

DOI 10.15593/2409-5125/2019.02.03

УДК 628.336.7

**М.С. Дьяков**

Уральский государственный научно-исследовательский институт  
региональных экологических проблем

## **СТРАТЕГИЯ ОБРАЩЕНИЯ С ТВЕРДЫМИ ОТХОДАМИ КОММУНАЛЬНЫХ ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЙ**

Рассмотрены методы обращения с твердыми отходами коммунальных очистных сооружений, направления переработки и утилизации, реализованные за рубежом и в России. Дана оценка существующим стратегиям обращения с осадками сточных вод и перспективным направлениям их переработки и утилизации, обеспечивающих снижение экологической нагрузки на объекты окружающей среды, использования их ресурсного и энергетического потенциала экологически безопасными, технически возможными и экономически доступными методами.

Предложена классификация населенных пунктов в зависимости от численности населения, структуры промышленности, реализованной на той или иной урбанизированной территории. Выявлена зависимость состава сточных вод и осадка, образующегося в процессе их очистки, от масштабов урбанизированных территорий. Определены критерии выбора технологии обращения с осадком сточных вод при реализации стратегии развития предприятий коммунального хозяйства.

Установлено, что для крупных мегаполисов наиболее приемлемым методом переработки осадков сточных вод (ОСВ) будут служить термические методы с перспективными направлениями использования продуктов переработки. Малые населенные пункты и средние города в силу низкой токсичности образующихся твердых отходов коммунальных очистных сооружений могут их использовать в качестве удобрений согласно действующему законодательству. Приведенные в публикации данные позволят предприятиям коммунального хозяйства снизить риски выбора низкоэффективной и экономически нецелесообразной технологии при переходе на новый уровень обращения с ОСВ.

**Ключевые слова:** осадки сточных вод, избыточный активный ил, ресурсный и энергетический потенциал, перспективные направления переработки, сжигание, пиролиз, сбраживание, удобрения, утилизация.

Процесс очистки коммунальных сточных вод сопровождается образованием твердых отходов, которые представляют собой многокомпонентные системы. К твердым отходам коммунальных очистных сооружений согласно общепринятой классификации относятся отходы первичных отстойников – сырой первичный осадок и отходы вторичных отстойников – избыточный

---

Дьяков М.С. Стратегия обращения с твердыми отходами коммунальных очистных сооружений // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Прикладная экология. Урбанистика. – 2019. – № 2. – С. 35–48. DOI: 10.15593/2409-5125/2019.02.03

Dyakov M. Strategy of Handling of Municipal Wastewater Treatment Facilities Sewage Sludge. PNRPU. Applied Ecology. Urban Development. 2019. No. 2. Pp. 35-48. DOI: 10.15593/2409-5125/2019.02.03

активный ил. Первичный осадок образуется на стадии механической очистки (первичного осветления) и является, таким образом, результатом применяемого способа физического отделения осаждающихся веществ от воды. Цвет такого осадка – от серо-черного и серо-коричневого до желтого. Осадок содержит преимущественно легкораспознаваемые составные вещества, такие как фекалии, остатки фруктов, бумага, туалетная бумага и пр. После забора из системы в нем быстро начинается процесс брожения, сопровождающийся соответствующим запахом. Органический отход, накапливающийся на биологической стадии очистки, называется также вторичным или избыточным осадком и образуется вследствие увеличения численности микроорганизмов в процессе очистки сточных вод. Такой осадок имеет буроватый цвет, при этом он отличается большей гомогенностью, нежели первичный осадок [1].

В процессе обращения с твердыми отходами коммунальных очистных сооружений, как правило, их смешивают, при этом образуется смесь осадков сточных вод и избыточного активного ила. В дальнейшем полученную смесь подвергают процессу обезвоживания с использованием механического или термического воздействия с последующей ее утилизацией или размещением в окружающей среде [2]. С целью исключения терминологического противоречия смесь осадка и избыточного активного ила будем называть осадком сточных вод (ОСВ). Вследствие негетерогенного характера таких смесей и сильных различий в отношении содержания их составных частей найти или определить единый стандартный состав осадков сточных вод не представляется возможным, можно лишь представить состав типового осадка сточных вод, который образуется на типовых коммунальных очистных сооружениях.

