

# Современные технологии очистки сточных вод в Италии: полезный опыт

Д.А. Данилович,  
КАНД. ТЕХН. НАУК,  
РУКОВОДИТЕЛЬ  
ЦЕНТРА ТЕХНИЧЕСКОЙ  
ПОЛИТИКИ  
И МОДЕРНИЗАЦИИ  
В ЖКХ Ассоциации  
«ЖКХ и ГОРОДСКАЯ  
СРЕДА»,  
ЭКСПЕРТ-ДИРЕКТОР  
ЖУРНАЛА «НДТ»

Рис. 1.  
Общий вид  
ОС «Филоттрано»  
(на переднем плане –  
передвижное крановое  
оборудование)

Предлагаемая вниманию читателей статья знакомит с результатами использования на очистных сооружениях мембранного биореактора (МБР), работающего по самотечной схеме (без вакуумных насосов), и инновационного сооружения доочистки. Оба объекта представляют существенный интерес для отечественных водоканалов в условиях нового законодательства.

Автор, в составе группы специалистов посетивший оба объекта, комментирует применяемые технологии с позиций возможности их применения в российских условиях.



### Очистные сооружения «Филоттрано»

Очистные сооружения (ОС) коммуны (муниципалитета) Филоттрано (Filottrano), расположенные в провинции Анкона, выполнены на основе МБР, созданного на мембранных модулях компании Альфа Лаваль. ОС рассчитаны на 11 тыс. эквивалентных жителей (нагрузка по БПК<sub>5</sub> – 660 кг/сут) и максимальный приток сточных вод – 2340 м<sup>3</sup>/сут. ОС работают с конца 2016 г. (рис. 1). В сухой период в настоящее время ОС принимают около 500 м<sup>3</sup>/сут. Использование на них МБР обусловлено не требова-

ниями по качеству очистки, а чрезвычайно стесненной площадкой: она зажата между откосом к реке и дорогой.

Технологическая схема очень проста: стоки проходят вначале речечную решетку с прозорами 15 мм, после чего поступают в приемный резервуар КНС. Оттуда насосами подаются на сооружения предварительной механической очистки (рис. 2) в составе заблокированного сита с отверстиями 1,5 мм и песколовки, расположенные в погодных условиях Италии под навесом, после чего поступают в биореакторы.



Рис. 2. Предварительная механическая очистка

Проектом предусмотрены две независимых линии биологической очистки, каждая из которых состоит из двух биореакторов объемом по 125 м<sup>3</sup> каждый (рабочая глубина 5 м) и двух мембранных отделений объемом примерно по 100 м<sup>3</sup> каждое. В них установлены 5 линий модулей по 4 штуки в каждой, площадь каждого из модулей – 462 м<sup>2</sup>. Таким образом, общая площадь использованных мембран составляет 9240 м<sup>2</sup>. Среднесуточная расчетная нагрузка на мембрану принята весьма низкой: примерно 10 л/м<sup>2</sup> в час (в течение суток при увеличении притока она может быть увеличена). Для мембран нагрузка в значительной сте-

пени определяется температурой сточных вод, а в дождливые дни зимой в центральной Италии она весьма низкая и может составлять менее 10 °С. На рис. 3 приведена зависимость производительности мембран Альфа Лаваль MFM от температуры. Как видно, зависимость является почти пропорциональной, с более резким снижением при температуре менее 18 °С.

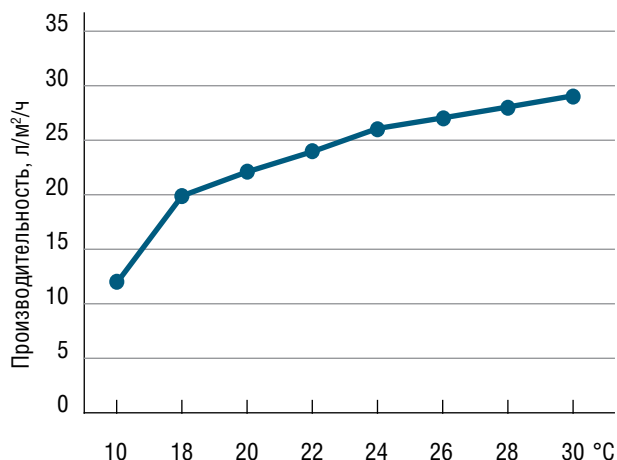


Рис. 3. Зависимость производительности листовых мембран MFM от температуры сточных вод (данные компании Альфа Лаваль)

