

# РОССИЙСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ В САУДОВСКОЙ АРАВИИ: ПЕРВЫЕ ШАГИ ПО ПУТИ В ЭПОХУ ЭКО-ЭКОНОМИКИ

Зубов М.Г.  
канд. техн. наук,  
генеральный директор

АО «ЭКОС»

Кадревич А.А.  
инженер-технолог  
1 категории

Щербакова Ю.А.  
инженер-технолог  
2 категории

Новые технологии для очистки сточной воды и обеспечения ее повторного использования позволят Королевству Саудовская Аравия получать дополнительный доход в размере не менее 10 млрд \$ США в год, воду высочайшего качества и энергонезависимость очистных сооружений.

**Ключевые слова:** Саудовская Аравия, очистка сточной воды, эко-экономика, очистные сооружения, повторное водопользование, эффективность.

Будущее человечества неразрывно связано с переходом от традиционной экономики, склонной к истощению природных ресурсов и нанесению ущерба окружающей среде, к «зеленой» экономике (эко-экономике), которая позволяет повышать благосостояние людей, обеспечивать социальную справедливость и одновременно существенно снижать риски деградации окружающей среды. Под эко-инновациями или «зелёными» технологиями подразумеваются такие технологии и инновации, которые обеспечивают двойной результат: как экологическую, так и социально-экономическую эффективность [1].

Объявленная руководством Королевства Саудовской Аравии (КСА) программа всесторонних глубоких преобразований направлена на развитие технологий и принципов эко-экономики, в том числе в такой жизненно важной отрасли, как водопользование. Одной из главных задач этой отрасли является обеспечение повторного использования всех очищенных сточных вод надлежащего качества для нужд аграрного сектора, промышленности, городского хозяйства.

Сегодня на большинстве действующих очистных сооружений муниципальных сточных вод в КСА используются европейские технологии очистки

прошлого века. Даже при строительстве новых станций по очистке сточных вод современные технологии по каким-то причинам не внедряются.

Строительство очистных сооружений по устаревшим технологиям влечет за собой как дополнительные капитальные затраты, так и повышенные расходы на эксплуатацию. Вместе с тем в КСА имеются большие перспективы для успешного внедрения инновационных решений, и доказательством тому служит опыт работы в Саудовской Аравии специалистов ЭКОС Групп.

ЭКОС Групп специализируется в области проектирования, строительства и реконструкции сооружений по очистке бытовых и промышленных сточных вод. На сегодняшний день реализовано более 400 проектов для объектов различного размера, сложности, географии и специализации. Научно-исследовательский центр НИЦ «ЭКОСТЕХ» и проектный институт, входящий в состав «ЭКОС Групп», разрабатывают новые технологические и проектные решения, многие из которых защищены патентами. Компания впервые вышла на рынок Саудовской Аравии в 2006 году, получив возможность применить новейшие российские технологии при реконструкции очистных сооружений «Аль-Джазира» в столице Королевства.



Рисунок 1  
Очистные сооружения «Аль-Джазира».

К моменту старта проекта ЭКОС Групп, канализационная очистная станция, рассчитанная на производительность 3000 м<sup>3</sup>/сут., была перегружена более чем в 1,5 раза и фактически принимала объем сточных вод на уровне 5000 м<sup>3</sup>/сут.

При реконструкции необходимо было достигнуть увеличения производительности очистных сооружений, а также повышения качества очистки воды на 60-70% с целью ее повторного использования для полива на аграрных территориях.

В результате применения собственных разработок ЭКОС Групп удалось повысить эффективность очистки воды на 78%, и увеличить производительность станции на 70%, при этом прирост эксплуатационных затрат составил всего 10%. Результаты работы были подтверждены ведущим экспертом компании Veolia – признанным мировым лидером в области очистки сточных вод.

В 2013 г. Министерство воды и электроэнергии Королевства Саудовская Аравия (КСА) и Национальная Водная Компания доверили российским специалистам сложный проект – реконструкцию

крупнейших очистных сооружений в Эр-Рияде – Северной и Восточной станций очистки сточных вод «Манфуха».

Необходимость реконструкции была обусловлена возрастающей нагрузкой на очистные сооружения, вызванной быстрыми темпами развития столицы. Суммарная проектная мощность двух станций (Северной и Восточной) составляла 400 000 м<sup>3</sup>/сут. По условиям проекта требовалось повысить ее на 25% и довести до 500 000 м<sup>3</sup>/сут. Качество очищенных сточных вод при этом должно было удовлетворять требованиям для повторного использования (табл. 1).