ОСВ – сложный комплекс, который состоит на 60 % (в пересчете на сухое вещество) из органической части и на 40 % из минеральной составляющей. Органическая часть представляет собой биомассу, включающую частично окисленные загрязняющие вещества сточных вод, а также биогенные элементы, такие как азот- и фосфорсодержащие соединения, соли калия. Наряду с питательными веществами для растений ОСВ содержит органические вредные вещества, фармакологические группы препаратов (гормональные вещества, антибиотики и др.), тяжелые металлы, патогенные организмы и иные компоненты, оказывающие существенное влияние на выбор метода обращения с данным видом отхода [3].

Рост объемов образования ОСВ и содержания в них опасных загрязняющих веществ в количествах, которые могут формировать неприемлемо высокий уровень экологической техногенной нагрузки на объекты окружающей среды и население, привели к эволюции стратегий обращения с ними.

В настоящее время существует широкий спектр методов переработки ОСВ. Основное распространение в мировой и отечественной практике получили следующие методы:

- термические (сжигание, пиролиз, газификация);
- сбраживание (аэробное и анаэробное);
- получение удобрений;
- размещение на иловых картах или илонакопителях;
- совместное размещение на полигонах с твердыми коммунальными отходами;
- компостирование.

До второй половины прошлого века в нашей стране и европейских странах традиционно ОСВ достаточно широко использовали после относительно малозатратных методов обработки в качестве заменителя натуральных удобрений, материалов для кондиционирования почв, а при отсутствии спроса на них избыточное количество ОСВ направлялось на захоронение. Действительно, осадки являются ценным сырьевым материалом, который содержит в своем составе необходимые для растений биогенные элементы питания, такие как азот, фосфор и калий, а также значительное количество органического вещества и микроэлементов, необходимых для повышения плодородия почв [4]. Применение описанного подхода по отношению к ОСВ можно также объяснить развитием промышленности, малоизученностью отхода и отсутствием методологических подходов к комплексному анализу риска для населения и природной среды.

В настоящее время в Российской Федерации и ряде европейских стран существует ряд ограничений на депонирование ОСВ и их использование в качестве удобрений. Накладываемые ограничения связаны с требованиями санитарных норм к эпидемиологической и токсикологической безопасности ОСВ<sup>1</sup>. Нормы внесения осадков устанавливаются в зависимости от их удобрительной ценности и содержания тяжелых металлов в почвах и осадках. Запрещается внесение осадков, если содержание тяжелых металлов в них превышает нормы, установленные ГОСТ Р 54651–2011 «Удобрения органические на основе осадков сточных вод. Технические условия». Директивные документы ЕС регламентируют применение ОСВ в зависимости от способа их переработки в следующих областях (табл. 1).

Европейский Союз вносит изменения в директиву 86/278/ЕС по охране окружающей среды, особенно почв, при использовании ОСВ в сельском хозяйстве в сторону ужесточения норм и правил [5]. Наблюдаемая тенденция

---

<sup>1</sup> СанПиН 2.1.7.573–96. «Гигиенические требования к использованию сточных вод и их осадков для орошения и удобрения».

в перспективе может привести к ограничению возможности применения ОСВ в качестве удобрения или даже полностью исключит ее. Так, непосредственное применение ОСВ в сельском хозяйстве в качестве удобрения или вывоз для захоронения на полигоны твердых коммунальных отходов во многих странах будут запрещены. Проблема использования ОСВ в качестве удобрений усугубляется еще тем, что их неорганический состав предугадать очень сложно, так как он зависит от степени загрязнения поступающих сточных вод и от условий процесса биологической очистки.