На ОС Филоттрانو использована нитриденитрификация с чередованием аэробных и анаэробных условий как по времени, так и с разделением в пространстве. Основной объем биореактора работает в течение 60–80 мин как денитрификатор и всего около 25 мин – как нитрификатор. Управление переменной аэрацией происходит автоматически по сигналам от датчиков концентрации растворенного кислорода и окислительно-восстановительного потенциала. Причина столь существенной доли анаэробных условий заключается в том, что около 40 % времени ил, кроме биореактора, проводит в мембранном отделении, где условия полностью аэробные. Таким образом, доля

<sup>1</sup> На стр. \_\_\_ приведена основная информация по плоским (листовым) мембранам Альфа Лаваль для очистки сточных вод.

## ОЧИСТКА СТОЧНЫХ ВОД

аноксидных условий в общем времени обработки в системе не превышает 40 %, что вполне нормально для сточной воды, не подвергавшейся осветлению. Кроме упомянутых показателей, измеряемых датчиками, в биореакторах также контролируется концентрация иловой смеси. На момент озонирования с ОС она составляла около 5,5 г/л. Концентрация в мембранном отделении была выше – около 8,5 г/л. В период больших притоков предусмотрено добавление уксусной кислоты как внешнего субстрата для денитрификации.

Общий объем емкостей в одной из линий (в летний сезон она работает одна, вторая выключена) составляет около 450 м<sup>3</sup>, что обеспечивает в этот период (без дождя) время пребывания в МБР около 21 часа, включая процесс илоразделения. Мембраны могут находиться не в работе, под заливом. Для того чтобы они не начинали издавать неприятных запахов (не «протухали», хотя самим мембранам это не вредит), в них до 2-х недель периодически подается небольшое количество раствора гипохлорита натрия, затем – раствора бисульфита натрия.

Циркуляция иловой смеси в мембранное отделение и обратно происходит самопроизвольно за счет эрлифтного эффекта системы аэрации. Через нижние окна она поступает в отделение, а через верхние переливные проемы возвращается назад за счет более высокого уровня в интенсивно аэрируемом отделении (рис. 4).

Внешний вид сооружений биологической очистки приведен на рис. 5.

Пермеат, отделенный на каждом из 4-х мембранных модулей под действием только гидростатической силы, через регулирующий и отсекающий клапаны, а также расходомер (рис. 6) поступает в общий коллектор и по нему изливается в сборную емкость пермеата (рис. 7). Из этой емкости пермеат через перелив поступает в отводящий трубопровод на сброс. Регулирующий клапан поддерживает трансмембранное давление на уровне не выше необходимого, в соответствии с уровнем в сооружениях биологической очистки).



Рис. 4. Шиберы между биореактором и мембранным отделением (фото сделано при запуске ОС, на котором окна закрыты шиберами)



Рис. 5. Сооружения биологической очистки. На переднем плане – биореактор, за ним – мембранное отделение



**Рис. 6. Трубопроводы выгрузки пермеата и химической промывки**



**Рис. 7. Сборная емкость пермеата**

Дополнительное обеззараживание не предусмотрено, т. к. после мембраны оно считается в Италии достаточным.

В едином производственном помещении также расположены 8 роторных воздухоуловов Aerzen (Австрия) и система химической промывки мембран (безразборные СІР-мойки, рис. 8). Промывка проводится обратным током раствора раз в 3 месяца, по достижении трансмембранного давления 60 см вод. ст., либо по времени (по регламенту Альфа Лаваль). На промывку подается избыточный относительно пропускной способности мембраны расход, что приводит к циркуляции раствора через нее и выносу отложений, возникших внутри и не растворившихся полностью.



**Рис. 8. СИСТЕМА БЕЗРАЗБОРНОЙ СІР-МОЙКИ. НА ПЕРВОМ ПЛАНЕ – БАК ДЛЯ СОЗДАНИЯ ГИДРОСТАТИЧЕСКОГО ДАВЛЕНИЯ, НА ЗАДНЕМ – БАК ДЛЯ РАСТВОРА РЕАГЕНТА**

Нормативные требования и фактическое качество очищенной воды приведены в табл. 1.

