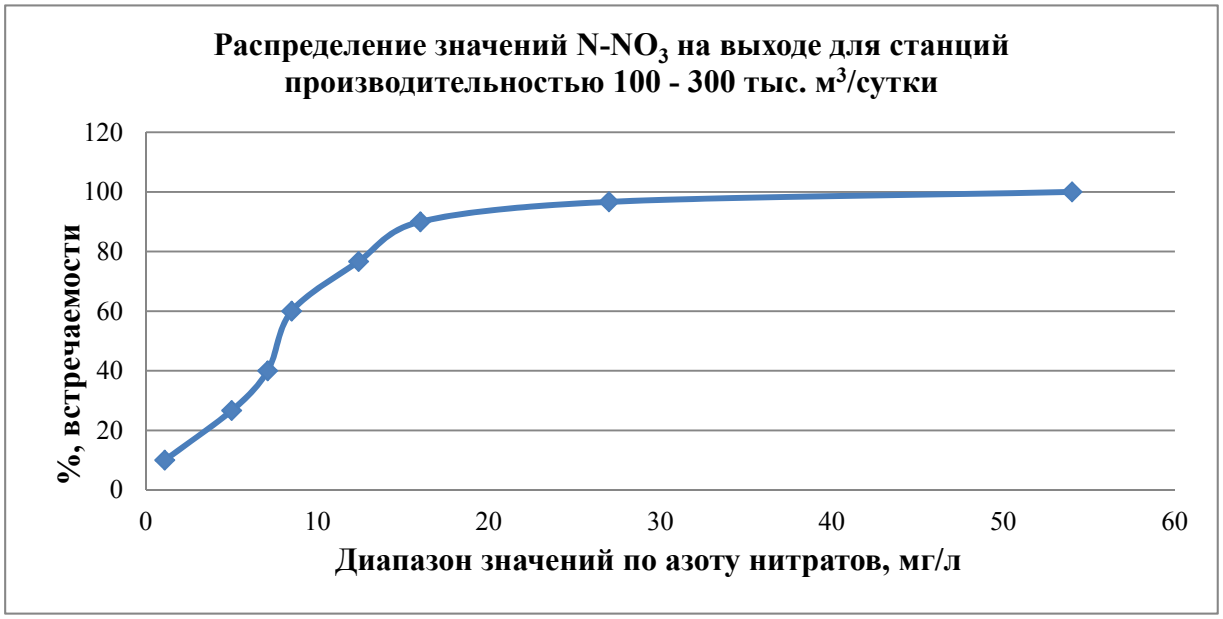

Рис. 44. Распределение значений N-NO_3 на выходе для станций производительностью 100 - 300 тыс. м^3/сутки.

Рис. 45. Распределение значений $N\text{-}NO_2$ на выходе для станций производительностью 100 -300 тыс. $м^3$/сутки.

Глубокая нитрификация до концентрации азота аммонийного менее 1 мг/л наблюдается на 20% станций, до 3 мг/л – на 65% сооружений. При этом концентрации азота нитратов менее 10 мг/л так же достигаются на 65% сооружений. Т.е. так же как и на крупных станциях, значительная часть сооружений работает с частичным удалением азота. Диапазон разброса концентраций нитритов в данном случае еще значительней от 0,008 до 0,9 мг/л.

На рис. 46-48 представлены распределения форм азота для станций производительностью менее 100 тыс. $м^3$/сутки.

Здесь так же при анализе баланса форм азота можно сделать вывод, что часть сооружений работает с частичной денитрификацией. Нитрификация до 1 мг/л проходит на 45% сооружений, а до 3 мг/л на 70% сооружений.

Концентрация азота нитритов в очищенной воде в основном диапазоне от 0,05 до 0,4 мг/л.

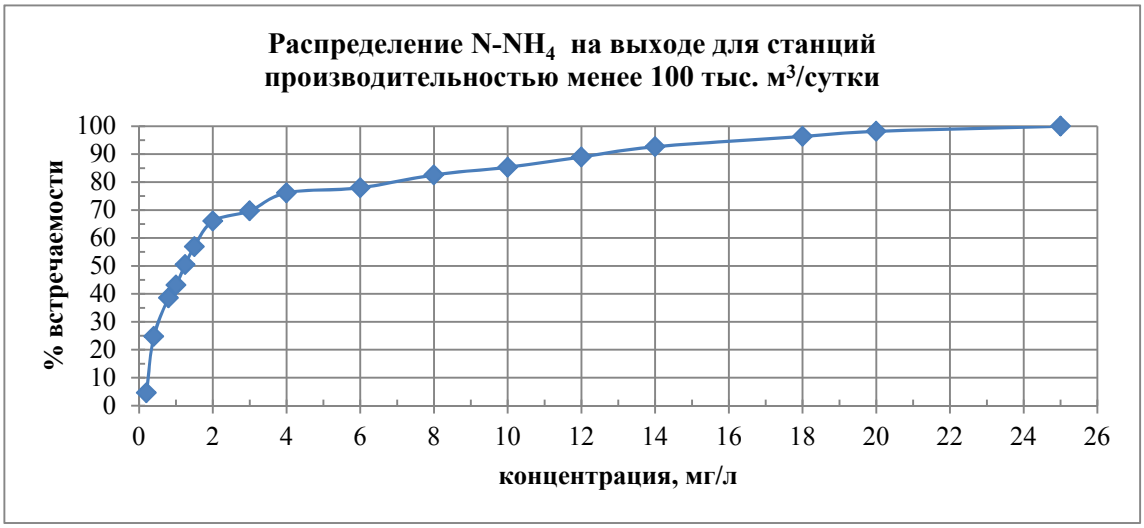

Рис. 46. Распределение $N\text{-}NH_4$ на выходе для станций производительностью менее 100 тыс. $м^3$/сутки.

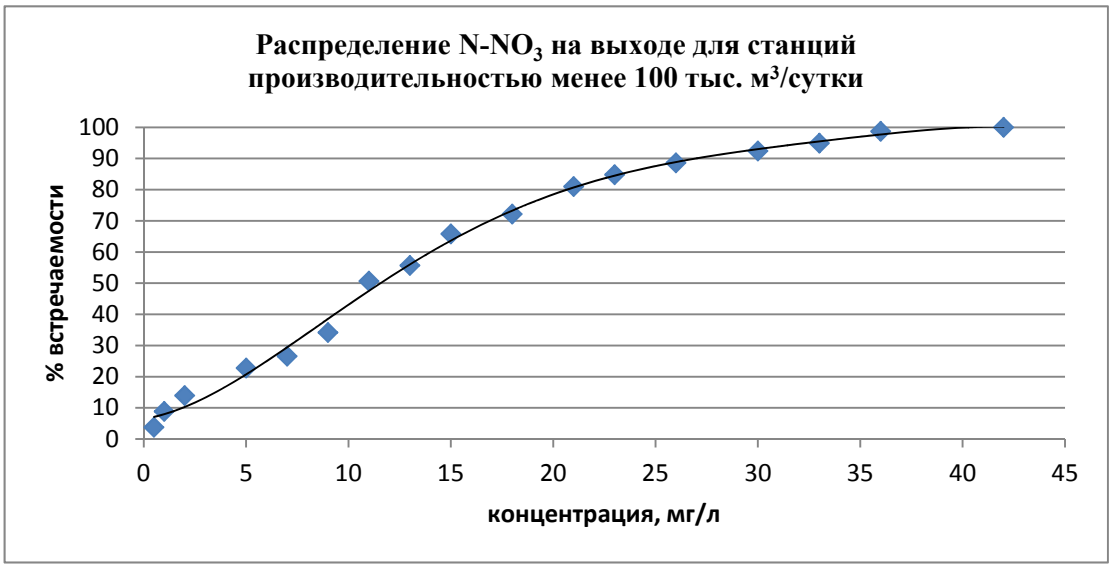

Рис. 47. Распределение $N\text{-}NO_3$ на выходе для станций производительностью менее 100 тыс. $м^3$/сутки.

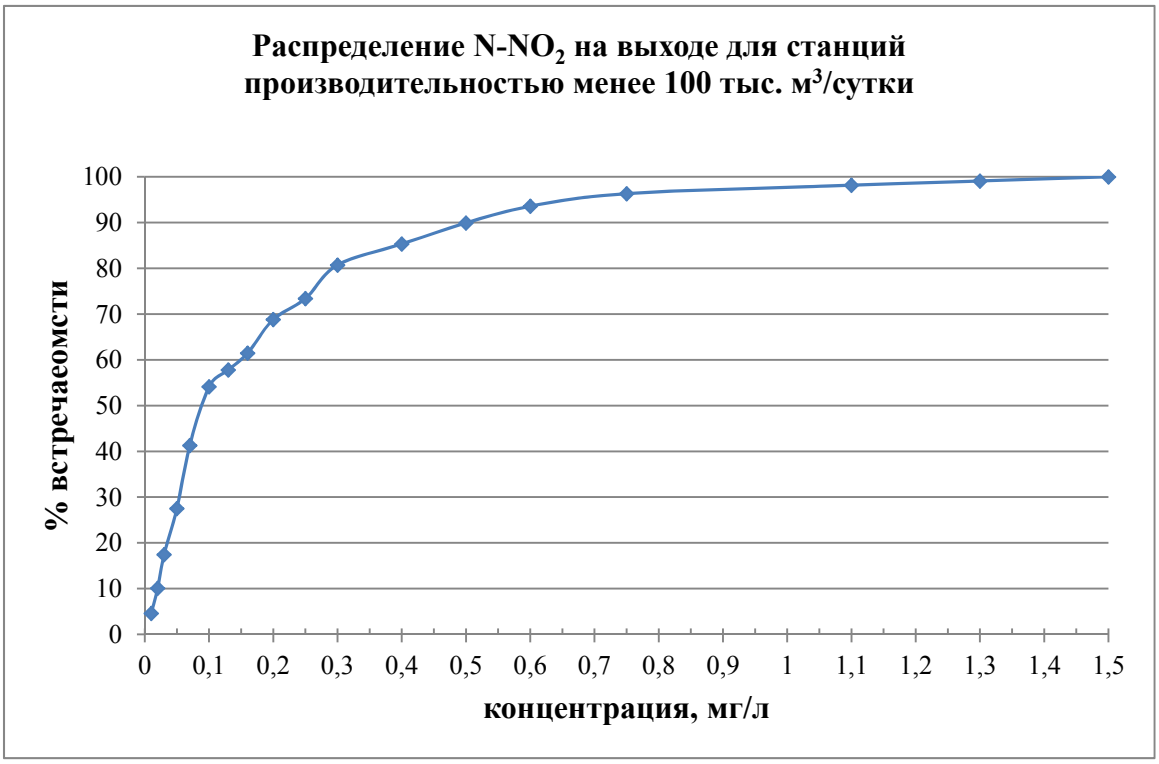

Рис. 48. Распределение $N\text{-}NO_2$ на выходе для станций производительностью менее 100 тыс. $м^3$/сутки.

Для более полного анализа удаления азота были проанализированы данные по эффективности удаления общего азота. Данные представлены на рис. 49 – 51.

