

УДК 628.31

## ПРОБЛЕМЫ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД ГОРОДА УЛАН-БАТОРА (МОНГОЛИЯ)

Амбросова<sup>1</sup> Г. Т., Ганзориг Шонхор<sup>2</sup>, Уколова<sup>3</sup> К. И., Рафальская<sup>4</sup> Т. А.

<sup>1</sup>Новосибирский Государственный Архитектурно – Строительный Университет (Сибстрин), 630008, Россия, г. Новосибирск, Ленинградская ул., 113, galina-ambrosova@yandex.ru

<sup>2</sup> ГУП «Водоканал» г. Улан-Батор (Монголия), gannomin@yandex.ru

<sup>3</sup>Новосибирский Государственный Архитектурно – Строительный Университет (Сибстрин), 630008, Россия, г. Новосибирск, Ленинградская ул., 113, kristinaukolova1998@gmail.com

<sup>4</sup>Новосибирский Государственный Архитектурно – Строительный Университет (Сибстрин), 630008, Россия, г. Новосибирск, Ленинградская ул., 113, rafalskaya.ta@yandex.ru

**Аннотация:** описывается проблема очистки сточных вод города Улан-Батора и пути её решения. Указывается влияние недостаточной очищенных городских сточных вод на состояние водоёмов бассейна реки Селенга.

**Предмет исследования.** Рассматривается два комплекса по очистке городских сточных вод: функционирующий, построенный в 1964 году и строящийся, который планируется ввести в эксплуатацию в конце 2025 года. Приводятся проектные показатели сточной жидкости, использованные при проектировании нового комплекса очистных сооружений канализации, а также усредненные фактические значения показателей за 2023 год. Оцениваются возможности функционирующих очистных сооружений, работающих по устаревшей технологии, предусматривающей снижение в сточной жидкости двух показателей: взвешенных веществ и БПК<sub>пол</sub>. Строящийся комплекс производительностью 250 тыс. м<sup>3</sup>/сут, предназначен для очистки сточной жидкости, поступающей двумя потоками: поток «А» (хозяйственно-фекальные стоки), поток «Б» (смесь хозяйственно-фекальных и производственных стоков). Согласно проекту, для хозяйственно-фекальных стоков применена механическая очистка, полная биологическая очистка с нитрификацией и денитрификацией, доочистка и обеззараживание на зернистых фильтрах, а для производственных - предусмотрена физико-химическая очистка с последующей также биологической очисткой и доочисткой стоков.

**Методы исследования.** По обоим объектам (функционирующему и строящемуся) изучена проектно-сметная документация, детально обследовано техническое состояние, проанализированы данные лабораторно-производственного контроля функционирующего объекта, выполнен поверочный расчёт строящегося комплекса на фактические значения загрязнений. Установлено, что технология строящегося комплекса рассчитан на прием хозяйственно-фекальных стоков по потоку «А» и хромсодержащих стоков по потоку «Б». Обследование показало, что по обоим потокам на очистку будут поступать стоки с содержанием производственных стоков. В обоих потоках содержание хрома настолько мало, что он не может повлиять на работу узла биологической очистки. Однако активная реакция (рН) обоих потоков находится на уровне 9-12.

**Результаты.** Проведены исследования с целью корректировки технологии очистки сточной жидкости строящегося комплекса. Произведен подбор реагентов для нейтрализации стоков перед их подачей в узел биологической очистки. Оптимальным вариантом является использование комплекса, представленного кислым реагентом (ОХА) и серной кислотой.

**Выводы.** В перспективе желательно перенести промышленный комплекс, включающий кожевенные заводы, красильные и шерстомойные фабрики, за пределы города, предусмотрев для них локальные очистные сооружения канализации в две или даже три ступени, что исключит поступление на городские сооружения случайных или преднамеренных сбросов производственных стоков.

**Ключевые слова:** сточная жидкость, очистные сооружения канализации, механическая, биологическая, физико-химическая очистка и доочистка стоков, иловые площадки.

## ВВЕДЕНИЕ

Монголия имеет уникальное географическое расположение, она имеет сухопутную границу только с двумя государствами: Россией и Китаем (рисунок 1). На ее территории протекает крупная река Селенга, которая берет свое начало в притоках Идэра и Дэльгэр-Мурэна и впадает в озеро Байкал. Две трети бассейна реки Селенги находится на территории Монголии, а одна треть – в России.

С начала 90-х годов прошлого столетия ученые Федерального государственного бюджетного учреждения науки Лимнологический институт Сибирского отделения Российской академии наук, занимающиеся вопросами состояния природной воды, флоры и фауны Байкала, отмечают постоянное ухудшение экологического состояния

этого уникального водоёма. Заметные ухудшения связывают с увеличением содержания в природной воде озера биогенных элементов, которые могут поступать по притокам Байкала, а их у него около 300. Крупнейшей рекой, протекающей по территории России и Монголии и обеспечивающей до половины ежегодного поступления воды в озеро Байкал, является река Селенга. Селенга, имеющая множество больших и малых притоков, является приёмником очищенной сточной жидкости, как от населенных пунктов России, так и Монголии. Одним из самых крупных населённых пунктов, сбрасывающих очищенную сточную жидкость в бассейн реки Селенги, является столица Монголии город Улан-Батор (рисунок 1).

Очищенные стоки Улан-Батора сбрасываются в реку Туул, далее через реку Орхон они попадают в Селенгу, а затем и в Байкал. Монгольские

специалисты отмечают, что ранее в рыболовной реке Туул обитало много таймени, в настоящее время этот вид рыбы практически исчез и основной

причиной является сброс недостаточно очищенной городской сточной жидкости.