В данной статье представлены результаты реализации технологических решений реконструкции Северной станции с доведением ее производительности до 230 000 м<sup>3</sup>/сут. Существующая технологическая схема Северной станции представлена сооружениями механической очистки, биологической очистки в составе аэротенков и вторичных отстойников, сооружениями доочистки, представленными фильтрами с песчаной загрузкой, и сооружениями обработки осадка, включающими сбраживание в метантенках и обезвоживание на сооружениях механической очистки.

Обследование работы очистных сооружений позволило определить причины низкого качества очищенных сточных вод, в частности по азоту аммонийному и по уровню их загниваемости. Триггерной точкой явилось увеличение количества осадков сточных вод относительно проектных значений. Данное обстоятельство привело к срыву расчетной продолжительности пребывания осадков сточных вод в метантенках, и как следствие – ухудшению работы оборудования по обезвоживанию осадка. Для снижения количества осадка, подаваемого в метантенки

#### Требования к качеству очищенных сточных вод

Таблица 1

Параметр	Максимально допустимое значение
pH	6-8,4
БПК <sub>5</sub>	Не более 10 мг/л в среднем за 30 дней (составная суточная проба из минимум 12 заборов)
Взвешенные вещества	
N-NH <sub>4</sub>	5 мг/л
Total N	10 мг/л

сотрудниками станции было решено увеличить дозу ила в аэротенках до 4-5 г/л, что выявило новый круг проблем. Во-первых, качество очистки сточных вод в аэротенках перестало удовлетворять проектным значениям. Во-вторых, значительно увеличилась концентрация взвешенных веществ, выносимых из вторичных отстойников. В-третьих, работа фильтров доочистки с песчаной загрузкой была фактически заблокирована высокой концентрацией взвешенных веществ. Таким образом, проблемы, связанные с обработкой осадка, повлекли за собой разбалансировку всех систем очистки сточных вод.

Со стороны заказчика были установлены ограничения, действующие во время проведения работ:

1. не допускалось прекращение или остановка поступления сточных вод;
2. не допускалось снижение имеющегося качества очистки;
3. не допускалось создание новых резервуаров и технологических емкостей.

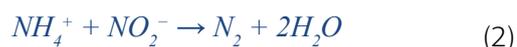
Для реконструкции очистных сооружений станции «Манфуха» было решено внедрить IBR технологию очистки сточных вод (Immobilized Biofilm Reactor) с реализацией процесса

ANAMMOX, которая предполагает развитие на загрузке биореактора бактериального сообщества, включающего микроорганизмы, адаптированные к различным условиям по кислородному режиму и природе субстрата.

Анаммокс-процесс в настоящее время применяется при очистке сточных вод с высоким содержанием аммония для его удаления из сточных вод при их очистке и включает два этапа. Первый из них заключается в частичной нитрификации аммония до нитрита бактериями, окисляющими аммоний:



На втором этапе остаточные концентрации аммония и нитрита в ходе анаммокс-процесса, осуществляемого второй группой бактерий, превращаются в нитрат и молекулярный азот:



Специфика анаммокс-бактерий состоит в том, что они одни из самых медленно растущих в системе свободно плавающего ила бактерий из известных на сегодняшний день. Согласно опубликованным данным минимальное время удвоения биомассы составляет от 8 до 11 суток, что серьезно ограничивает практическое освоение процесса. С 2009 г. сотрудники