Таблица 1

Направления использования ОСВ в зависимости  
от глубины его переработки

№ п/п	Области применения	Степень переработки
1	Пастбища, кормовые культуры	Высокая
2	Сельскохозяйственные поля, выращивание фруктов и овощей, сады, виноградники	Высокая
3	Парки, зоны отдыха	Средняя
4	Леса, восстанавливаемые территории	Низкая

Еще одним продуктивным направлением переработки ОСВ является сбраживание в метантенках. В результате сбраживания достигаются три основные цели: стабилизация, обеззараживание осадка и уменьшение его объема [6]. Кроме того, процесс сбраживания ОСВ сопровождается образованием биогаза, при сжигании которого может быть получена тепловая и электрическая энергия. Биогаз более чем наполовину состоит из метана, примерно на 60 %, кроме того, в нем содержится диоксид углерода, около 35 %, а также другие газы – водяной пар, сероводород, монооксид углерода, азот и пр. При анаэробном сбраживании происходит разложение органической составляющей ОСВ под действием анаэробных бактерий, микроорганизмов. Следует отметить, что деятельность анаэробных бактерий развивается при определенных благоприятных условиях, которые должны обеспечиваться на протяжении всего периода переработки отхода (температура, химический состав ОСВ, содержание в нем токсичных веществ, влажность, содержание ионов тяжелых металлов) [7].

Осадок, сброженный в термофильных условиях, может использоваться в качестве удобрений как в жидком, так и в обезвоженном состоянии. Реализация технологии переработки ОСВ методом сбраживания в мегополисах традиционно заканчивается вывозом сброженного осадка на полигоны твердых коммунальных отходов или его размещением на иловых

картах или илонакопителях. Подобная реализация метода переработки ОСВ связана с тем, что ионы тяжелых металлов способны ингибировать процессы биохимической деструкции и значительно замедлять скорость их протекания. Процесс деструкции ОСВ сопровождается уменьшением его органической составляющей, следовательно, происходит концентрирование ионов тяжелых металлов в единице массы отхода. В результате такого процесса переработки полученный продукт обладает высокой токсичностью и становится непригоден для использования в качестве удобрения для сельского хозяйства, озеленения городской территории или лесовосстановительных работ. Положительным аспектом реализации данной технологии в мегаполисах является выработка метана, который может использоваться для нужд самого предприятия коммунального хозяйства, например для постоянного подогрева самого осадка. Теплотворная способность газа в среднем составляет  $21 \text{ МДж/м}^3$ , что существенно ниже любого из традиционных видов топлива [7].

Наиболее распространенный метод переработки ОСВ, получивший внедрение на территории Российской Федерации, заключается в утилизации осадка путем его размещения на иловых картах и/или илонакопителях, а также совместном складировании на полигонах с твердыми коммунальными отходами. Данный подход к обращению с ОСВ не отвечает современным требованиям и приводит к задалживанию значительных земельных ресурсов, безвозвратной потере энергетического и ресурсного потенциала, а также загрязнению объектов окружающей среды. Существуют сложности с переработкой ОСВ как вновь образующихся, так и накопленных в разные годы эксплуатации очистных сооружений. Осложняет проблему переработки накопленных осадков сточных вод факт использования разных технологических приемов и реагентного хозяйства в разные годы эксплуатации очистных сооружений. Также в процессе длительной биodeградации отхода происходит концентрирование ионов тяжелых металлов в единице массы отхода, что снижает вероятность использования его в качестве удобрения, технического грунта или рекультивационного материала.

Наибольший интерес в настоящее время представляют методы термической переработки ОСВ, позволяющие использовать ресурсный и энергетический потенциал отхода [8]. Следует отметить, что основными направлениями термической переработки ОСВ является пиролиз (низкотемпературный и среднетемпературный), газификация (высокотемпературный пиролиз) и окислительное обезвреживание (сжигание).