Рис. 1. Географическое расположение Монголии, граничащей только с Россией и Китаем.

Fig.1. The geographical location of Mongolia, bordering only Russia and China.

## ПРЕДМЕТ ИССЛЕДОВАНИЯ

Предметом исследования настоящей работы являются функционирующий и строящийся комплексы по очистке сточных вод. На сегодня в городе Улан-Баторе имеются три функционирующие площадки очистных сооружений канализации (ОСК) для очистки городских стоков, пропускной способностью: в юрточном районе 80 м<sup>3</sup>/сут, в районе аэропорта 24 тыс. м<sup>3</sup>/сут, основных городских сооружений на 160 тыс. м<sup>3</sup>/сут.

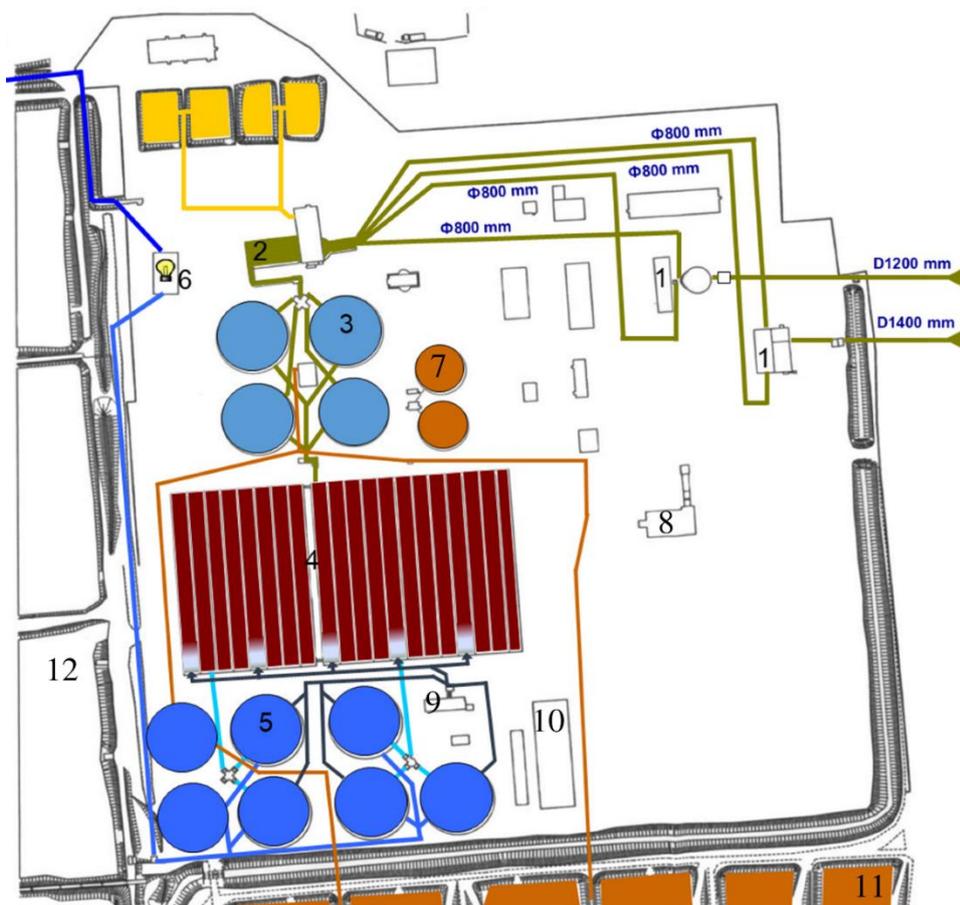
Функционирующие городские очистные сооружения канализации были запроектированы Московским отделением «Гипрокоммунводоканал» в 1964 году и рассчитаны на очистку хозяйственно-фекальных и предварительно очищенных производственных стоков (рисунок 2). С течением времени город развивался, постепенно увеличивалась и пропускная способность ОСК, достигнув к 2000 годам 160 тыс. м<sup>3</sup>/сут. На сегодня объект находится в довольно хорошем техническом состоянии, так как в 2008 году Водоканалом благодаря малопрцентному кредиту, выделенному Испанией, была произведена модернизация, охватывающая замену большей части старого оборудования и выполнение капитального ремонта основных железобетонных конструкций (аэротенков, первичных и вторичных отстойников), а также построен цех механического обезвоживания осадка. К сожалению, пока на этом объекте используется устаревшая технология, предусматривающая снижение в сточной жидкости только двух показателей: БПКпол и взвешенных веществ.

Согласно принятой проектом схеме, сточная жидкость поступает на главную насосную станцию, расположенную на территории ОСК, по двум коллекторам. Далее стоки подвергаются классической механической и биологической очистке. Вначале они проходят узел предварительной очистки стоков (решётки, аэрируемые песколовки). Далее сточная жидкость по классическому варианту [1-4] поступает на первичное отстаивание, которое осуществляется в четырёх радиальных отстойниках, после которых она попадает в пять секций четырёх коридорных аэротенков с регенераторами. Для разделения иловой смеси, поступающей из аэротенков, предусмотрены вторичные радиальные отстойники. В процессе эксплуатации их количество было увеличено с четырёх до семи. Для сгущения избыточного активного ила перед его подачей в метантенки приняты два радиальных уплотнителя диаметром 18 м.