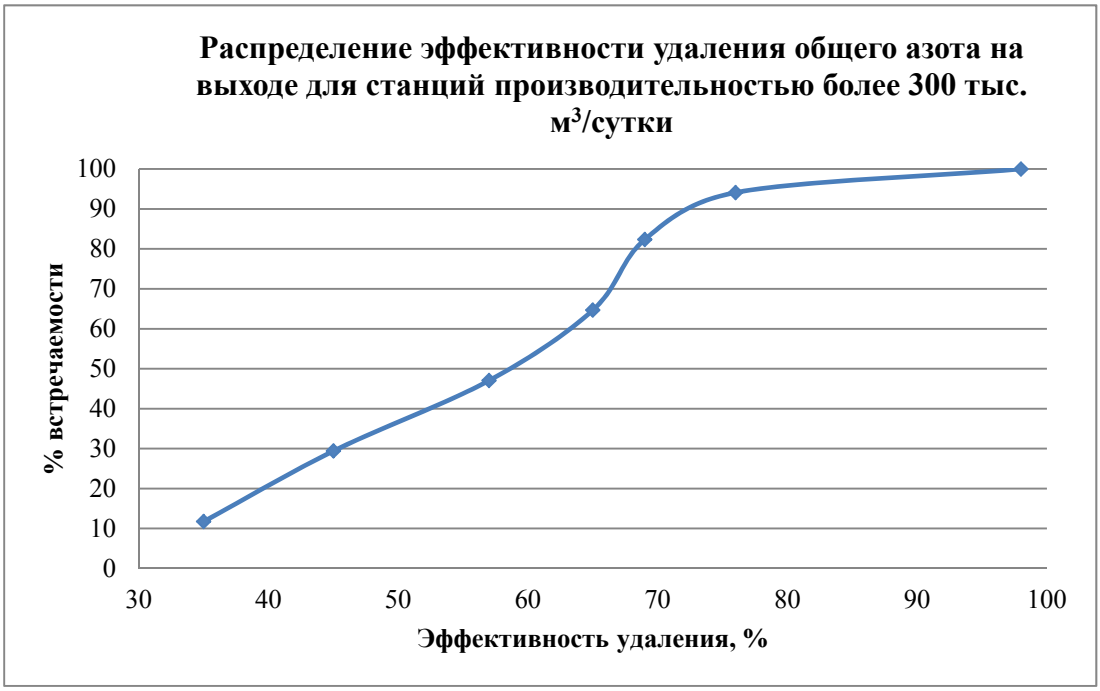

Рис. 49. Распределение $N\text{-}NH_4$ на выходе для станций производительностью более 300 тыс. $м^3$/сутки.

Среди рассмотренных станций, производительностью более 300 тыс. $м^3$/сутки, процесс денитрификации внедрен на 20,5% очистных сооружениях.

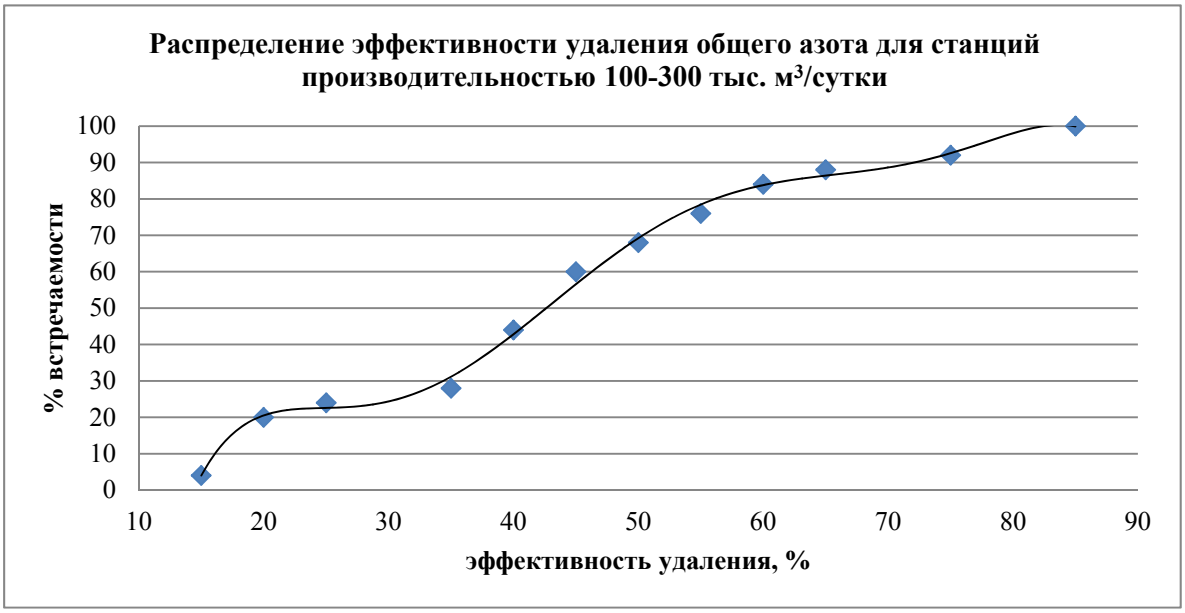

Рис. 50. Распределение эффективности удаления общего азота для станций производительностью 100-300 тыс. $м^3$/сутки.

Среди рассмотренных станций, производительностью от 100 – 300 тыс. $м^3$/сутки, процесс денитрификации внедрен на 16% очистных сооружениях.

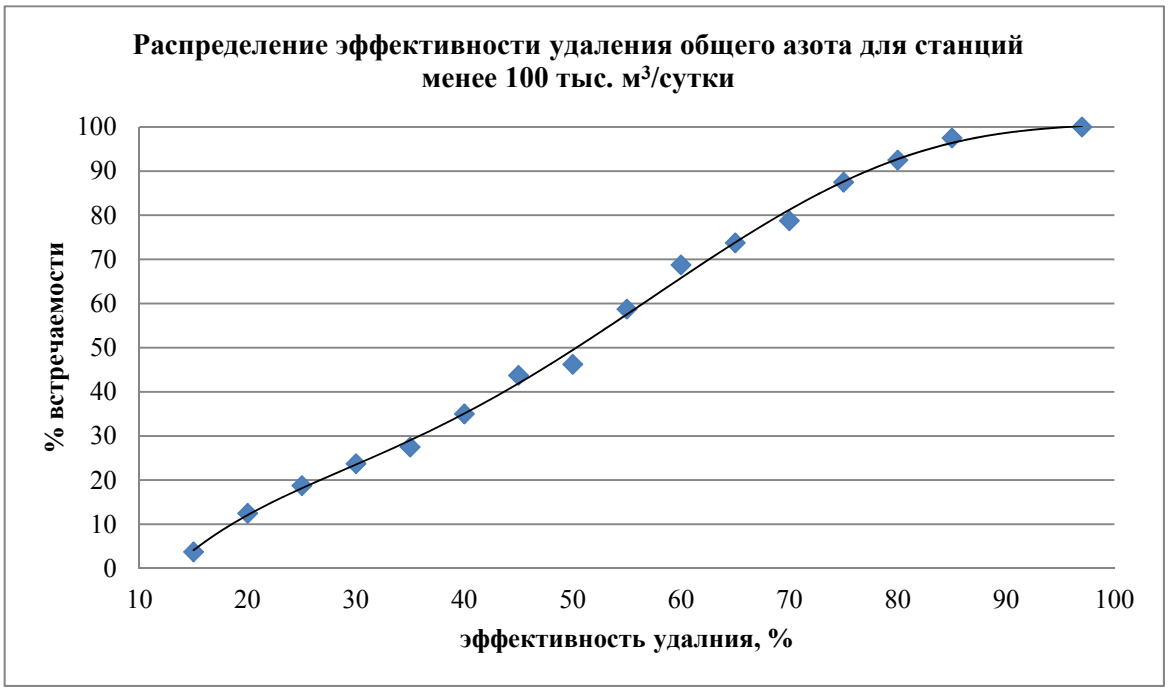

Рис. 51. Распределение эффективности удаления общего азота для станций менее 100 тыс. $м^3$/сутки.

Среди рассмотренных станций, производительностью менее 100 тыс. $м^3$/сутки, процесс денитрификации внедрен на 13,8% очистных сооружениях.

Поскольку химический анализ на общий азот не выполняется на большинстве станций, то для исследования эффективности удаления общего азота было принято, что общий азот на входе составляет 1,25 азота аммонийного, а на выходе равен сумме минеральных форм азота + 1 мг растворенного азота органического.

Часть станций работает с удалением общего азота до 35%, что соответствует потреблению азота на прирост ила. Сооружения денитрификации на большинстве станций обеспечивают удаление азота более 65%, а процент встречаемости высокой эффективности удаления азота в принципе соответствует количеству станций с внедрённым процессом денитрификации.

60 – 70% всех сооружений работают с удалением азота от 35 до 65%, т.е. в условиях самопроизвольной или налаженной денитрификации путем изменения кислородного режима.

Возникновение денитрификации на станциях, где технология удаления азота не внедрялась объясняется возникновением зон с малой концентрацией кислорода, особенно в начале аэротенков в результате устаревших раскладок аэрационных систем и отсутствием контроля концентрации кислорода по длине сооружений. В комплексе с существенной недогрузкой сооружений при этом возникают условия, способствующие нитри-денитрификации. Нельзя исключать, что на ряде станций такие условия создаются технологами сознательно, что позволяет осуществлять удаление азота.

В целом, поводя итоги, при рассмотрении форм азота в очищенной воде следует отметить, что на многих станциях достигается частичное удаление азота благодаря наличию зон с низкими концентрациями кислорода. Азот аммонийный в основном составляет до 3 мг/л, а азот нитритов достаточно надёжно удаляется до величины 0,3-0,4 мг/л.

На рис. 52-54 представлены распределения концентраций фосфора фосфатов в очищенной воде.

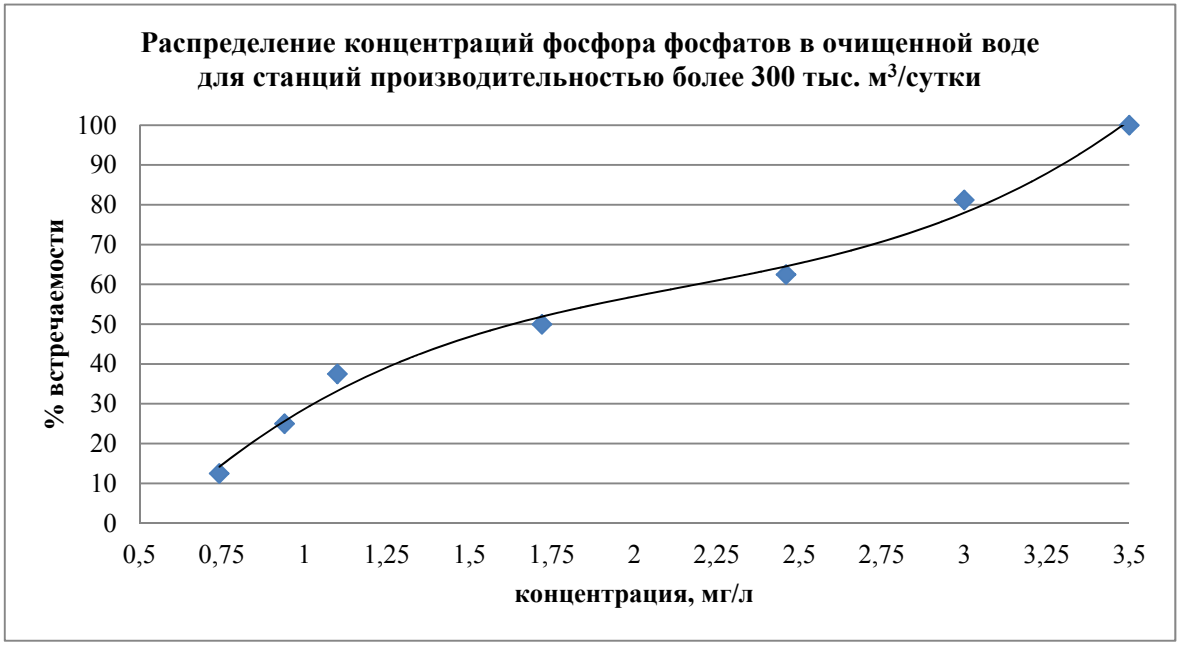

Рис. 52. Распределение P-PO_4 в очищенной воде для станций производительностью более 300 тыс. $м^3$/сутки.