С использованием многолетнего опыта обращения с ОСВ сформировалась мировая практика применения наиболее оптимального метода его переработки – огневое обезвреживание (сжигание). Данный метод широко используется в странах с развитой и дифференцированной экономикой, максимально использующих все доступные им ресурсы и при этом старающихся заботиться об окружающей среде [9]. Метод сжигания ОСВ является наиболее надежным и отработанным термическим методом переработки данного вида отхода. В мировой практике используется широкая номенклатура установок сжигания осадков, в основном процесс проводят в реакторах с псевдооживленным слоем, или еще их называют реакторы с «кипящим» слоем. Данный метод переработки ОСВ позволяет использовать задолженный энергетический потенциал отхода путем преобразования тепла отходящих газов посредством силовых агрегатов различной конструкции в электрическую энергию. Также встречается и использование тепла отходящих газов в качестве агента-теплоносителя для отопления районов города и собственных нужд [10, 11].

Еще одним продуктом переработки ОСВ методом сжигания является зола утилизации. В настоящее время зола, получаемая на заводах сжигания, в основном вывозится на полигоны твердых коммунальных отходов или складывается совместно с отходами производства и потребления. Зольный продукт, полученный при сжигании осадков сточных вод, представляет собой пылевидную фракцию, в состав которой входят следующие соединения: двуокись кремния, оксидные формы пниктогенов, тяжелые металлы, которые относятся к приоритетным загрязняющим веществам. Токсичность золы зависит от состава ОСВ, а следовательно, от качества самих сточных вод, поступающих на очистку. При этом доминирующую роль играет промышленный сектор, располагающийся на конкретной урбанизированной территории и осуществляющий отвод сточных вод на городские очистные сооружения, аналогичное влияние может оказывать и малый бизнес. Примером может служить снижение поступления ртути и кадмия, что объясняется уменьшением использования этих веществ в различных изделиях, например внедрением сепараторов амальгамы в стоматологических клиниках (рис. 1), ратификацией Минаматской конвенции о ртути.

Процесс сжигания ОСВ реализован на территориях Российской Федерации, имеющих соответствующие объемы финансирования, а также целевые программы и возможность получения международных грантов. К таким территориям можно отнести города федерального значения, которые, в свою очередь, являются самостоятельными административными

единицами верхнего уровня наряду с республикой, краем, автономным округом и областью. Известен опыт Санкт-Петербурга, построившего заводы с привлечением источников финансирования Европейского Союза в рамках программы по снижению уровня загрязнения акватории Балтийского моря. Построенная заводская конъюнктура по утилизации ОСВ на территории Санкт-Петербурга позволяет решить важную проблему утилизации осадка, но не решает проблему использования отхода сжигания – зольного остатка [12].

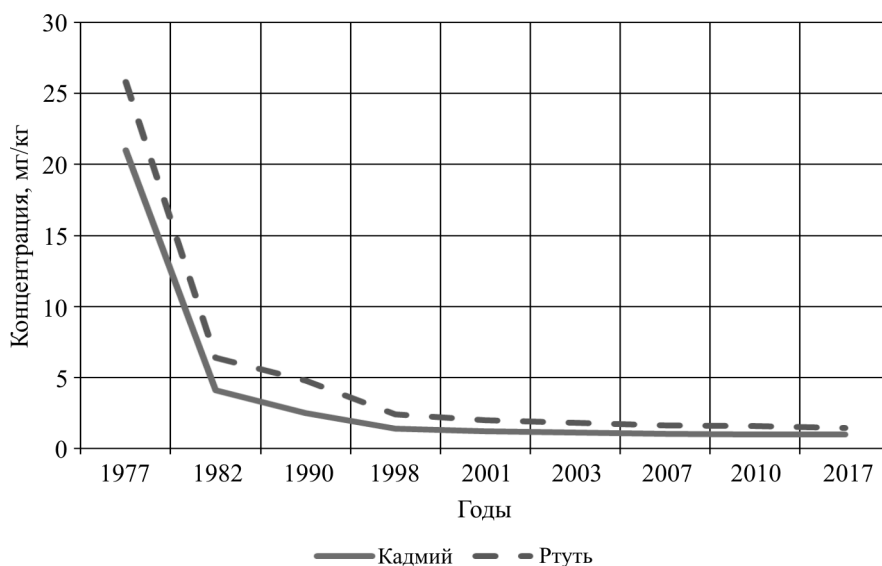


Рис. 1. Показатели концентрации кадмия и ртути в осадках сточных вод за период 1977–2017 годов