На момент сдачи объекта в эксплуатацию строительство метантенков не было завершено, тем не менее, акт государственной комиссии о приёмке ОСК в эксплуатацию был подписан, после чего строители ушли со строительной площадки. А вот строительство биопрудов к тому времени было завершено, однако они не были введены в эксплуатацию из-за грубого строительного дефекта. Геодезическая съёмка показала, что отметка приёмной камеры биопрудов превышает отметку лотка коллектора, подводящего сточную жидкость из вторичных отстойников, на 0,6 м. Таким образом, на объекте остался не дострой, который принципиально нарушил принятую проектом технологию обработки осадка и исключил доочистку биологически очищенных стоков.

Обезвоживание осадка предусматривалось на иловых площадках с искусственным основанием и дренажом, а также с поверхностным отводом иловой воды. В то время это было неплохое решение для обезвоживания анаэробно сброженного осадка, учитывая специфический климат Монголии. В стране мало выпадает осадков как зимой, так и летом, лето жаркое и сухое, хотя и

непродолжительное, часто наблюдается ветреная погода. Многолетняя практика эксплуатации иловых площадок показала, что проблемы возникали не с недостатком площадей для обезвоживания, а с постоянными жалобами жителей на неприятный запах, выделяемый с большой открытой территории, где протекали гнилостные процессы.



**Рис. 2.** Функционирующие очистные сооружения канализации Улан-Батора:

1 – станция перекачки хозяйственно-бытового стока; 1' – станция перекачки промышленного стока; 2 – песколовка; 3 – первичные радиальные отстойники; 4 – аэротенк; 5 – вторичные отстойники; 6 – УФО; 7 – радиальный илоуплотнитель; 8 – здание обезвоживания осадка; 9 – насосная станция активного ила; 10 – воздуходушная станция; 11 – иловые карты; 12 – биологические пруды.

**Fig.2.** Functioning wastewater treatment plants of Ulaanbaatar:

1 - domestic wastewater pumping station; 1' – industrial wastewater pumping station; 2 - sand trap; 3 – primary radial tanks; 4 – aerotank; 5 – secondary tanks; 6 – UVI; 7 – radial silt compactor; 8 – sludge dewatering building; 9 – activated sludge pumping station; 10 – blower station; 11 – sludge maps; 12 – biological ponds.

На сегодня основная проблема ОСК Улан-Батора состоит в постоянном нарушении работы узла биологической очистки стоков из-за сброса в городской коллектор недостаточно очищенных или вовсе неочищенных производственных стоков кожевенных заводов, шерстомойных и красильных фабрик [5]. Сброс этих стоков приходится на период массового забоя скота, а именно с октября по февраль ежегодно. Временное прекращение сброса производственных стоков с февраля по октябрь месяц, к сожалению, не позволяет эксплуатации восстановить нормальную работу аэротенков, а

значит, не удастся добиться требуемой степени очистки сточной жидкости.

Для решения возникшей проблемы в Министерстве ЖКХ Монголии в 2012-2013 годах рассматривалось несколько вариантов. Первый - предлагалось передать на баланс Водоканала основной функционирующий локальный комплекс очистки стоков производственной площадки. Второй - для появившихся кожевенных заводов рекомендовалось построить локальные очистные сооружения канализации. Третьим возможным вариантом решения проблемы является перенос

кожевенных заводов, шерстомойных и красильных фабрик за пределы города и строительство для них общей площадки очистных сооружений канализации со сбросом очищенных стоков в водоём. И, наконец, последним вариантом решения имеющейся проблемы являлось предложение о строительстве новой площадки городских ОСК с такой технологией, которая позволит очищать смесь хозяйственно-фекальных и неочищенных или недостаточно очищенных производственных стоков.

На сегодня предложения министерства ЖКХ реализованы частично. Локальные очистные сооружения канализации промышленного комплекса переданы на баланс Водоканала, который выполнил большой объем работ по его

модернизации. Наиболее крупные кожевенные заводы смонтировали на своих предприятиях компактные установки для локальной очистки наиболее загрязненных стоков, однако они не введены в эксплуатацию из-за отсутствия обученных кадров. Оказалось, что трудно обучить, но еще труднее подобрать кадры, которых не устраивает временная работа (с октября по февраль). В отношении кадров проблема не решена до сих пор.

В настоящее время реализуется четвертый вариант: а именно рядом с площадкой функционирующих ОСК возводится новый комплекс на приём стоков в количестве 250 тыс. м<sup>3</sup>/сут. (рисунок 3).



**Рис. 3.** Функционирующий и строящийся комплексы по очистке сточной жидкости города Улан-Батора (вид из космоса): 1 – функционирующие ОСК; 2 – иловые площадки действующего объекта; 3 – территория биологических прудов; 4 – строящиеся ОСК.

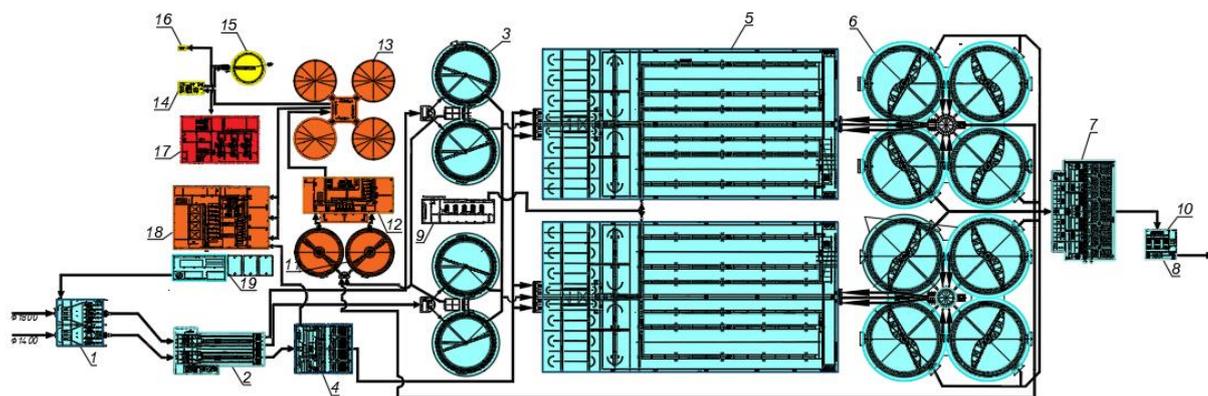
**Fig.3.** Ulaanbaatar wastewater treatment complexes in operation and under construction (view from space): 1 – functioning WWTP; 2 – silt sites of an existing facility; 3 – the territory of biological ponds; 4 – WWTP under construction.