Рис.53. Распределение P-PO_4 в очищенной воде для станций производительностью от 100 – 300 тыс. $м^3$/сутки.

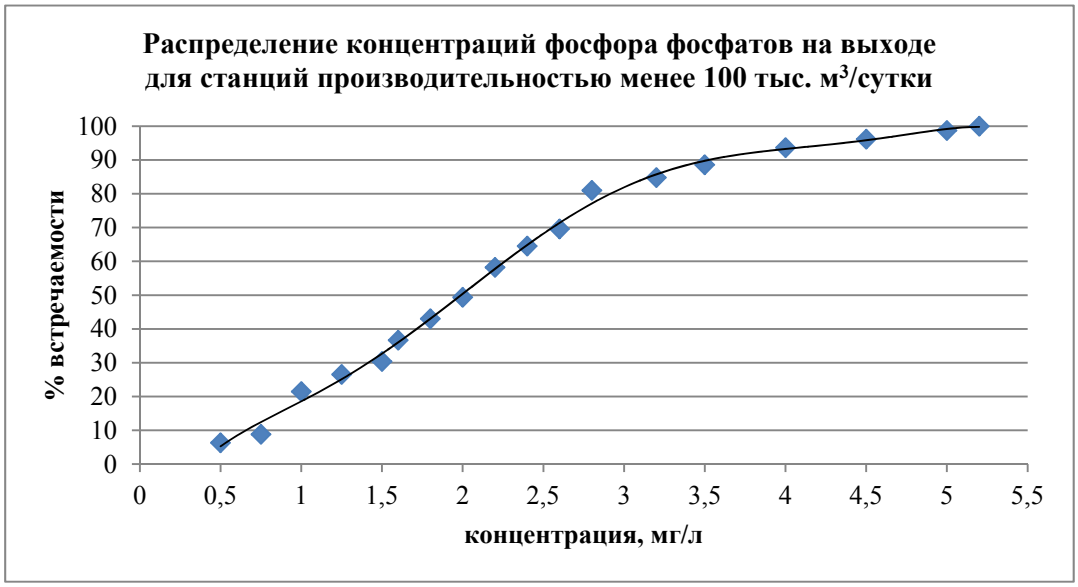

Рис. 54. Распределение $P\text{-}PO_4$ в очищенной воде для станций производительностью менее 100 тыс. $м^3$/сутки.

Надо отметить, что технологией удаления фосфора оснащено от 8 до 10% сооружений, а концентрации фосфора фосфатов менее 1 мг/л достигают на 20% сооружений. В целом такой эффект вызывает определённые сомнения, хотя в ряде случаев удаление фосфора может происходить на необорудованных для этого очистных сооружениях, например, при сбросе в сеть значительного количества железа или алюминия с водопроводными осадками. На остальных 80% сооружений необходимо улучшать технологию с переходом на удаление фосфора.

Потребление энергии на очистку стоков

В данном разделе оценивается потребление энергии на процесс аэрации, которое составляет от 60 до 80% потребления энергии на процесс очистки. Данную величину можно дополнительно проверить по удельному расходу воздуха, маркам и количеству работающих воздуходувок.

Для понимания полученных величин – затрат энергии на эквивалент потребности в кислороде (4,6 $N\text{-}NH_4$ + $БПК_5$) рассмотрим затраты энергии в идеальных условиях – эффективность аэраторов 6% на метр глубины, глубина аэротенков 5,5 м, удельные затраты на подачу воздуха 0,022 кВт/$м^3$ характерные для воздуходувок серии Н, установленных на большинстве крупных станций.

Для очистки стоков без денитрификации с концентрацией кислорода 2 мг/л в данных условиях должно потребляться 0,4 кВт/кг, без денитрификации в условиях лимита по кислороду – 0,5 мг/л – 0,34 кВт/кг, с денитрификацией и концентрацией кислорода – 2 мг/л – 0,29 кВт/кг, и при денитрификации и лимите кислорода до 0,25 кВт/кг.

На рис. 55 представлен расход энергии на кислородный эквивалент для крупных станций.

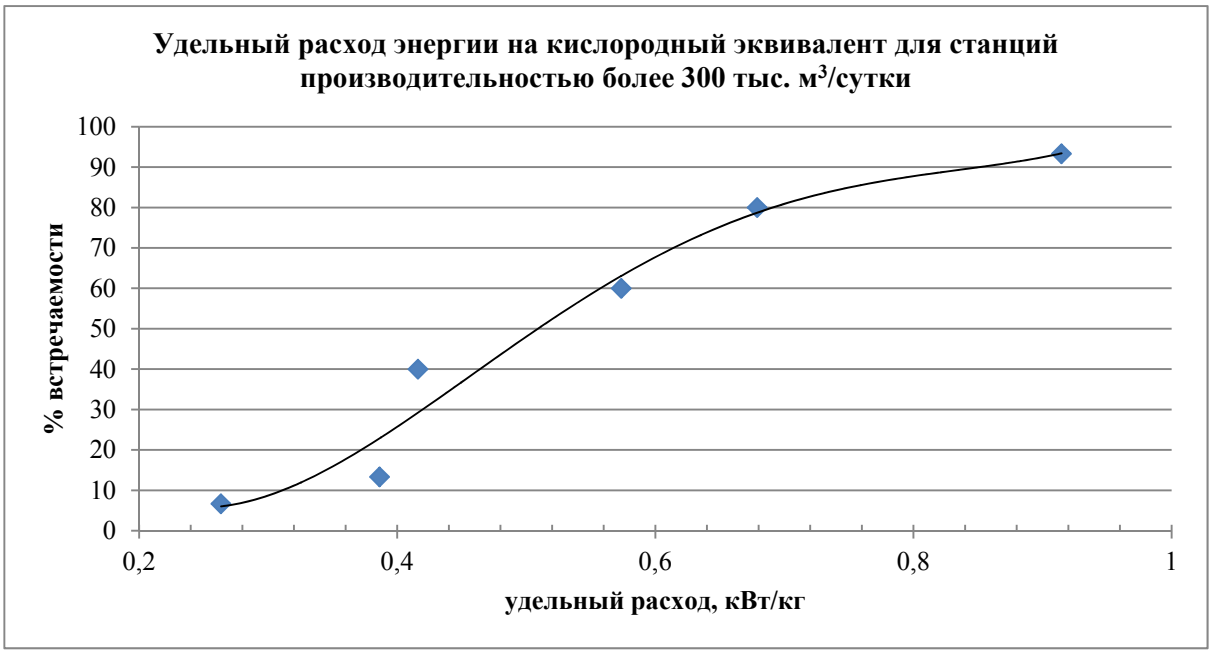

Рис. 55. Удельный расход энергии на кислородный эквивалент для станций производительностью более 300 тыс. м^3/сутки.

До 40% крупных станций работают в энергоэффективном режиме с удельными расходами близкими к расчётным параметрам. При этом 30% сооружений с расходами более 0,6 кВт/кг нуждаются в улучшении технологии аэрации.

На рис. 56 представлено аналогичное распределение для станций производительностью 100-300 тыс. м^3/сутки.

Рис. 56. Удельный расход энергии на кислородный эквивалент для станций производительностью 100-300 тыс. м^3/сутки.

Здесь так же около 35% сооружений работают с хорошими энергетическими показателями, однако перерасходы энергии для 30% сооружений весьма существенны.

Еще хуже картина энергоэффективности процесса очистки для станций производительностью менее 100 тыс. м^3/сутки – рис. 57. Практически для большинства сооружений характерно высокое потребление энергии, причем значения могут на порядок и более отличатся от оптимальных. Основная причина этого невозможность

`

уменьшить расход воздуха в условиях недогрузки станции. Взаимосвязь нагрузки на станцию и расхода энергии представлена ни рис. 58. Хорошо видно, что в условиях недогрузки, когда необходимо оставить в работе менее 1 воздуходувки возникают весьма существенные перерасходы энергии.

Для реализации существенного потенциала повышения энергоэффективности на станциях производительностью менее 100 тыс. м^3 /сутки потребуется замена воздуходувок в соответствии с реальными расходами сточных вод.

Рис. 57. Удельный расход электроэнергии на кислородный эквивалент для станций производительностью менее 100 тыс. м^3 /сутки.

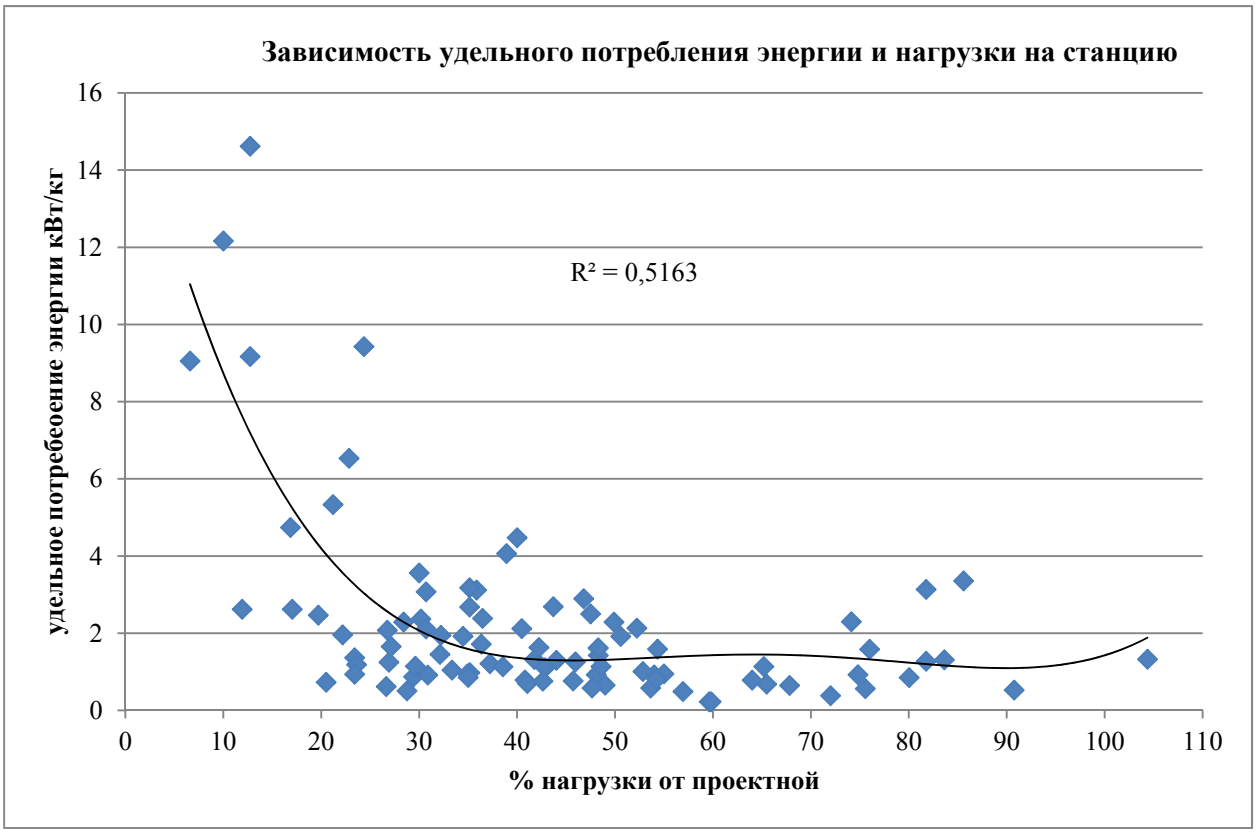

Рис. 58. Зависимость удельного потребления энергии и нагрузки на станцию.