Описанный термический метод переработки осадков сточных вод позволяет решить проблему утилизации отхода путем снижения объема и частичного использования его энергетического потенциала. В свою очередь, одновременно с уменьшением объема перерабатываемого ОСВ происходит концентрирование ионов тяжелых металлов в единице массы золы, что значительно ограничивает возможные области ее применения. Также утилизация ОСВ методом прямого сжигания или газификации отхода является капиталоемким и энергозатратным процессом. Метод окислительного обезвреживания ОСВ позволяет решить проблему его утилизации регионам, имеющим соответствующее финансирование. В дотационных регионах, на наш взгляд, может найти свое применение перспективный термический метод утилизации ОСВ – пиролиз.

Несмотря на тот факт, что пиролиз осадков сточных вод – это хорошо исследованный процесс, не создано ни одной точной схемы механизма реакции. Причиной этого является очень сложная природа термического разложения ОСВ, которая состоит из множества взаимосвязанных реакций с большим количеством реагентов, промежуточных соединений, полупродуктов и продуктов реакции [13]. Основным продуктом пиролиза является карбонизат, который обладает сорбционными свойствами и может быть использован в качестве сорбента. Также остаточное количество углерода в карбонизате позволяет использовать его в качестве альтернативного твердого топлива. Еще одним продуктом пиролиза является конденсат, который по составу близок к печному топливу. Имеются наработки по улучшению его качественных характеристик. Также при пиролизе образуется большое количество неконденсирующихся газов, обладающих калорийностью и позволяющих вести процесс в автотермическом режиме.

Как видно из представленных данных, существует широкий спектр различных методов обращения с ОСВ, но отсутствует алгоритм и методология выбора конкретного метода для конкретной территории. В настоящей статье будут описаны лишь концептуальные подходы к выбору эффективного и экономически целесообразного метода переработки ОСВ.

Собственные исследования и анализ научно-технических данных, опубликованных в отечественных и зарубежных источниках, позволили установить зависимость состава осадков сточных вод, образующихся на коммунальных очистных сооружениях, от численности населения, проживающего на конкретной урбанизированной территории. Автором предлагается следующая классификация населенных пунктов Российской Федерации по численности населения:

- крупные и сверхкрупные города (население 1 млн человек и более);
- большие и крупные города (население от 250 тыс. человек до 1 млн человек);
- средние города (население от 50 тыс. человек до 100 тыс. человек);
- малые города и поселки (население менее 50 тыс. человек).

Малые города и поселки, как правило, не имеют централизованных очистных сооружений и представляют собой частный сектор, который не в полной мере снабжен выгребными ямами или септиками. Отходы, образующиеся в результате жизнедеятельности, вывозятся в места размещения отходов и на очистные сооружения, располагающиеся в близлежащих средних городах. В связи с этим в дальнейшем данные населенные пункты рассматривать нецелесообразно.



Средние города, находясь на удалении от крупных и сверхкрупных городов, технически развитых городов, как правило, имеют аналогичные системы очистки сточных вод. Однако осадки сточных вод, образующиеся на этих очистных сооружениях, по составу, характеру загрязнений и бактериальной обсемененности значительно отличаются. ОСВ, образующиеся в таких городах, как правило, относятся IV–V классу опасности, и объемы их образования незначительные. На рис. 2 представлен состав ОСВ малых населенных пунктов.