Новый комплекс рассчитан на удаление из сточной жидкости растворимых и нерастворимых соединений органического и минерального происхождения, а также биогенных элементов [5, 6]. Технично-экономическое обоснование и рабочие чертежи на строительство объекта выполнила французская компания «Artelia», инвестиции на строительство под минимальные проценты выделены Китайской Народной Республикой, возводит объект также китайская компания «China Tiesiju Civil Engineering Group». Строительство было начато в 2019 году, ввод объекта в эксплуатацию намечается на декабрь 2025 года, работы по пуску и наладке будут проводить китайские специалисты.

Ныне функционирующие ОСК предполагается после ввода в эксплуатацию нового комплекса поставить на реконструкцию и в дальнейшем

использовать для очистки городских стоков, так как в ближайшие 20 лет прогнозируется резкое увеличение количества сточной жидкости из-за невероятно быстрых темпов развития жилой застройки столицы. Иловые площадки и неработающие пруды старого комплекса предполагается использовать в качестве аварийных иловых площадок как для новых ОСК, так и старых после их реконструкции.

Технологическая схема очистки сточной жидкости и обработки осадка возводимого комплекса показана на рисунке 4. Как видно из рисунка, очистные сооружения канализации расположены компактно, приняты современные конструкции сооружений механической и биологической очистки [6, 7] и современное оборудование.



**Рис. 4.** Технологическая схема строящихся очистных сооружений канализации города Улан-Батора:

1 – насосная станция; 2 – здание решеток, совмещенное с аэрируемой песколовкой; 3 – первичные радиальные отстойники для хозяйственно-бытовых стоков; 4 – первичные отстойники с тонкослойными модулями для смеси бытовых и производственных стоков; 5 – аэротенк-нитрификатор-денитрификатор; 6 – вторичные радиальные отстойники; 7 – узел доочистки биологически очищенных стоков; 8 – узел обеззараживания стоков (УФО); 9 – насосно-воздуходувная станция; 10 – водомерный узел; 11 – илоуплотнитель; 12 – камера управления узла обработки осадка; 13 – метантенки; 14 – камера десульфуризации биогаза; 15 – газгольдер; 16 – свеча сжигания газа; 17 – когенератор; 18 – узел механического обезвоживания осадка; 19 – система очистки газа приемного отделения ГНС.

**Fig. 4.** Technological scheme of wastewater treatment plants under construction of Ulaanbaatar:

1 – pumping station; 2 – grate building combined with an aerated sand trap; 3 – primary radial tanks for household wastewater; 4 – primary tanks with thin-layer modules for a mixture of domestic and industrial wastewater; 5 – aerotank-nitrifier-denitrifier; 6 – secondary radial tanks; 7 – post-treatment unit for biologically treated wastewater; 8 – wastewater disinfection unit; 9 – pumping and blower station; 10 – water metering unit; 11 – silt compactor; 12 – control chamber of the sludge treatment unit; 13 – methane tanks; 14 – biogas desulfurization chamber; 15 – gas tank; 16 – gas combustion candle; 17 – cogenerator; 18 – mechanical sludge dewatering unit; 19 – gas purification system the reception department of the MPS.

В состав сооружений включены узлы по обработке осадка в метантенках и обезвоживанию в центрифугах, предусмотрено использование биогаза для получения тепловой и электрической энергии. Особенностью данного объекта, относящегося к городским очистным сооружениям канализации, является очистка двух потоков объёмами: поток «А» 150 тыс. м<sup>3</sup>/сут и поток «Б» 100 тыс. м<sup>3</sup>/сут. Поток «А» представляет собой хозяйственно-фекальные стоки, поток «Б» является смесью хозяйственно-фекальных и неочищенных или недостаточно очищенных производственных стоков кожевенных заводов, шерстомойных и красильных фабрик. Для потока «А» предусмотрен классический вариант очистки сточной жидкости на решётках, в аэрируемых песколовках, радиальных первичных отстойниках, аэротенках-нитрификаторах-денитрификаторах, вторичных радиальных отстойниках. Биологически очищенная сточная жидкость, согласно французскому проекту, должна была подвергаться доочистке на зернистых фильтрах. В состав узла доочистки были включены зернистые фильтры, воздуходувки и насосы для водо-воздушной промывки, насосы для откачки грязной воды на повторную очистку. Китайские специалисты этот узел откорректировали и заменили узел доочистки с зернистыми фильтрами на отстойники физико-химической очистки с тонкослойными модулями и введением перед ними реагентов.