**ТАБЛИЦА 1. НОРМАТИВНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ И ФАКТИЧЕСКОЕ КАЧЕСТВО ОЧИЩЕННОЙ ВОДЫ**

Показатель	Требования, мг/л	Фактическое качество, мг/л
БПК <sub>5</sub>	25	< 1
ХПК	125	< 10
Взвешенные вещества	35	< 5
Общий азот	10	< 5
Общий фосфор	1	< 0,05

Таким образом, фактическое качество значительно лучше, чем нормативные требования (они базируются еще на директиве

## ОЧИСТКА СТОЧНЫХ ВОД

ЕЭС № 271 от 1991 г.). Обращает на себя внимание очень низкая концентрация фосфора. Технология не содержит специальных решений по удалению фосфора, можно предположить, что он удаляется в результате того, что длительное время денитрификации в биореакторе также создает эффект анаэробной зоны.

Избыточный активный ил обезвоживается на центрифуге (также производства Альфа Лаваль, модель G2, рис. 9), с использованием жидкого (так называемого трехмерного) флокулянта.



Рис. 9. Центробежный декантер

Имевшийся в контейнере обезвоженный осадок выглядел весьма сухим и рассыпчатым (рис. 10), по оценке никак не выше 70 % влажности. Учитывая, что обезвоживанию подвергается только избыточный активный ил, такое качество осадка удивило даже представителей компании производителя. По их мнению, кроме возможностей самого агрегата, причиной этого может быть использование очень эффективного жидкого флокулянта. Следует отметить, что на обезвоживание рекомендуется подавать ил не из мембранного отделения, где он гуще примерно вдвое, а из биореактора, т.к. интенсивная аэрация в мембранном отделении (рис. 11) ухудшает состояние флоккул и, соответственно, фильтрационные свойства ила. В биореакторе же флоккулы восстанавливаются, и фильтрационные свойства оптимальны.



Рис. 10. Избыточный активный ил, обезвоженный на центробежном декантере Альфа Лаваль на ОС Филоттрано



Рис. 11. Аэрация в мембранном отделении

Обезвоженный осадок вывозится на полигон ТБО, где используется в качестве промежуточного слоя, которым пересыпают отходы.

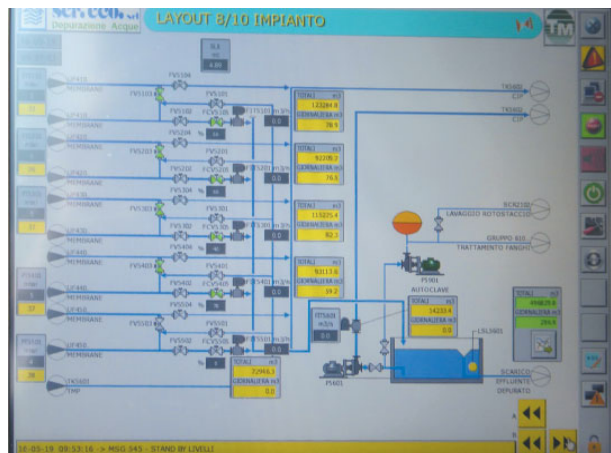
ОС работают в автоматическом режиме, постоянное присутствие персонала не требуется. Вся информация выводится в центральную диспетчерскую эксплуатирующей компании. Один из экранных кадров приведен на рис. 12. Обезвоживание осадка производится периодически, в присутствии персонала.

Анализируя увиденное на ОС коммуны Филоттрано, хотелось бы отметить следующее:

- МБР, выполненный на основе листовых мембран MFM производства Альфа Лаваль,

обеспечивает необходимую пропускную способность и прекрасное качество очистки,

- установка проста по конструкции и в эксплуатации,
- центрифуга Альфа Лаваль обеспечивает очень глубокое обезвоживание избыточного активного ила,
- решение по подаче воздуха весьма дорогостоящее: на каждое из 8-ми аэрируемых отделений приходится своя воздуходувка, включаемая и выключаемая по мере необходимости (обдув мембран также не постоянен, в целях экономии энергии).