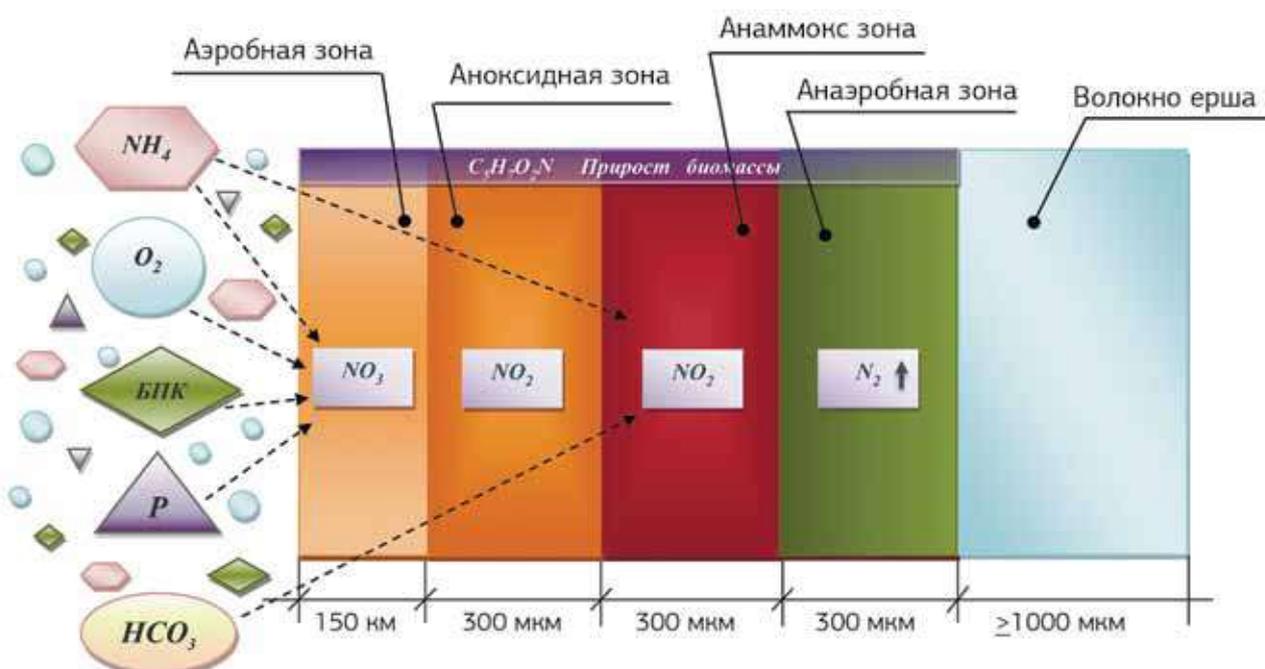


Рисунок 2  
Структура биопленки на волокне загрузки.

Среднегодовое качество очищенных сточных вод после реконструкции Северной станции

Таблица 2

Параметр	Требование проекта	Среднегодовые показатели			
		2016	2017	2018	2019
БПК <sub>5</sub> , мг/л	10	7	8	9	10
Взвешенные вещества, мг/л	10	8	9	7	8
N-NH <sub>4</sub> , мг/л	5	0,7	1,5	1,4	1,1
Total N, мг/л	15	7,7	6,2	5,8	5,2



Рисунок 3

Эффективность работы фильтров-биореакторов с загрузкой Ерш по удалению аммонийного азота.

ЭКОС Групп активно проводили исследования по определению условий развития анаммокс-процесса в IBR-реакторах с ершовой загрузкой, которая выполнена из синтетического инертного материала с положительным поверхностным зарядом, что дает возможность формировать на ней биоценоз послойно [2, 3]. Микроорганизмы в слоях биоценоза отличаются друг от друга отношением к растворенному кислороду и потребностью в субстрате, соответствующему их метаболизму. На рисунке 1 приведена схема, объясняющая принцип работы ершовой загрузки за счет формирования различных биоценозов по толщине биопленки. Наружный слой биоценоза представлен гетеротрофами – аэробами и автотрофами нитрификаторами. Продуцируемый последними азот нитритов поступает

во внутренний слой, в который не проникает растворенный кислород. В этом слое развиваются анаммокс-бактерии.

Первые лабораторные исследования, связанные с попыткой использовать бактерии Анаммокс для очистки сточных вод, были проведены ЭКОС Групп в 2006 г., а с 2007 г. данная технология была успешно применена в промышленных масштабах на очистных сооружениях предприятия Еврохим БМУ г. Белореченска. А также она была эффективно реализована при строительстве очистных сооружений на объектах Зимних Олимпийских игр SOCHI-2014. В 2015 г. ЭКОС Групп получила государственную премию за разработку совместно с Академией наук России научных основ применения новой технологии [4].