Оценка работы сооружений по ИПКО

Для комплексной оценки работы станций очистки было проведено исследование их работы с применением ИПКО – интегрального показателя качества очистки. Интегральный показатель качества очистки основан на соотношении концентраций загрязнённей в очищенной воде и целевых значений этих концентраций. При этом учитываются только концентрации тех веществ, на которые можно влиять при проектировании и эксплуатации станции – т.е. взвешенные вещества, $БПК_5$, ХПК, азот аммонийный, азот нитратов, азот нитритов, фосфор фосфатов, хотя по показателю ХПК возможность влияния относительна.

$$ИПКО = \sum_i^n \frac{C_i}{C_{цтп\ i}},$$

Согласно формуле расчета, при 7-ми задействованных показателях в соответствии с качеством очистки ЦТП величина ИПКО составит 7,0 баллов. При расчётах использовались целевые показатели, представленные в таблице №2.

Таблица 2. Целевые технологические показатели ОС ГСВ.

Показатель	**Значение ($C_{цтп\ i}$), мг/л**
Взвешенные вещества	5
БПК5	3
ХПК	30
Азот аммонийных солей	1
Азот нитратов	8
Азот нитритов	0,1
Фосфор фосфатов	0,5

`

На рис. 59 представлено распределение ИПКО для всех станций. Учитывая технологические взаимосвязи показателей, полученные результаты предлагается классифицировать по шкале, представленной в таблице №3.

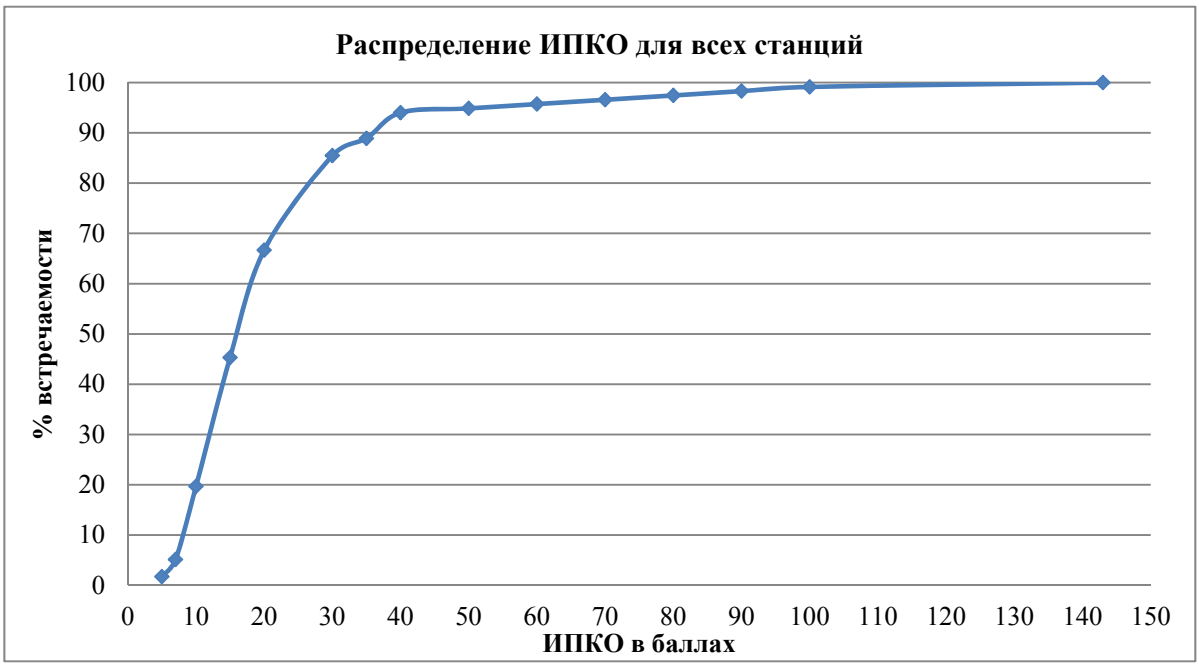

Рис. 59. Распределение интегрального показателя качества очистки (ИПКО) для всех станций очистки.

Таблица 3. Общая оценка уровня очистки по ИПКО.

Значение ИПКО	% встречаемости	Оценка	Комментарии
7 и менее	6,84	отлично	В комплексе достигается целевой уровень очистки
До 10	12,82	очень хорошо	Имеются незначительные превышения целевых показателей
До 15	25,64	хорошо	Имеются превышения целевых показателей при хорошем уровне очистки
До 30	40,17	удовлетворительно	Имеются существенные превышения целевых показателей. Станции нуждаются в улучшении технологии.
Более 30	14,53	неудовлетворительно	Плохой уровень очистки. Станции нуждаются в первоочередном улучшении технологии.

Исходя из таблицы 3, около 40% станций нуждаются в улучшении технологии очистки, и до 15% станций срочно нуждаются в изменении технологии и, возможно, в комплексе пусконаладочных работ.

На рис. 60 – 62 представлена оценка по ИПКО с разбиением станций по производительности.

Рис. 60. Распределение ИПКО для станций производительностью более 300 тыс. $м^3$/стуки.

Для крупных станций характерно, что до 48% станций по технологическим показателям можно характеризовать как хорошо работающие. Менее 5% станций – с неудовлетворительным уровнем очистки.

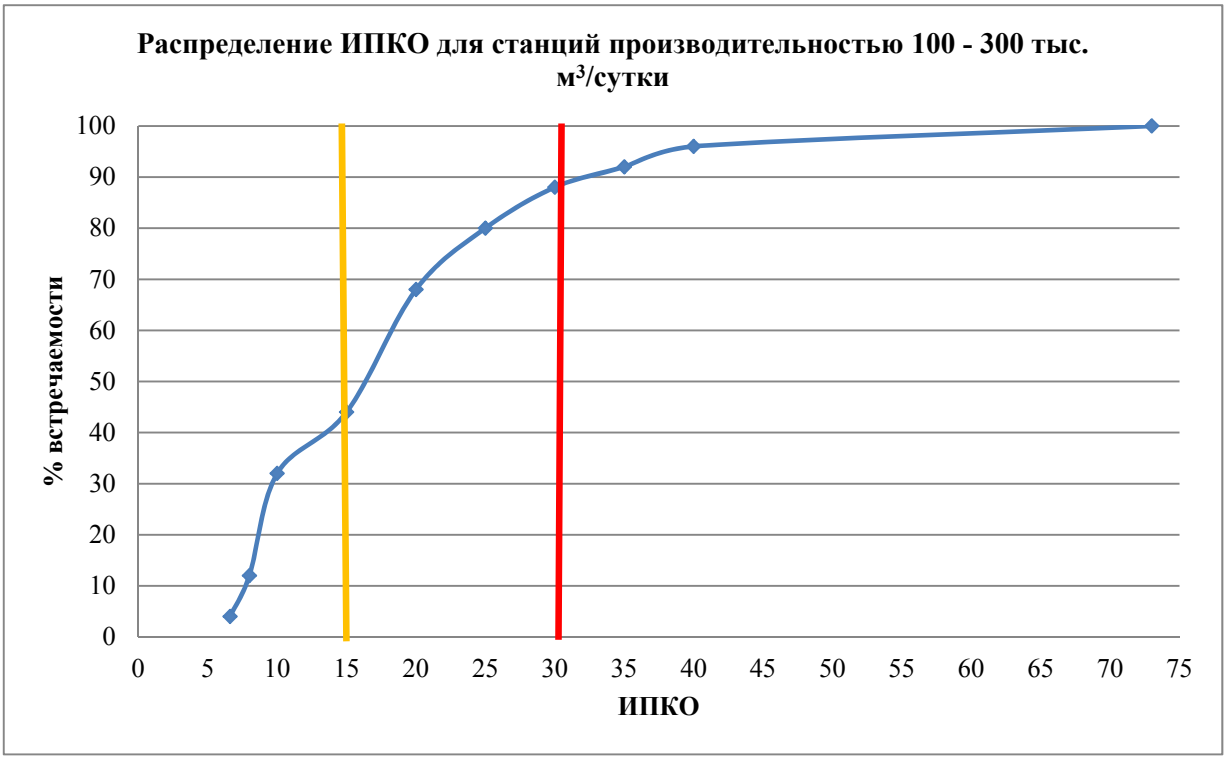

Рис. 61. Распределение ИПКО для станций производительностью 100 - 300 тыс. $м^3$/сутки.

`

Для станций производительностью 100 – 300 тыс. м^3/сутки количество станций уровень очистки, на которых может считаться хорошим, составляет 44%, а станций с неудовлетворительным уровнем очистки – уже до 11%.

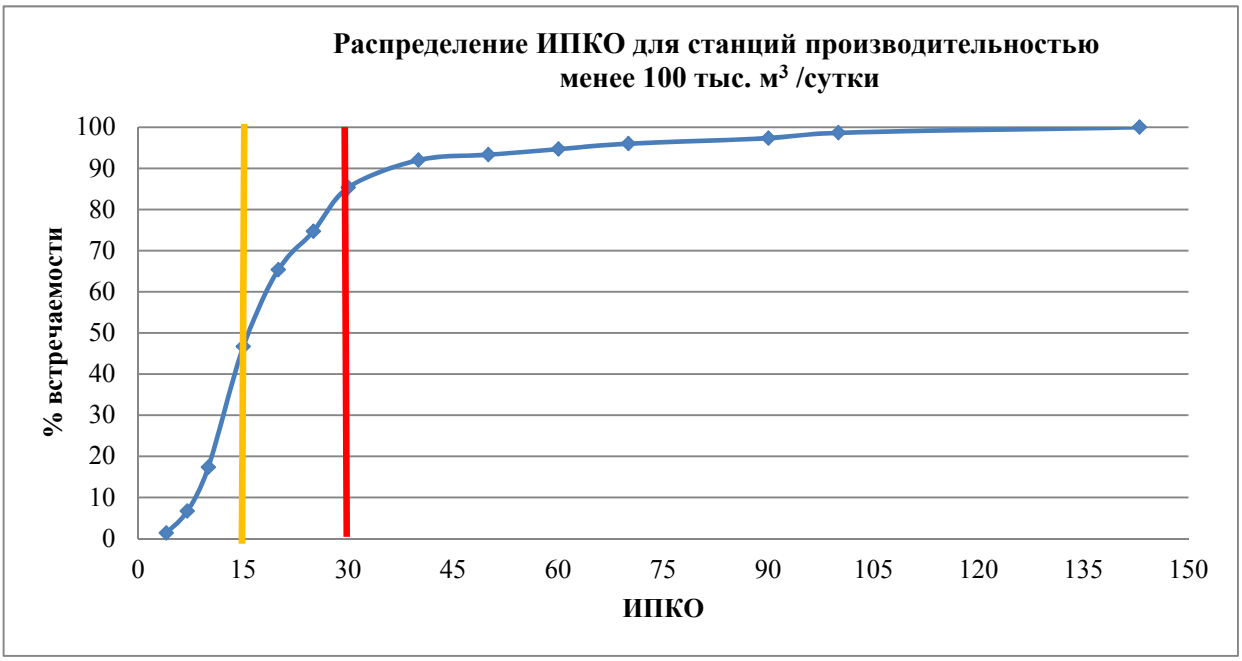

Рис. 62. Распределение ИПКО для станций производительностью менее 100 тыс. м^3 /сутки.