**Рис. 12. Экранный вид SCADA: СИСТЕМА ОТВОДА ПЕРМЕАТА**

Следует отметить, что возможности и свойства МБР гораздо больше подходят не к условиям и требованиям Европы, особенно южной, а более применимы для российских условий и требований (например, по новому, пока еще не вступившему в силу законодательству – при сбросе в водные объекты категории А). Дело в том, что при общеславной системе водоотведения пиковые суточные притоки в 3–4 и более раз превышают притоки в сухую погоду. И, даже с учетом возможного кратковременного форсирования удельного расхода через мембрану вынужденный запас их производительности очень велик, т.к. сильные ливни в том регионе приводят к резкому снижению температуры сточных вод и уменьшают пропускную способность мембран. Для сравнения, в российских условиях, при ми-

нимальной температуре сточных вод, например, 14 °С, это же количество мембран могло бы принимать около 3500 м<sup>3</sup>/сут по среднегодовому, а не по пиковому, притоку. Также для такого количества менее концентрированных сточных вод был бы достаточным и объем биореакторов. Ну и, безусловно, наиболее комфортно, с точки зрения температурных и гидравлических условий, применение МБР на промстоках, для которых температура существенно выше и, как правило, используется хорошее усреднение расхода.

Безусловно, работа на мембранах требует как от проектировщиков, так и от операторов навыков, учитывающих свойства мембран. Так, например, в средней полосе, где опадают листья, не допускается использование открытых поверхностей биореакторов (и любых других сооружений после сит), т.к. продукты разложения листьев при попадании на поверхность мембран могут их засорить. Это может относиться даже к тополиному пуху: для мембран нежелательны любые включения, которые могут «армировать» фильтрующий слой, который возникает на их поверхности при работе. Также очень важно обеспечить глубокую биологическую очистку по БПК. Если пермеат будет содержать значимую (свыше 15–20 мг/л) концентрацию БПК<sub>5</sub>, то это приведет к постепенному образованию биопленки не только снаружи мембран, но и внутри и потребует учащенных промывок. В нормальных же условиях эксплуатации компания Альфа Лаваль заявляет срок работы мембран около 10 лет, который подтвержден на объектах Европы.

## ОЧИСТНЫЕ СООРУЖЕНИЯ «МАРЧИАНО»

На ОС коммуны Марчиано (Marsciano), расположенной в провинции Перуджа, использована обычная технология биологической очистки с нитри-денитрификацией и реагентным удалением фосфора (первичного осветления нет). Удаление азота осуществляется по схеме ДН (с предвключен-

## ОЧИСТКА СТОЧНЫХ ВОД

ной денитрификацией), при этом аэрация в зоне нитрификации осуществляется не постоянно, а периодически. В этом бассейне канализования реализован частичный переход от общесплавной к раздельной системе. После ввода в эксплуатацию новых ОС они принимают преимущественно хозяйственно-бытовой сток, а старые после реконструкции будут принимать ливневой. Объект, который мы здесь посетили, совсем новый, он находится на стадии технологической пуско-наладки, но процесс очистки уже идет в полном объеме.

ОС «Марчиано» рассчитаны на 18 тыс. эквивалентных жителей и максимальный приток сточных вод 400 м<sup>3</sup>/час. Инвестиции в этот объект составили около 3 млн. евро. Он является частью инвестиционной программы эксплуатирующей организации Umbra Aqua, которая принадлежит совместно римской муниципально-частной компании и ряду местных муниципалитетов. Umbra Aqua эксплуатирует 38 ОС канализации, обслуживающих около 550 тыс. жителей. Значительная часть инвестпрограммы финансируется за счет ЕС, остальная – за счет специального повышения тарифа (в настоящее время совокупный тариф за водоснабжение и водоотведение составляет 2,5 евро/м<sup>3</sup>). Характерно, что в эксплуатации этих ОС, расположенных более чем в 100 км от Филоттрано, принимает участие одна и та же бригада специалистов.

Ознакомление с сооружениями биологической очистки показало, что их очевидной проблемой является вспенивание (рис. 13). Эксплуатация вынуждена удалять пену илососом и вывозить с ОС. Тем не менее, вторичные отстойники покрыты характерным для вспенивания слоем пенки всплывшего ила («блинчики», рис. 14), который, безусловно, частично выносится с очищенной водой.

После вторичных отстойников расположено сооружение доочистки, ради которого мы посетили этот объект – Изо-Диск. Для проектного расхода 400 м<sup>3</sup>/час оно оказалось неожиданно компактным (рис. 15).