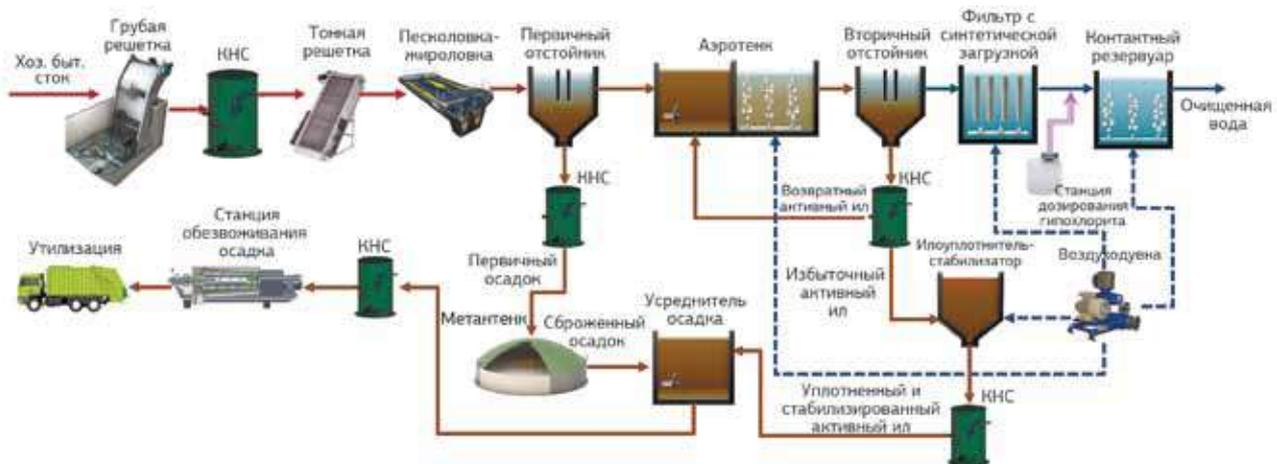


Рисунок 4  
Принципиальная схема Северной станции после работ по реконструкции.

Для реализации идеи реконструкции, в условиях невозможности дополнения существующей схемы очистки сточных вод новыми реакторами, было решено заменить фильтрующую загрузку в фильтрах доочистки на искусственную синтетическую ершовую загрузку.

Таким образом, биологическая очистка после реконструкции осуществляется в аэротенке в соответствии с модифицированным процессом Лудзака-Эттингера (MLE) [3] и в IBR-реакторе с аннамокс-процессом. При этом для обеспечения денитрифицирующих микроорганизмов достаточным количеством органического субстрата было принято решение о сокращении продолжительности отстаивания сточных вод и сокращении количества первичных отстойников с учетом необходимой и достаточной эффективности удаления взвешенных веществ на уровне 65%. Рецикл иловой смеси из конца аэротенка-вытеснителя в аноксидную зону составил 4Q. Использование IBR-реактора позволило обеспечить стабильное снижение азота аммонийного в очищенной сточной воде (рис. 3). Остальные показатели качества очищенных сточных вод также удовлетворяли требованиям, предъявляемым к водам для полива, при том что исходные концентрации загрязняющих веществ иногда в 1,5 раза превышали проектные значения. В таблице 2 представлены данные по среднегодовому качеству очищенных сточных вод.

Важным результатом реконструкции явилось и то, что очищенные сточные воды при хранении и доставке потребителю не загнивали и, соответственно, беспрепятственно могли быть

использованы для орошения и полива. Этот эффект очень важен в условиях жаркого климата Саудовской Аравии.

Анализ состояния избыточного ила позволил установить, что необходимо его дополнительное уплотнение и, следовательно, нецелесообразно производить смешение избыточного ила из вторичного отстойника с сырым осадком. Для реализации поставленной задачи были разделены потоки избыточного активного ила и первичного осадка для возможности их отдельной подготовки перед обезвоживанием. Было принято решение, в соответствии с которым в метантенки направляют только первичный осадок, что позволит не перегружать их гидравлически, обеспечивая проектное время пребывания – более 23 суток. Для уменьшения объема избыточного активного ила были задействованы илоуплотнители Восточной станции, которые в дальнейшем были переоборудованы в илоуплотнители-стабилизаторы, где в течение



Рисунок 5  
Общий вид на станцию «Манфуха» (Восточная).