Для станции производительностью менее 100 тыс. м^3/сутки количество станций с хорошим уровнем очистки так же составляет около 45 %, но количество станции с неудовлетворительным уровнем очистки вырастает до 15%, причем уровень превышения интегрального показателя так же существенно возрастает.

Анализ данных оценки по ИПКО с разбиением станции по производительности показывает, что для всех станций до 45% сооружений достигают хорошего уровня очистки. При этом наилучшая ситуация наблюдается на крупных станциях, далее с уменьшением производительности растет % станции с неудовлетворительным уровнем очистки, причем так же существенно растет размер превышения показателя ИПКО.

Анализируя эти данные совместно с энергоэффективностью процесса очистки (предыдущий раздел) необходимо сделать вывод, что испытывающие наибольшие финансовые сложности станции средних и небольших городов производительностью менее 100 тыс. м^3/сутки наиболее нуждаются в первоочередном улучшении технологи и повышении энергоэффективности очистки.

Удаление техногенных загрязнений

В этом разделе представлены данные по содержанию и эффективности удаления техногенных загрязнений (условное наименование загрязнений, не характерных для бытовых загрязнений, проанализированных выше). Статистическая обработка проводилась по тем загрязняющим веществам, по которым присутствовала достаточная для анализа выборка. В нее не вошли хром и ртуть.

Техногенные загрязнения можно разделить на две группы - загрязнения, удаляемые биологическим путем – т.е. путём биологического окисления активным илом, и загрязнения, удаляемые за счет сорбции на хлопке ила, в первую очередь, за счет биофлокулянтов, вырабатываемых микроорганизмами активного ила.

`

Биоокисляемые техногенные загрязнения

Для первой группы в анализ вошли наиболее часто встречаемые вещества - нефтепродукты, сероводород, СПАВ, фенол. Все эти соединения характеризуются как токсичные окисляемые вещества. При малых концентрациях данные вещества окисляются активным илом, причем скорость окисления возрастает с концентрацией. При более высоких концентрациях скорость их окисления падает в соответствии с кинетическим уравнением Холдейна.

Зависимости эффективности удаления данных веществ от поступающей концентрации представлены на рис. 63 – 66.

Рис. 63. Эффективность удаления нефтепродуктов.

Рис. 64. Эффективность сероводорода на входе.

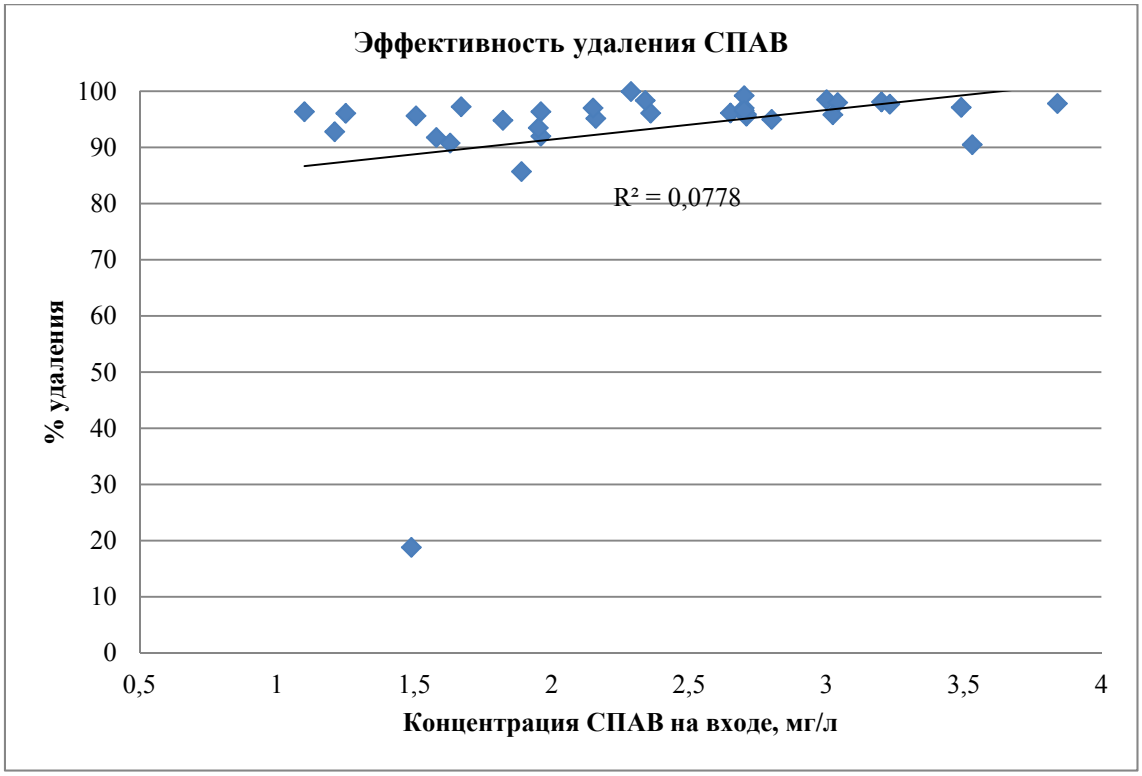

Рис. 65. Эффективность удаления СПАВ.

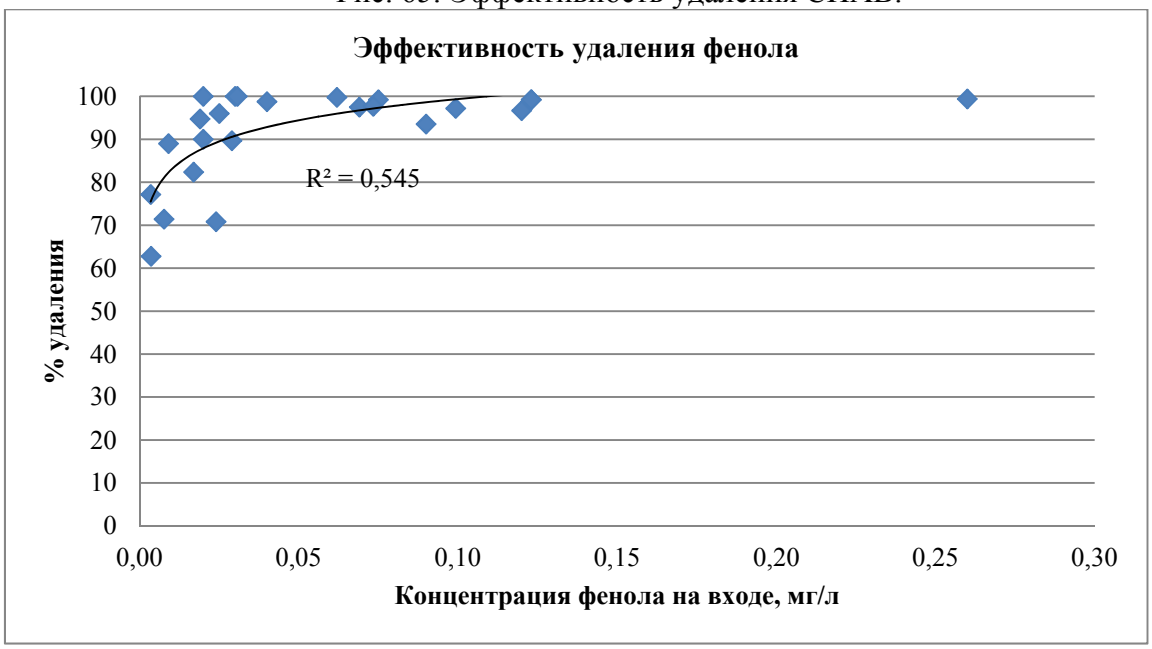

Рис. 66. Эффективность удаления фенола.

Представленные данные позволяют сделать следующие выводы:

- Все исследованные биоокисляемые вещества техногенного происхождения удаляются активным илом с высокой эффективностью, в основном диапазоне от 80 до 100%.
- Исследованные вещества в диапазонах концентраций, характерных для городских сточных вод, не проявляют токсичности – эффективность удаления имеет тенденцию к увеличению с увеличением концентрации поступающих веществ, до выраженной зависимости для фенола.

`

- На процесс окисления данных веществ, кроме их концентраций в поступающем стоке влияют другие, не установленные в данной работе факторы, о чем свидетельствует увеличение разброса эффективности удаления при снижении концентраций данных веществ в исходном стоке.

На рис. 67 – 70 представлены распределения концентраций биоокисляемых техногенных загрязнений в очищенной воде.

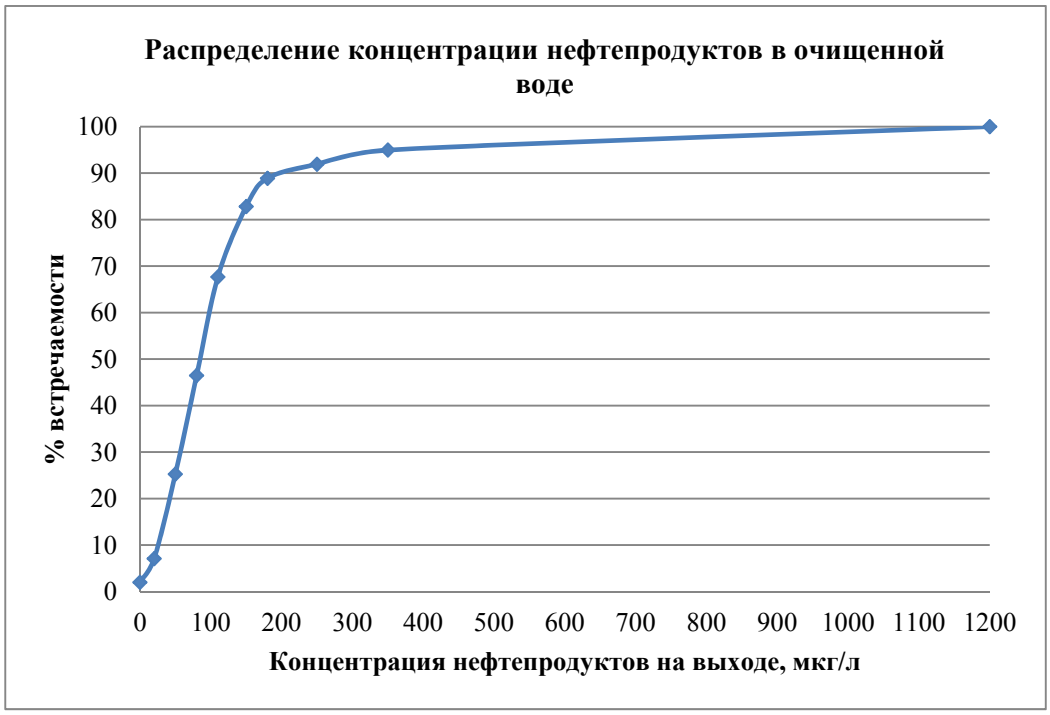

Рис. 67. Распределение концентрации нефтепродуктов в очищенной воде.

Рис. 68. Распределение концентрации сероводорода в очищенной воде.