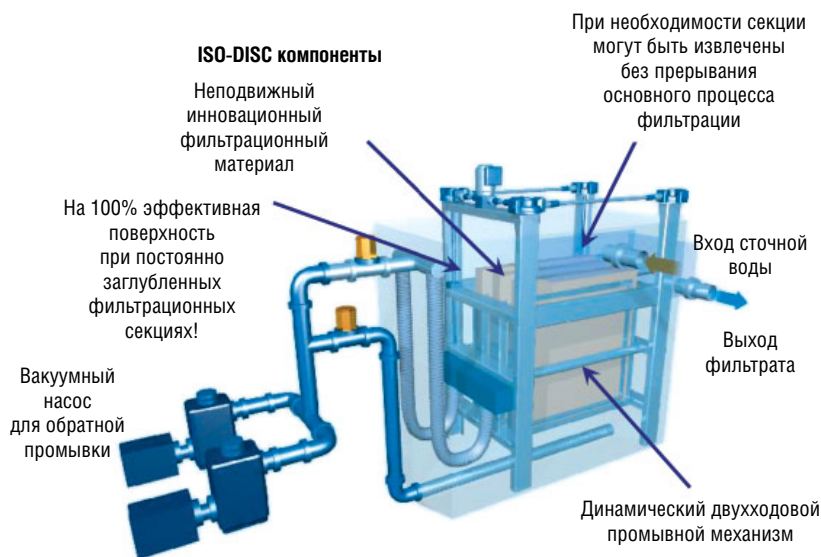
Рис. 13. Зона аэрации аэротенка на ОС «Марчиано»



Рис. 14. Пена на поверхности вторичного отстойника



Рис. 15. Общий вид сооружения доочистки Изо-Диск



**Рис. 16. СХЕМА КОНСТРУКЦИИ Исо-Диск**



**Рис. 17. Внешний вид установки Исо-Диск с 3-мя фильтрующими секциями (без корпуса и устройства промывки)**

По отмеченной ситуации со вспениванием на доочистку поступает как минимум 20-25 мг/л взвеси, что удовлетворяет весьма мягким нормам ЕС и Италии (см. табл. 1). Причиной использования доочистки являются не нормативы на сбросе, а необходимость применения УФ обеззараживания стоков. Оно требуется в Италии на новых объектах, а на старых ОС сфера применения химического обеззараживания с каждым годом сужается<sup>2</sup>.

Исо-Диск компании Альфа Лаваль представляет собой стационарный (неподвижный) тканевый фильтр (рис. 16 и 17).

Конструкция установки Исо-Диск<sup>3</sup> представляет очень большой интерес, т.к. обладает в целом рядом преимуществ по сравнению с традиционными для российского рынка дисковыми фильтрами:

- изолированность каждой секции при работе,

- возможность извлечения секций по одиночке без остановки фильтра,
- использование неподвижных фильтрующих секций,
- использование 100 % фильтрующей поверхности секций,
- фильтрация снаружи внутрь,
- промывка без вращающихся частей и сопел, с помощью двухходового вакуумирующего устройства, промывающего каждую секцию поочередно,
- отсутствие необходимости в перекрытиях (кожухах).

Сравнение с традиционными для доочистки зернистыми фильтрами еще более не в их пользу. Исо-Диск, также как и дисковые фильтры, не нуждается в напорной промывке, резервуарах, работает при высоком содержании взвеси, не нуждается в замене загрузки. Технологические параметры фильтров «Исо-Диск» приведены в табл. 2.

<sup>2</sup> Аналогичные нормы записаны в российском справочнике по НДТ ИТС10-2015.

<sup>3</sup> Название никак не соответствует конструкции, т. к. какие либо диски, подвижные, либо неподвижные, отсутствуют. С этим «недостатком» при перечисленных достоинствах можно смириться, пока компания не проведет ребрендинг этой системы.



## ОЧИСТКА СТОЧНЫХ ВОД

**Таблица 2. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ФИЛЬТРОВ «Изо-Диск» (по данным компании Альфа Лаваль)**

Параметр	Значение
Нормальная производительность	7,9 м <sup>3</sup> /ч/м <sup>2</sup>
Пиковая производительность	16 м <sup>3</sup> /ч/м <sup>2</sup>
На входе:	
Нормальная концентрация ВВ	10–30 мг/л
Максимальная концентрация ВВ	50 мг/л
Средняя концентрация ВПК	10–20 мг/л
На выходе:	
Концентрация ВВ	3–5 мг/л
Концентрация ВПК	3–5 мг/л

По данным от службы эксплуатации ОС «Марчиано» приведенные параметры выдерживаются в работе. Действительно, мы наблюдали излив из секций весьма чистой воды (рис. 18), визуалью не содержащей значимых частиц ила (кроме очень мелких, белесых).