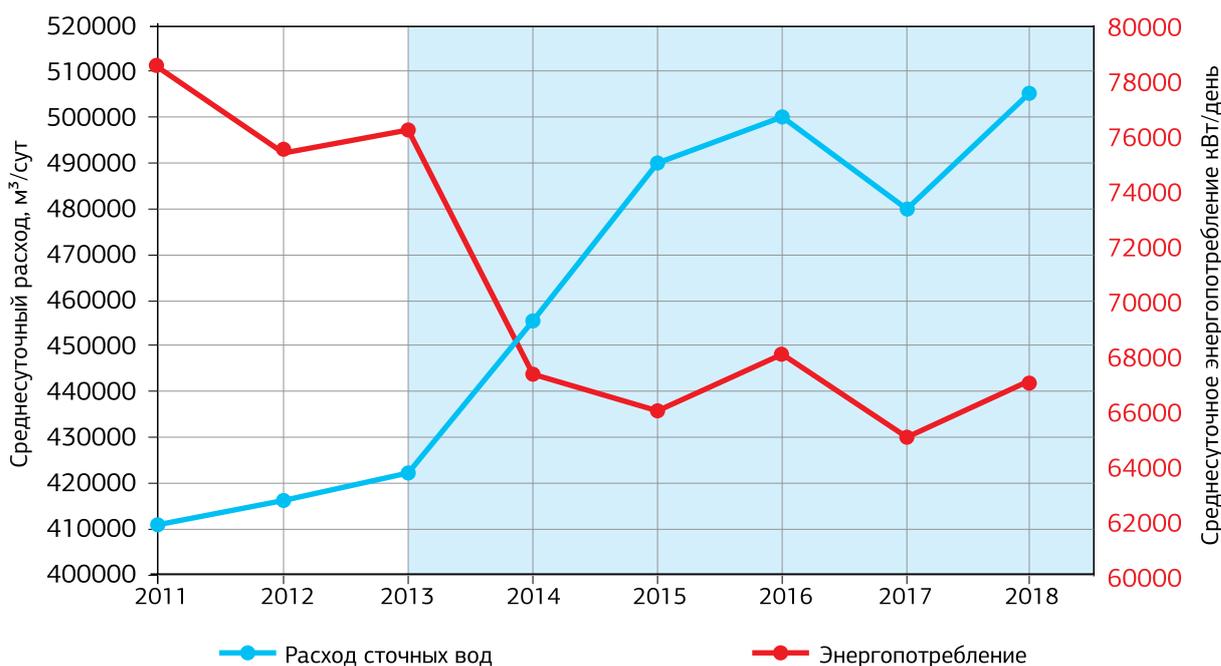


Рисунок 6

Изменение расхода сточных вод и энергопотребления на станции «Манфуха» (Восточная и Северная).

12 часов ил уплотняется, а потом 12 часов продувается воздухом и аэробно стабилизируется, после чего подается на обезвоживание со сброженным осадком. Данное решение позволило улучшить эффективность метанового сбраживания и влагоотдающие свойства осадка. Технологическая схема после реконструкции представлена на рисунке 4.

С ноября 2015 г. очищенные сточные воды станции «Манфуха» подают на орошение в требуемых количествах, при этом энергоэффективность примененных технологических решений позволяет, при повышении проектной производительности на 25% и улучшении качества очистки в несколько раз, снизить удельный расход электроэнергии на 1 м<sup>3</sup> очистки более чем на 25%. Таким образом, суммарная экономия электроэнергии за 2015 г., по сравнению с 2013 г., составила более 11 млн. киловатт-часов.

В настоящее время еще одна важная проблема КСА в области водоочистки – это утилизация осадка, который образуется в большом количестве на очистных сооружениях (для КОС «Манфуха» это более 200 тыс. тонн в год, а в масштабах всего Королевства – миллионы тонн отходов в год).

Для решения этой проблемы ЭКОС Групп проводит исследования с привлечением ведущих российских ученых в области теоретической

физики, нацеленные на разработку технологии переработки осадка с помощью сверх критического водного окисления (СКВО), которая позволит не только нейтрализовать вредное воздействие отходов на окружающую среду, но и получать из них энергию в количестве, достаточном для работы очистных сооружений. Разработаны теоретические основы новой технологии, сконструирована опытная установка и ведутся ее испытания. Мы рассчитываем на успешное завершение этой работы в ближайшем будущем, в результате чего на очистных сооружениях из поступающей сточной воды будут получаться: качественная, пригодная к широкому использованию вода, электроэнергия, тепловая энергия, которая, как известно, может быть конвертирована для использования в системах охлаждения.