Стоки потока «Б» также проходит предварительную очистку на решётках грубой и тонкой очистки, в аэрируемых песколовках, а физико-химическая очистка сточной жидкости

осуществляется в высокопроизводительных первичных отстойниках с тонкослойными модулями и вводом перед ними реагентов (FeCl<sub>3</sub> и NaOH). Осветленная сточная жидкость производственного потока «Б» смешивается со стоками потока «А» в узле биологической очистки, предназначенном для снижения БПК<sub>пол</sub>, взвешенных веществ и азота методом нитрификации и денитрификации. Принято четыре автономно рабочие секции, каждая состоит из трёх зон: бескислородной для восстановления нитратов, аэробной для доокисления органических веществ, не востребованных в зоне денитрификации, а также аэробной зоны для окисления азотсодержащих соединений. Разделение иловой смеси на очищенную сточную жидкость и активный ил осуществляется в восьми вторичных радиальных отстойниках диаметром 53 м. При определении объёма каждой зоны узла биологической очистки рабочая доза активного ила была принята 3,6 г/л. Общая степень циркуляции активного ила распределена следующим образом: по внешнему контуру циркулирует 80% от общего количества, а по внутреннему 130%.

Для обеззараживания доочищенной сточной жидкости выбран метод ультрафиолетового облучения. В узле обеззараживания будет осуществляться также контроль объёма стоков, сбрасываемых в водоём.

Смесь органического осадка, а именно сырой осадок потока «А» и неуплотненный избыточный активный ил потоков «А» и «Б», направляется в два илоуплотнителя, сгущается и после этого закачивается на обработку в четыре метантенка.

Анаэробно сброженный осадок обезвоживается в центрифугах, как предполагается вначале временно складировать на ОСК, а затем вывозить на полигон твердых бытовых отходов. Выгружаемый из отстойников физико-химической очистки осадок, содержащий кристаллы ортофосфорной кислоты и частицы органического происхождения, обезвоживается в центрифугах без обработки. В качестве аварийного варианта, а также временного хранения обезвоженного осадка, как уже отмечалось, предполагается использовать иловые площадки и неработающие биопруды старой площадки ОСК,

Образующийся в процессе анаэробного сбраживания биогаз очищается, осушается и сжигается в когенераторе (принят один

когенератор) с получением тепловой и электрической энергии. Для обеспечения стабильного давления в газовой сети предусмотрен двухкамерный мембранный газгольдер (также принят один газгольдер). Получаемая от сжигания биогаза тепловая энергия расходуется для осуществления технологического процесса в метантенках и обогрева производственных помещений, а электрическая энергия используется для работы воздуходувок и оборудования узла механического обезвоживания осадка.

Основные показатели сточной жидкости обоих потоков, которые были использованы при проектировании новой площадки ОСК, приведены в таблице 1.

**Таблица 1.** Показатели сточной жидкости потоков «А» и «Б»  
**Table 1.** Indicators of wastewater flows "A" and "B"

№	Показатель	Единица измерения	Значение показателя	
			потока «А»	потока «Б»
1.	Суточный расход сточной жидкости	тыс. м <sup>3</sup> /сут	150	100
2.	Максимальный часовой расход	м <sup>3</sup> /ч	8125	5417
3.	Коэффициент часовой неравномерности	-	1,3	1,3
4.	БПК <sub>пол</sub>	мг/л	380	400
5.	ХПК	-«-	1200	1500
6.	Взвешенные вещества	-«-	800	1000
7.	Азот аммонийный (N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> )	-«-	35	30
8.	Азот общий (по N)	-«-	40	40
9.	Общий фосфор (по P)	-«-	3	5
10	Хром трёхвалентный (Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	-«-	1	5
11	Сероводород (H <sub>2</sub> S)	-«-	5	30

Как видно из таблицы, качество сточной жидкости, поступающей потоками «А» и «Б» отличаются незначительно. В обоих потоках наблюдается высокие значения ХПК, взвешенных веществ и БПК<sub>пол</sub>, Концентрация биогенных элементов (азота и фосфора) находится на среднем уровне, характерном для хозяйственно-бытовых стоков. В потоке «Б», в сравнении с потоком «А», концентрация хрома трёхвалентного выше в 5 раз, а сероводорода в 6 раз.

## МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

После глубокого изучения представителями НГАСУ (Сибстрин), проектной документации по технологии очистки сточной жидкости и обработки осадка функционирующего и строящегося комплекса ОСК и обсуждения ряда технических вопросов с монгольскими и китайскими специалистами пришли к единому выводу, что, в целом, проект строящегося комплекса отвечает основным требованиям, указанным в техническом задании Заказчика. Для справки: НГАСУ (Сибстрин) оказывают консультационно-техническую помощь Водоканалам Монголии, в том числе Водоканалу города Улан-Батора [5, 8].

Выезд специалистов кафедры водоснабжения и водоотведения в Монголию состоялся в июле 2023 года. За время нахождения специалистов НГАСУ (Сибстрин) в Монголии были изучены не только проектная документация очистных сооружений канализации старой и новой площадок, но и детально обследовано техническое состояние функционирующего и строящегося объекта, проанализированы данные лабораторно-производственного контроля функционирующего объекта, проведены совместно с монгольскими и китайскими специалистами поисковые опыты по подбору доступного, дешевого и эффективного реагента для узла физико-химической очистки потока «Б». В результате выполненной работы установлено, что фактическое качество сточной жидкости, которая будет поступать на очистку нового комплекса, принципиально отличается от проектных данных по обоим потокам (таблица 2). Исследования качества сточной жидкости по этим потокам проводились аккредитованной лабораторией Китайской Народной Республики в течение всего периода массового забоя скота (октябрь-февраль 2023 года), то есть в период интенсивной работы кожевенных заводов, шерстомойных и красильных фабрик.