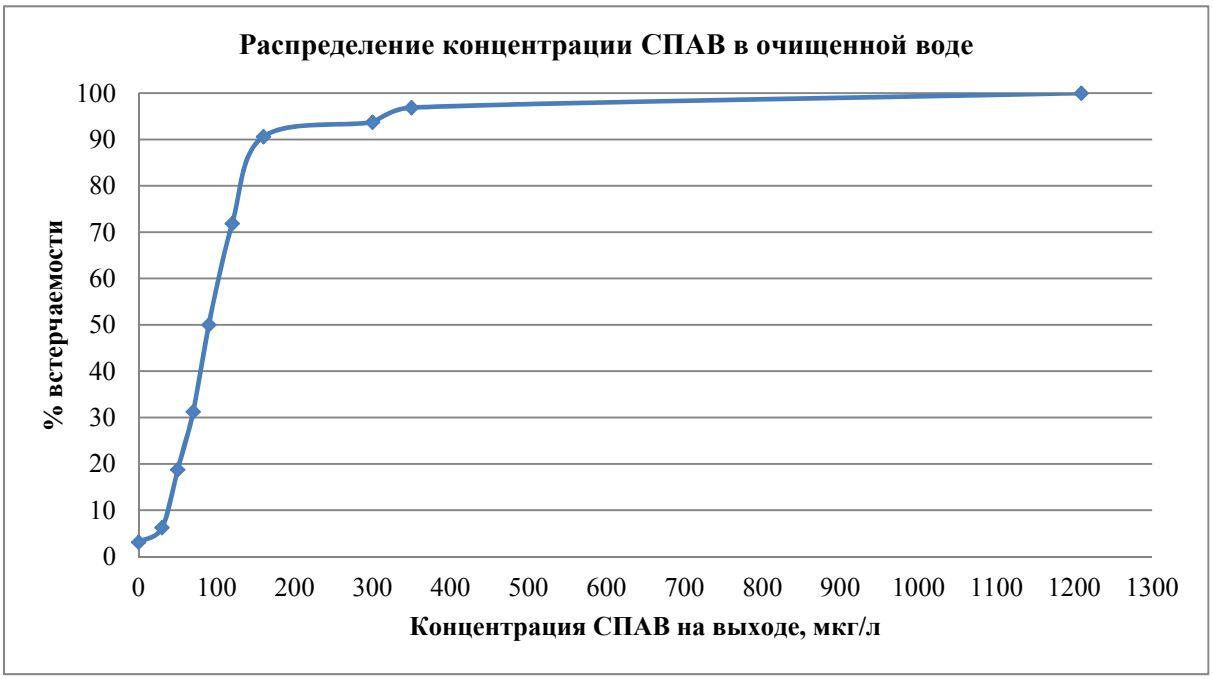

Рис. 69. Распределение концентрации СПАВ в очищенной воде.

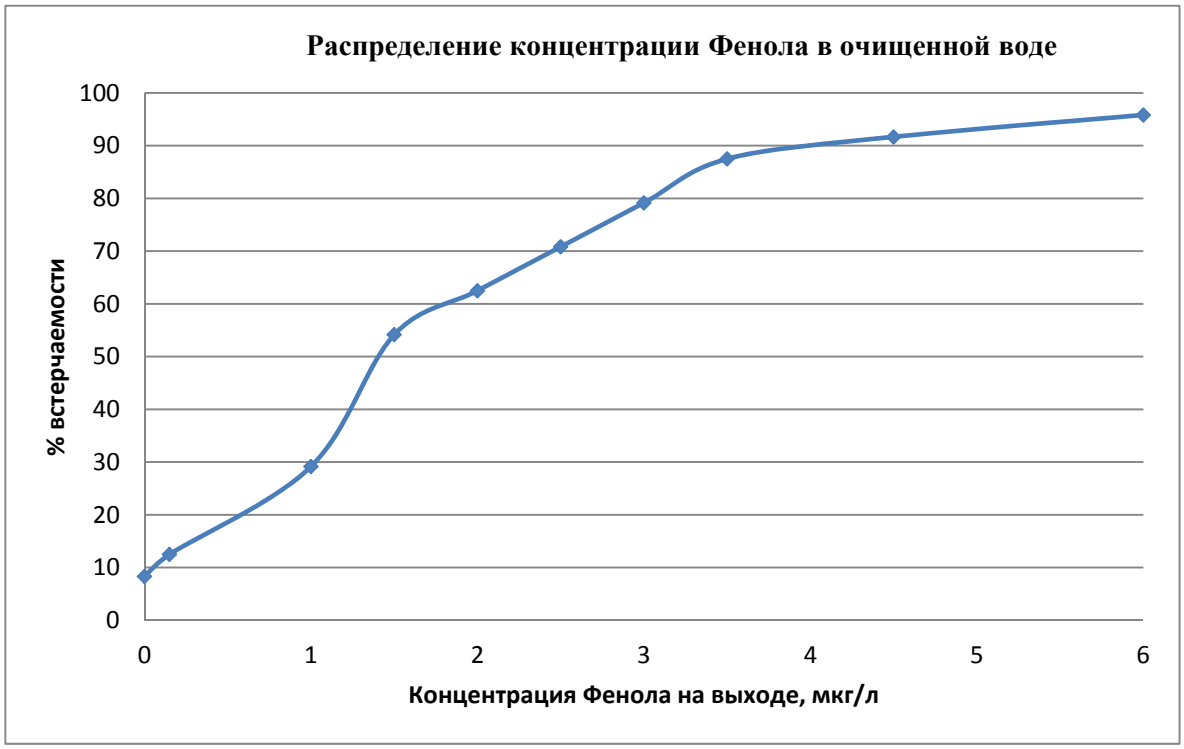

Рис. 70. Распределение концентрации фенола в очищенной воде.

Концентрации биоокисляемых техногенных загрязнений в очищенной воде могут изменяться в широких пределах. В основных диапазонах встречаемости:

- для нефтепродуктов 40 – 180 мкг/л;
- для сероводорода 0 – 5 мкг/л;
- для СПАВ 50 – 160 мкг/л;
- для фенола 0 – 4,5 мкг/л.

Концентрации этих веществ в очищенной воде теоретически поддаются контролю при оптимизации биоценоза ила по окислению данных веществ, однако любые

`

изменения в технологии биоочистки, такие как изменение возраста ила, увеличение времени окисления, снижение нагрузки по органическим веществам и т.п. не должны противоречить основным задачам – удалению органических веществ, азота и фосфора. Таким образом, практически влияние проектирования и эксплуатации станций на концентрации данных веществ в очищенной воде крайне ограниченно.

Бионеоксиляемые техногенные загрязнения

Для данной группы исследовались концентрации и эффективность удаления следующих металлов: железо, кадмий, марганец, медь, свинец, цинк, никель. Графики по эффективности удаления этих элементов в зависимости от их концентраций в проступающей воде представлены на рис. 71 – 77.

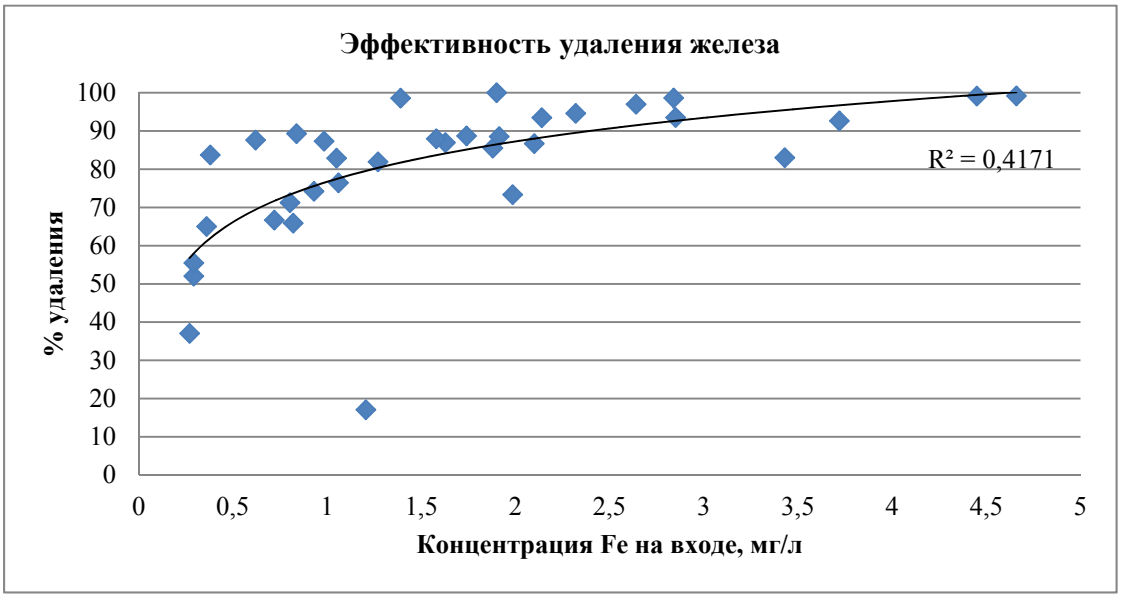

Рис. 71. Эффективность удаления железа.

Рис. 72. Эффективность удаления кадмия.

Рис. 73. Эффективность удаления кадмия.

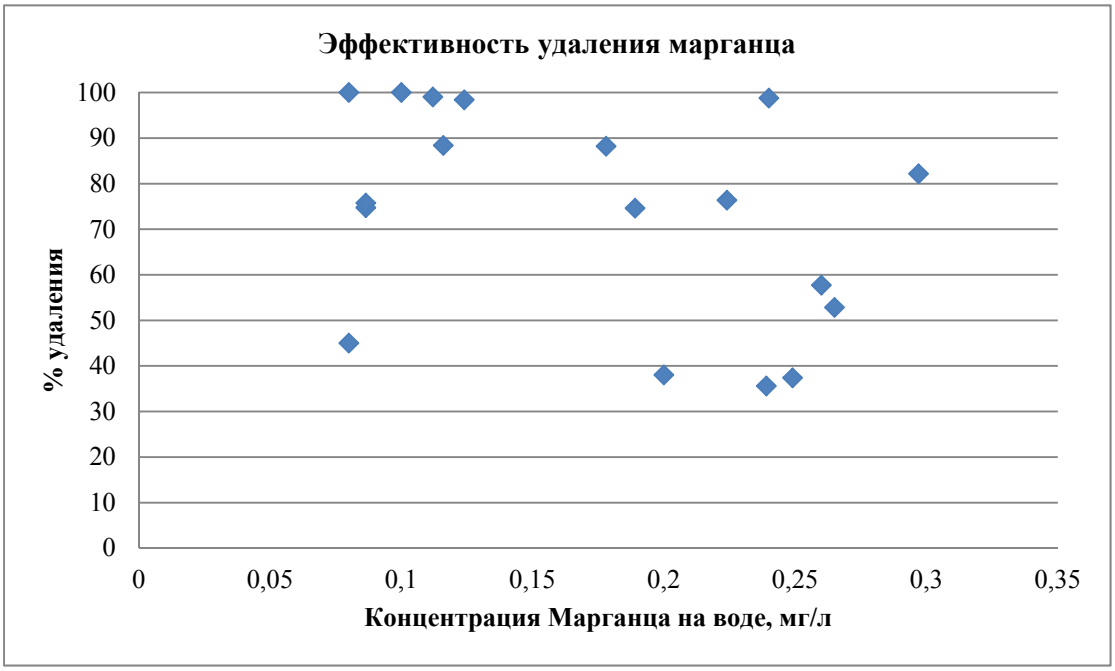

Рис. 73. Эффективность удаления марганца.