Успешное внедрение технологий эко-экономики предполагает активное привлечение компаний частного сектора для инвестиций в новые перспективные разработки и участия в реализации проектов на условиях, получивших название BOO (build-own-operate) и BOT (build-operate-transfer). Для участия в таких проектах, ЭКОС Групп наладила сотрудничество с крупной саудовской группой компаний «СИДР Групп». Принято решение о создании совместного предприятия, которое объединит инженерно-технический потенциал ЭКОС Групп и финансовые, административные и производственные



возможности СИДР. В наших совместных планах: участие в государственных тендерах, реализация инвестиционных проектов, организация производства блочно-модульных очистных станций, заключение долгосрочных сервисных контрактов.

### Выводы

Успешный опыт ЭКОС Групп в Саудовской Аравии показывает, что внедрение новых технологий в области очистки сточных вод экономически целесообразно. Полученные практические результаты позволяют сделать следующие выводы:

- Реконструкция действующих очистных сооружений с применением инновационных

технологий позволяет снизить неблагоприятное воздействие на окружающую среду, сберечь существенную часть пресной воды, значительно снизить эксплуатационные расходы, в том числе потребление электроэнергии, и благодаря этому быстро окупить затраты и получить значительный экономический эффект.

- Расчет экономического эффекта от внедрения принципов рационального использования очищенной воды, получения электрической и тепловой энергии на очистных сооружениях показывает, что в масштабах Королевства дополнительные доходы составят не менее 10 млрд \$ в год.

### Литература:

1. С.А. Старков Становление эко-экономики в трудах российских и зарубежных ученых Вестник МИЭП. 2016. № 3 (24). С. 7-18
2. Анаэробное окисление аммония (анаммокс) в биопленках иммобилизованного активного ила при очистке сточных вод с низкой концентрацией загрязнений © 2012 г. А. Н. Ножевникова, Ю. В. Литти, В. К. Некрасова, И. С. Куличевская, Н. В. Григорьева, Н. И. Куликов, М. Г. Зубов, Микробиология, 2012, том 81, № 1, с. 1–11
3. Использование процесса анаэробного окисления аммония (анаммокс) для биологической очистки стоков. /А.Н. Ножевникова., М.В. Симанькова Ю. В. Литти Биотехнология, 2011.- №5.- С.8-31
4. Распоряжение РФ «О присуждении премии Правительства РФ от 26.01.2015 г. № 303-р

## НОВОСТИ

### На модернизацию водоснабжения Новосибирской области направят 1 миллиард рублей

Власти намерены построить и реконструировать действующие объекты системы водоснабжения региона.

На модернизацию и реконструкцию объектов водоснабжения в Новосибирской области в 2021 году власти выделят 907 млн. руб. В прошлом году на аналогичные цели было выделено 243,1 млн. руб. «В рамках региональной подпрограммы «Чистая вода» общий объем финансирования на 2021 год составляет 907 млн. рублей, в том числе из федерального бюджета – 685,5 млн. рублей, из областного бюджета – 208,9 млн. рублей, из местного бюджета – 12,6 млн. рублей», – рассказал министр ЖКХ и энергетики Новосибирской области Денис Архипов.

Чиновник сообщил, что деньги направят на строительство семи объектов в Тогучине, Карасуке, Маслянино, Краснозерское, Усть-Тарке. Также часть средств выделят для завершения строительства канализационных очистных сооружений

в Сузуне, ремонт самотечного канализационного коллектора в Черепаново, а также восстановление водозаборных сооружений в Бердске.

Министр рассказал, что к концу 2020 года фактический износ систем водоснабжения в регионе составлял 69%, объектов водозабора – 71%, водоподготовки – 14%, водонасосных объектов – 52%, канализации – 75% и канализационных очистных сооружений – 78%.

В ноябре прошлого года представители Контрольно-счетной палаты Новосибирской области сообщили о нарушениях, выявленных при реализации программы «Чистая вода». «По ряду объектов, реализуемых в рамках мероприятий регионального проекта «Чистая вода», плановые показатели не выполнены. В частности, традиционно, очистные сооружения в рабочем поселке Сузун и магистральный водовод в городе Обь», – рассказал аудитор Валерий Алехин.

Источник: РБК-Новосибирск.