**Рис. 18. Излив чистой воды из внутреннего пространства секций Изо-Диска**

В составе работающего на ОС «Марчиано» Изо-Диска семь фильтрующих секций. Вокруг каждой из них расположены всасывающие устройства, перемещаемые при необходимости вверх-вниз вдоль поверхности ткани. Отвод от каждой секции подключен к вакуум-магистрالي через индивидуальный клапан (на рис. 19 – на заднем плане, на рис. 20 – крупным планом). Промывка включается при достижении заданного уровня в фильтровальной камере.



**Рис. 19. Изо-Диск. Вид вдоль фильтрующих элементов**



**Рис. 20. Клапаны на системе промывки фильтрующих элементов**

Специальная фильтрующая ткань по своей структуре напоминает ворсистый ковер, а процесс ее промывки – использование мо-

ющего пылесоса. Срок службы ткани – не менее 5 лет.

Сооружение чрезвычайно компактно: одна секция максимального размера  $1,8 \times 2,4$  м позволяет доочищать  $465\text{--}475$  м<sup>3</sup>/час, удерживая частицы свыше 10 мкм. В 1 м ширины сооружения уместятся не менее 3-х элементов. Например, для ОС, принимающей 100 тыс. м<sup>3</sup>/сутки, площадь для размещения собственно фильтрующих элементов не превысит 50 м<sup>2</sup>, а общая площадь установки – 100 м<sup>2</sup>.

Очень существенно, что в отличие от дисковых фильтров, минимальная производительность системы Изо-Диск очень невелика. Стандартный минимальный элемент имеет производительность всего 140 м<sup>3</sup>/сут, стандартная установка на их основе – 420 м<sup>3</sup>/сутки.

Важно отметить, что в российских условиях такая система может использоваться не только для целей собственно доочистки, но и для реализации двухступенчатого ило-разделения.

Перевод ОС на технологии удаления азота и фосфора приводит к многократному увеличению как гидравлической нагрузки на вторичные отстойники (коэффициент рециркуляции – до 0,75, при проектном значении по старой технологии обычно на уровне 0,3), так и массовой – доза ила до 3,5 г/л (и более) при проектном значении для старой технологии обычно 1,5 г/л. Это приводит к тому, что даже на гидравлически недогруженных сооружениях имеющихся вторичных отстойников может не хватать для обеспечения требуемого технологическими показателями НДТ выноса 10 мг/л (для большинства сооружений крупнее средних будет действовать такая норма). В этих условиях при наличии столь компактного сооружения фильтрационного отделения взвеси возможно идти на заведомую перегрузку существующих вторичных отстойников с последующим достижением нормативов с помощью Изо-Дисков. Важно при этом не превысить максимально допустимую на-

грузку на вторичные отстойники по сухому веществу, иначе ил не будет успевать отделяться от воды и уплотняться в нижних слоях, вынос из отстойников будет недопустимо высоким. Данная нагрузка должна быть обязательно определена расчетом<sup>4</sup>.

На ОС «Марчиано» обезвоживание избыточного активного ила полностью аналогично ОС «Филоттрано», с теми же прекрасными результатами (рис. 21).



Рис. 21. Избыточный активный ил, обезвоженный на центробежном декантере Альфа Лаваль на ОС «Марчиано»

### Выводы

Опыт ознакомления с современными ОС в Италии показывает, что использованные на них технические решения по глубокой очистке сточных вод и доочистке вполне заслуживают применения в российских условиях, при наличии соответствующих для этого условий. ●

*Автор благодарит российское и итальянское представительства компании Альфа Лаваль, а также компании «Umbra Aqua» за возможность ознакомиться с описанными объектами.*

<sup>4</sup> Подробнее см. Данилович Д.А., Эпов А.Н. Проектирование сооружений биологической очистки с удалением азота и фосфора в соответствии с требованиями НДТ: разработаны методические рекомендации. НДТ. 2019. № 1. С. 6.