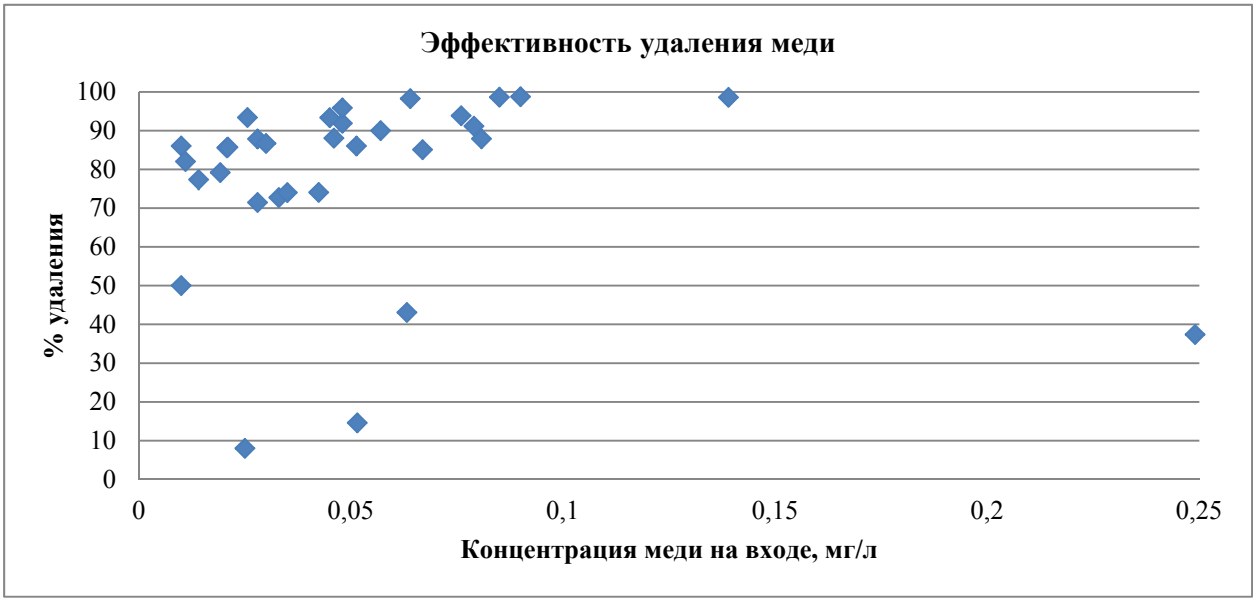

Рис. 74.Эффективность удаления меди.

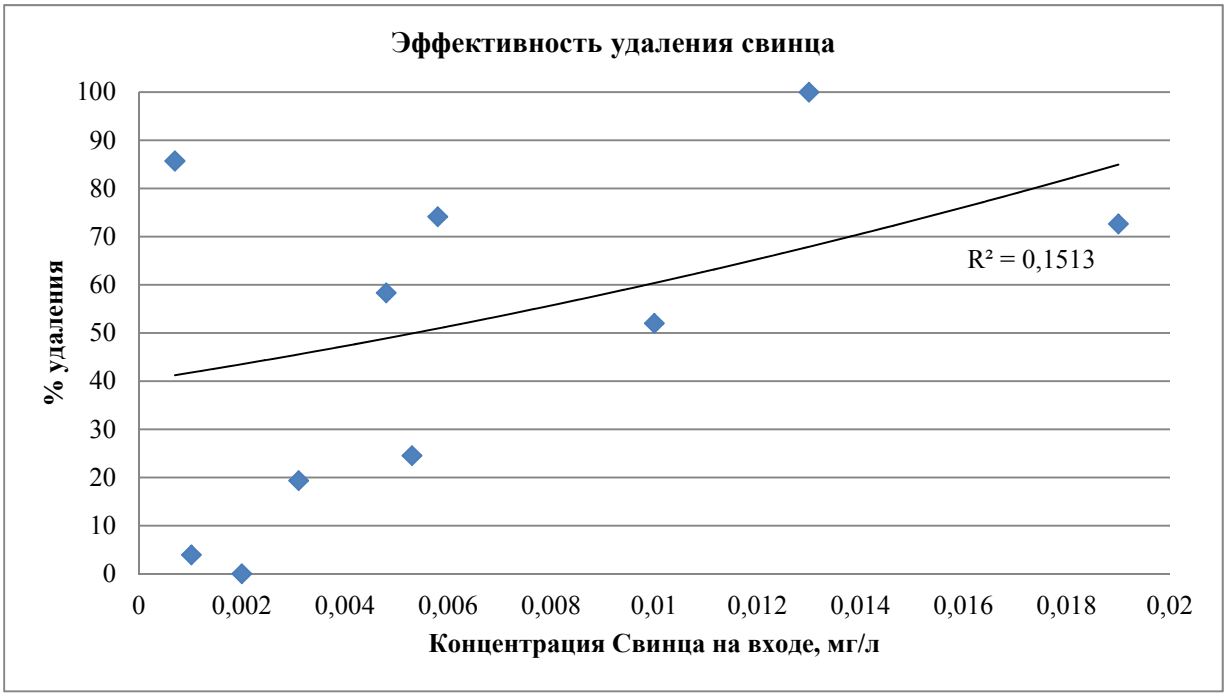

Рис. 75. Эффективность удаления свинца.

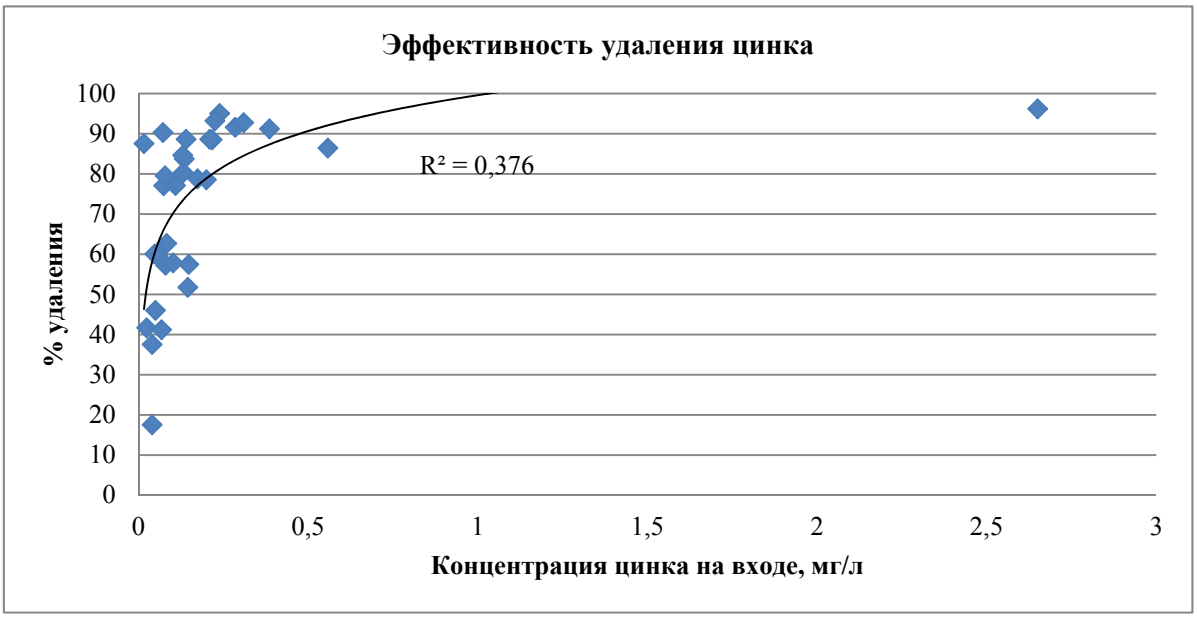

Рис. 76. Эффективность удаления цинка

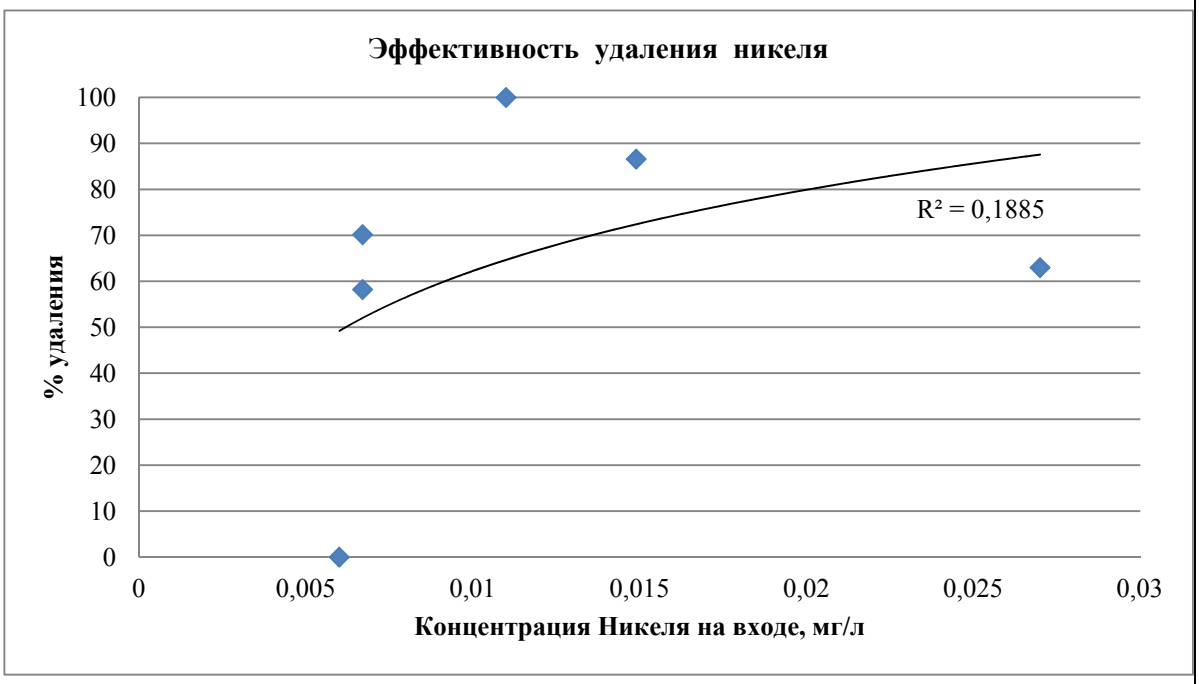

Рис. 77. Эффективность удаления никеля.

Анализируя полученные зависимости можно заключить:

- Для ряда металлов – железо, кадмий, цинк наблюдается определённая зависимость (R^2 = 0,67 – 0,37) между эффективностью удаления и концентрацией металла в поступающей воде, которое может быть объяснено законом сорбции. При этом во всех случаях, особенно в диапазоне низких концентраций имеется существенный разброс данных, вызванных влиянием других факторов.
- Для других металлов – никель, свинец имеется тенденция (R^2 = 0,19 – 0,15) уменьшения эффективности удаления при снижении концентрации металла в поступающей воде. При этом разброс данных при одинаковых концентрациях существенно возрастает.
- Для меди и марганца нет никаких тенденций при очень большом разбросе данных. Таким образом, картина наиболее характерна для многофакторных процессов, в которых эффективность удаления зависит как от концентрации металла в поступающей воде, так и от других неизвестных факторов, которые обуславливают разброс данных. Причем величина разброса данных существенно отличается для различных металлов.

В целом можно сказать, что активный ил в большинстве случаев хорошо удаляет поступающие тяжелые металлы, но предсказывать эффективность процесса, а тем более управлять ей пока не представляется возможным.

Распределения концентраций, рассмотренных металлов в очищенной воде, представлены на рис. 78 – 84.