**Таблица 2.** Фактические показатели сточной жидкости, поступающей на очистку в период массового забоя скота**Table 2.** Actual indicators of wastewater entering for cleaning during the period of mass slaughter of livestock

№	Показатель	Единица измерения	Значение показателя	
			потока «А»	потока «Б»
1.	Суточный расход сточной жидкости	тыс.м <sup>3</sup> /сут	150	100
2.	Максимальный часовой расход	м <sup>3</sup> /ч	8125	5417
3.	Коэффициент часовой неравномерности	-	1,3	1,3
4.	БПК <sub>5</sub> или БПК <sub>пол</sub>	мг/л	данные отсутствуют	
5.	ХПК	-«-	1900	1200
6.	Взвешенные вещества	-«-	655,7	317,3
7.	Азот аммонийный (N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> )	-«-	38	21
8.	Азот общий (по N)	-«-	109	69
9.	Общий фосфор (по P)	-«-	16	4,7
10.	Хром трёхвалентный (Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	-«-	0,15	0,14
11.	pH		8,7	8,8

Как видно из таблицы, в обоих потоках концентрация хрома настолько мала, что она не может вызвать серьезных нарушений в работе узла биологической очистки, поэтому предусмотренная проектом технология удаления хрома после введения объекта в эксплуатацию окажется невостребованной. Вместе с тем, сточная жидкость потока «А» имеет очень высокие значения pH, которые достигают 12, поэтому перед биологической очисткой её придется нейтрализовать хотя бы до значений pH 8,5.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ВЫПОЛНЕННОЙ РАБОТЫ

На совместно проведенном техническом совещании с присутствием российских, монгольских и китайских специалистов было решено продолжить изучение фактического качества исходной сточной жидкости с тем, чтобы на стадии проведения наладочных работ можно было произвести корректировку технологии очистки сточной жидкости на стадии механической очистки стоков. Для обоих потоков, судя по данным сегодняшнего дня, требуется только корректировка pH. В дальнейшем для оценки работы узла биологической очистки сточной жидкости необходима информация по БПК<sub>5</sub> или БПК<sub>пол</sub>. Таким образом, в результате очистки стоков потоков «А» и «Б», по предварительным прогнозам, будет образовываться совершенно безвредный органический осадок, который можно обрабатывать в метантенках. К сожалению, как показали проведенные нами поверочные расчёты объём метантенков рассчитан только на приём осадка, образующегося при очистке потока «А». Рекомендовано в процессе проведения наладочных работ перевести их с мезофильного на термофильный режим сбраживания, благодаря этому можно успешно решить и проблему с обработкой осадка. Анаэробная обработка осадка потока «Б» позволит снизить сухое вещество выгружаемого из метантенков осадка, сократить расход флокулянта при его обезвоживании и

улучшить санитарное состояние цеха механического обезвоживания осадка с центрифугами, исключив попадание в него неприятно пахнущих и канцерогенных газов (сероводорода, аммиака, индола и меркаптанов).

Рекомендовано в период пуско-наладочных работ заменить узел приготовления хлорного железа и щелочи на узел приготовления реагентов для нейтрализации стоков и изучить влияние такой замены на работу последующих стадий очистки. В процессе исследований было изучено три варианта нейтрализации сточной жидкости. Первый, предполагает применение кислого реагента оксихлорида алюминия (ОХА), который может не только интенсифицировать процесс первичного отстаивания, но и снижать pH. Второй вариант предполагает только нейтрализацию сточной жидкости серной кислоты. И, наконец, согласно третьему варианту, можно получать необходимый эффект при вводе небольшого количества ОХА, основным же реагентом для нейтрализации будет являться серная кислота. В процессе эксплуатации дозы ОХА и серной кислоты будут корректироваться в зависимости от pH поступающей сточной жидкости согласно данным стационарного датчика, фиксирующего pH, который необходимо установить в приёмном отделении главной насосной станции. Исследования показали, что для нейтрализации, поступающей на очистку сточной жидкости, оптимальным является вариант применения ОХА и серной кислоты. Если для нейтрализации потоков «А» и «Б» будет использован только оксихлорид алюминия (ОХА), то как показали результаты проведенных совместных исследований (Россия, Монголия, КНР) будет достигнута чрезмерно высокая степень очистки стоков в первичных отстойниках, что крайне нежелательно для процессов, осуществляемых в зонах денитрификации. Считаем, что ограничение дозы вводимого ОХА связано ещё с возможностью бесконтрольного связывания свободных ион-фосфатов в трудно растворимую соль ортофосфорной кислоты, а дефицит фосфора в поступающей сточной жидкости может вообще

дестабилизировать работу узла биологической очистки. Четвёртым, правда пока ещё не исследованным вариантом, является применение углекислого газа после сжигания биогаза в когенераторах для снижения расхода серной кислоты, чрезмерно повышающей концентрацию сульфатов в очищенной сточной жидкости.

Что касается узла доочистки, то проведенный поверочный расчёт показал, что замена китайскими технологами проектного классического узла доочистки стоков (зернистых фильтров) на отстойники физико-химической очистки с тонкослойными модулями [9] также может создать в процессе эксплуатации проблему, заключающуюся в невозможности обеспечения требуемой степени очистки стоков по взвешенным веществам, БПК<sub>пол</sub> и фосфору. Хотя, на наш взгляд, китайский вариант доочистки лучше тем, что ввод реагента для удаления фосфора производится не перед узлом биологической очистки, не в узле биологической очистки, а на стадии доочистки стоков [10-12]. Мировая практика эксплуатации узла доочистки стоков показала, что узел может справиться со своими задачами, если имеет две ступени. Первая ступень (грубая доочистка) служит для задержания крупных включений, которые выносятся из первичных отстойников (плавающие вещества), аэротенков (комочки жира) и вторичных отстойников (крупные частицы активного ила). Вторая ступень (тонкая доочистка) предназначена для улавливания мелких частиц активного ила, дозародышей, зародышей и кристаллов ортофосфорной кислоты. Согласно классическому варианту доочистки стоков может быть реализована как на зернистых фильтрах [13] с крупностью загрузки 0,6-1,2 мм, так и на дисковых фильтрах с размерами ячеек в фильтровальном полотне 10 мкм.