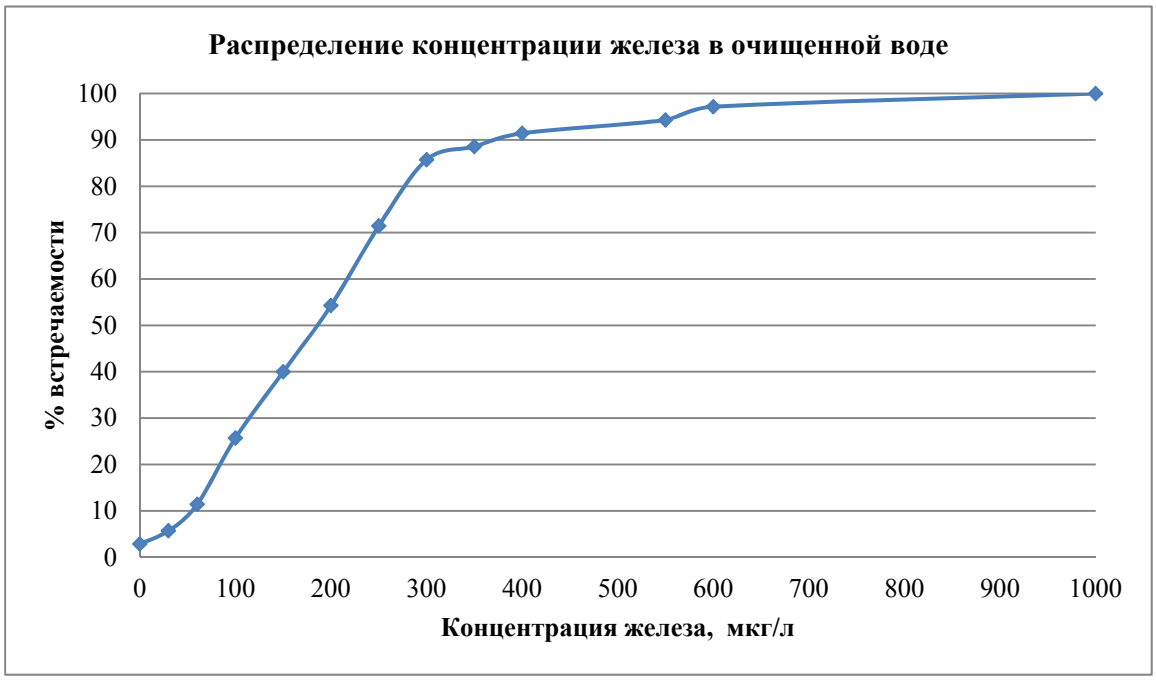

Рис. 78. Распределение концентрации железа в очищенной воде.

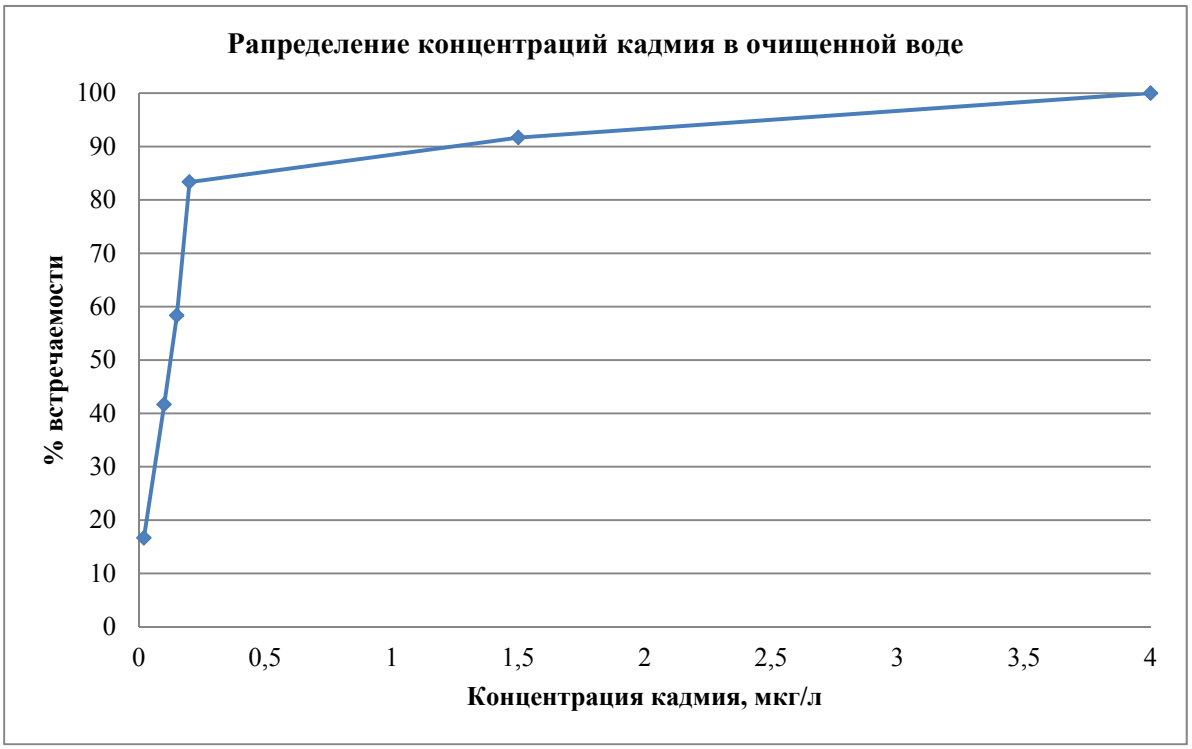

Рис. 79. Распределение концентраций кадмия в очищенной воде.

Рис. 80. Распределение концентрации марганца в очищенной воде.

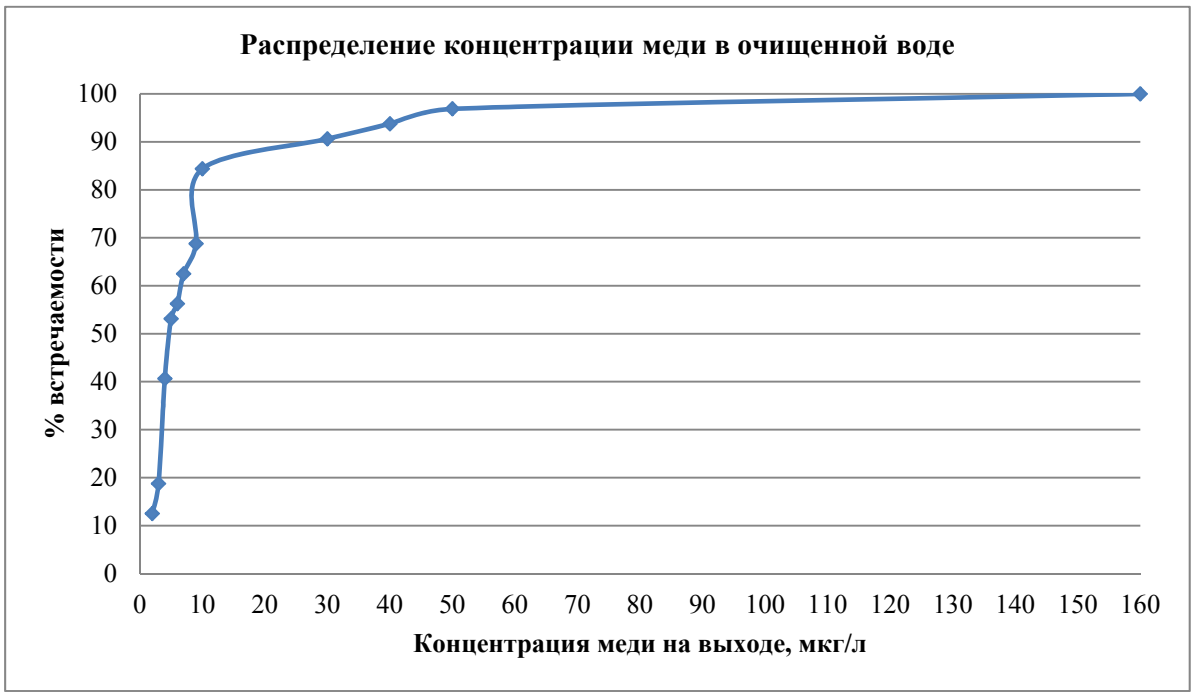

Рис. 81. Распределение концентрации меди в очищенной воде.

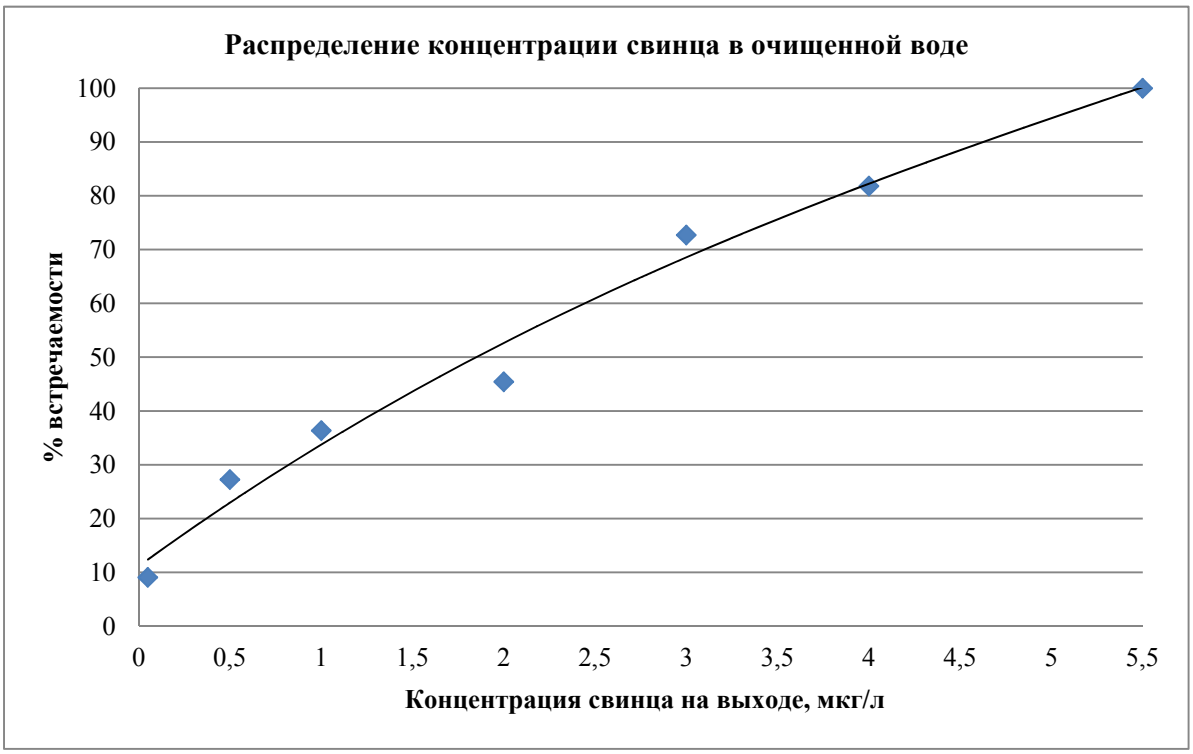

Рис. 82. Распределение концентрации свинца в очищенной воде.

Рис. 83. Распределение концентрации цинка в очищенной воде.

Рис. 84. Распределение концентрации никеля в очищенной воде.

Как показывают представленные величины, концентрации бионеокисляемых техногенных загрязнений в очищенной воде изменяются более чем в 10 раз как в зависимости от поступающей концентрации, так и от эффективности удаления. При этом как при проектировании, так и при эксплуатации станции нет реальных механизмов влияния на качество очистки по данным загрязнениям.