## ВЫВОДЫ

Таким образом, несмотря на то что в настоящее время в Улан-Батаре возводится новый комплекс с технологией, предусматривающей очистку смеси хозяйственно-фекальных и предварительно очищенных производственных стоков, он может разделить участь ныне функционирующих очистных сооружений канализации. И основной причиной нестабильной и неудовлетворительной работы возводимого комплекса будет являться сброс в любой момент в городской коллектор недостаточно очищенных или вовсе неочищенных производственных стоков кожевенных заводов, красильных и шерстемойных фабрик, что и наблюдается в последнее десятилетие. К сожалению, на сегодня никто не может гарантировать качественное обслуживание локальных очистных сооружений канализации промышленных предприятий из-за отсутствия на этих объектах квалифицированных кадров. Считаем, что только вариант выноса кожевенных заводов, шерстемойных и красильных фабрик за черту города и строительство для них очистных

сооружений канализации в две или даже в три ступени исключит случайные или преднамеренные сбросы производственных стоков в городской коллектор и обеспечит нормальные условия для работы возводимого комплекса по очистке городской сточной жидкости.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пугачев Е.А. Очистка городских сточных вод мегаполиса: монография. М.: АСВ, 2013. 136 с.
2. Канализация населенных мест и промышленных предприятий / Н.И. Лихачев, И.И. Ларин, С.А. Хаскин и др. ; под общ. ред. В. Н. Самохина. М.: Стройиздат, 1981. 639 с.
3. Яковлев С.В., Воронов Ю.В. Водоотведение и очистка сточных вод. М.: АСВ, 2002. 703 с.
4. Хенце М. Очистка городских сточных вод : пер. с англ. / под ред. С.В. Калужского. М.: Мир, 2006. 480 с. [Mogens Henze. Urban wastewater treatment, 1992.].
5. Уколова К.И., Окишева П.В., Амбросова Г.Т., Шонхор Ганзориг. Комплекс очистных сооружений канализации города Улан-Батора (Монголия) // Водные ресурсы – основа глобальных и региональных проектов обустройства России, Сибири и Арктики в XXI веке: материалы Национальной научно-практической конференции с международным участием: сб. статей. в 2 т. Том I. Тюмень: ТИУ, 2023. 155-159 с.
6. Харькина О.В. Эффективная эксплуатация и расчет сооружений биологической очистки сточных вод. Волгоград: Панорама, 2015. 433 с.
7. Швецов В.Н., Морозова К.М., Степанов С.В. Расчет сооружений биологической очистки городских и производственных сточных вод в аэротенках с удалением биогенных элементов // Водоснабжение и санитарная техника. 2018. № 9. С. 26-39.
8. Амбросова Г.Т., Уколова К.И., Окишева П.В. Очистные сооружения канализации микрорайона Сонгино-Хайрхан г. Улан-Батор (Монголия) // Труды НГАСУ. 2023. Т. 26. №4 (90). С. 18-27. DOI: 10.32683/1815-5987-2023-26-90-4-18-27
9. Лю Сюэлян, Федоров С.В., Верхотуров В.П. Исследование усовершенствованного типа тонкослойного модуля // Санитарная техника и экология. 2022. №5 (94). С. 83-90.
10. Удаление азота и фосфора на канализационных очистных сооружениях / А.Н. Беляев, Б.В. Васильев, С.Е. Маскалева, Б.Г. Мишуков, Е.А. Соловьева // Водоснабжение и санитарная техника. 2008. №9. С. 38–43.
11. Васильев Б.В., Мишуков Б.Г., Соловьева Е.А. Реагентное удаление фосфора из городских сточных вод // Водоснабжение и санитарная техника. 2009. №2. С. 58–60.
12. Сравнительная оценка применяемых методов удаления фосфора из сточной жидкости / Г.Т. Амбросова, А.А. Функ, С.Д. Иванова, Ш. Ганзориг // Водоснабжение и санитарная техника. 2015. №2. С. 25–36.

13. Лукиных Н.А., Липман Б.Л., Криштул, В.П. Методы доочистки сточных вод. М.: Стройиздат, 1978. 156 с.

## REFERENCES

1. Pugachev E.A. Ochistka gorodskih stochnyh vod megapolisa. Monografiya [Purification of urban wastewater of the megapolis. Monograph]. Moscow: ASV. 2013. 136 p.

2. Kanalizaciya naselenny`x mest i promy`shlenny`x predpriyatij [Sewerage of settlements and industrial enterprises] / Lixachev N.I., Larin I.I., Xaskin S.A. i dr. Edited by V.N. Samokhin. Moscow: Strojizdat. 1981. 639 p.

3. YAkovlev S.V., Voronov Yu.V. Vodootvedenie i ochistka stochnyh vod [Wastewater disposal and treatment]. Moscow: ASV. 2002. 703 p.

4. Henze M. Ochistka stochnykh vod [Wastewater treatment] : translated from English / edited by S.V. Kalyuzhsky. Moscow: Mir., 2006. 480 p.

5. Ukolova K.I., Okisheva P.V., Ambrosova G.T., Shonkhor Ganzorig. The complex of sewage treatment plants in the city of Ulaanbaatar (Mongolia). Water resources are the basis of global and regional projects for the development of Russia, Siberia and the Arctic in the XXI century: materials of the National Scientific and Practical Conference with international participation. Tyumen: TIU. 2023. Vol. I, pp. 155-159. (In Russian).

6. Khar'kina O.V. E`ffektivnaya e`kspluaciya i raschet sooruzhenij biologicheskoy ochistki stochny`x vod [Efficient operation and calculation of biological wastewater treatment facilities]. Volgograd: Panorama. 2015. 433 p.

7. Shvetsov V.N., Morozova K.M., Stepanov S.V. Calculation of biological treatment facilities for urban and industrial wastewater in aerotanks with removal of biogenic elements. Vodosnabzhenie i sanitarnaya texnika. 2018. No. 9, pp. 26-39. (In Russian).

8. Ambrosova G.T., Ukolova K.I., Okisheva P.V. Wastewater treatment plants of the Songino-Khairkhan microdistrict of Ulaanbaatar (Mongolia). Trudy` NGASU. 2023. Vol. 26 No. 4 (90), pp. 18-27. DOI: 10.32683/1815-5987-2023-26-90-4-18-27 (In Russian).

9. Liu Xueliang, Fedorov S.V., Verkhoturlov V.P. Investigation of an improved type of thin-layer module. Sanitarnaya texnika i e`kologiya. 2022. No. 5 (94), pp. 83-90. (in Russian).

10. Belyaev A.N., Vasiliev B.V., Maskaleva S.E., Mishukov B.G., Solovieva E.A. Nitrogen and phosphorus removal at sewage treatment plants. Vodosnabzhenie i sanitarnaya texnika. 2008. No. 9, pp. 38–43. (In Russian).

11. Vasil`ev B.V., Mishukov B.G., Solov`eva E.A. Reagent phosphorus removal from urban wastewater. Vodosnabzhenie i sanitarnaya texnika. 2009. No. 2, pp. 58–60. (in Russian).

12. Ambrosova G.T., Funk A.A., Ivanova S.D., Ganzorig Sh. A comparative assessment of the methods used to remove phosphorus from wastewater. Vodosnabzhenie i sanitarnaya texnika. 2015. No. 2, pp. 25–36. (in Russian).

13. Lukiny`x N.A., Lipman B.L., Krishtul, V.P. Metody` doochistki stochny`x vod. Moscow: Strojizdat. 1978. 156 p.

## PROBLEMS OF WASTEWATER TREATMENT OF ULAANBAATAR (MONGOLIA)

G. T. Ambrosova<sup>1</sup>, Ganzorig Sh<sup>2</sup>, K. I. Ukolova<sup>3</sup>, T.A. Rafalskaya<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin), 630008, Russia, Novosibirsk, Leningradskaya street, 113, galina-ambrosova@ya.ru

<sup>2</sup>State Unitary Enterprise «Vodokanal» of Ulaanbaatar (Mongolia), gannomin@yandex.ru

<sup>3</sup>Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin), 630008, Russia, Novosibirsk, Leningradskaya street, 113, kristinaukolova1998@gmail.com

<sup>4</sup>Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin), 630008, Russia, Novosibirsk, Leningradskaya street, 113, rafalskaya.ta@ya.ru

**Abstract:** The problem of wastewater treatment in the city of Ulaanbaatar and ways to solve it are described. The influence of insufficient treated urban wastewater on the condition of reservoirs in the Selenga River basin is indicated.

**The subject of the study.** Two municipal wastewater treatment complexes are being considered: a functioning one, built in 1964, and one under construction, which is scheduled to be commissioned at the end of 2025. The design parameters of the wastewater used in the design of the new sewage treatment plant complex, as well as the average actual values of the indicators for 2023, are given. The possibilities of functioning wastewater treatment plants operating using outdated technology, which provides for a reduction in two indicators in the wastewater: suspended solids and total BOD, are evaluated. The complex under construction with a capacity of 250 thousand m<sup>3</sup> per day is designed to purify wastewater flowing in two streams: stream "A" (household fecal effluents), stream "B" (a mixture of household fecal and industrial effluents). According to the project, mechanical purification, complete biological purification with nitrification and denitrification, post-treatment and disinfection on granular filters are used for household and fecal effluents, and for industrial ones, physico-chemical purification is provided, followed by biological purification and post-treatment of effluents.

**Research methods.** For both facilities (functioning and under construction), design estimates were studied, the technical condition was examined in detail, data from laboratory and production control of the functioning facility were analyzed, and a verification calculation of the complex under construction for the actual values of pollution was performed. It has been established that the technology of the complex under construction is designed to receive household fecal effluents along the "A" stream and chromium-containing effluents along the "B" stream. The survey showed that wastewater containing industrial effluents will flow through both streams for treatment. In both streams, the chromium content is so low that it cannot affect the operation of the biological purification unit. However, the active reaction (pH) of both streams is at the level of 9-12.

**Results.** Studies have been conducted to adjust the technology of wastewater treatment of the complex under construction. Reagents have been selected to neutralize effluents before they are fed to the biological treatment unit. The best option is to use a complex represented by an acidic reagent (aluminum oxychloride) and sulfuric acid.

**Conclusions.** In the future, it is desirable to move the industrial complex, including tanneries, dyeing and wool washing factories, outside the city, providing for them local sewage treatment plants in two or even three stages, which will exclude accidental or intentional discharges of industrial effluents to urban structures.

**Key words:** wastewater, wastewater treatment plants, mechanical, biological, physico-chemical purification and post-treatment of wastewater, sludge pads.