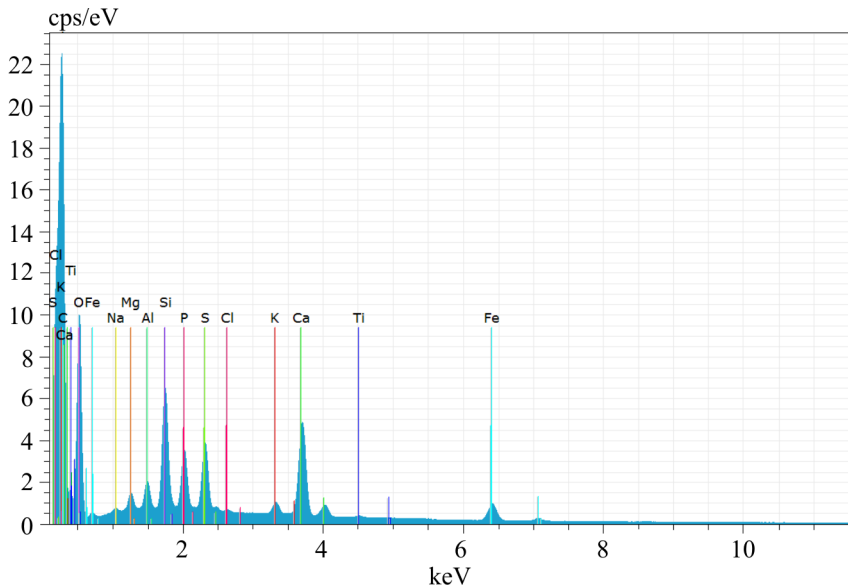


Рис. 2. Элементный состав ОСВ малых населенных пунктов

Как видно из рис. 2, элементный состав ОСВ малых населенных пунктов представлен незначительной номенклатурой тяжелых металлов в концентрациях, не превышающих ПДК/ОДК, установленных для почв. Следовательно, данные ОСВ могут быть использованы в качестве удобрения после предварительного обезвоживания или предварительной обработки методом сбраживания. Известно, что содержание тяжелых металлов в осадках носит лимитирующий характер при использовании ОСВ в качестве удобрения для сельского хозяйства.

Большие и крупные города можно разделить по следующему основанию:

- с участием промышленного сегмента в формировании состава сточных вод,
- без участия промышленного сегмента.

Осадки, получаемые от очистки сточных вод, формируемых, в том числе, промышленными предприятиями, имеют большое количество микроорганизмов, яиц гельминтов, тяжелых металлов в концентрациях значительно превышающих ПДК, установленных для почв (табл. 2).

Таблица 2

## Состав типового осадка сточных вод больших и крупных городов

№ п/п	Показатель	Единица измерения	Значение	
			ОСВ текущего выхода	
2	Массовая доля влаги	%	78	
3	Массовая доля сухого вещества	%	22	
4	Реакция среды	pH	7,3	
5	Массовая доля золы (минеральные вещества)	% на сухое в-во / % фактической влажности	34/7,48	
6	Потери при прокаливании (органические вещества)		66/14,52	
7	Массовая доля общего азота		3,1/0,68	
8	Массовая доля общего фосфора		3,6/0,79	
9	Массовая доля общего кремния		16,4/3,61	
10	Массовая доля общего алюминия		2,59/0,57	
11	Массовая доля общего магния		1,12/0,25	
12	Массовая доля общего кальция		4,55/1,0	
13	Массовая доля общего калия		0,47/0,10	
14	Массовая доля общего железа		2,69/0,59	
15	Массовая доля натрия		0,39/0,09	
16	Массовая доля титана		0,19/0,04	
17	Массовая доля марганца		0,063/0,01	
18	Ртуть		0,5/0,000 1	
19	Хром		510/0,011 2	
20	Свинец		45/0,001	
21	Кадмий		20/0,000 04	
22	Никель		140/0,003 1	
23	Медь		1300/0,028 6	
24	Цинк		780/0,017 2	
25	Мышьяк		4,4/0,000 1	
26	Удельная активность техногенных радионуклидов		Относительные единицы	< 1
27	Эффективная активность естественных радионуклидов		Бк/кг	9,9 ± 6,6
28	Бактерии группы кишечной палочки, индекс		Клеток/г	100
29	Патогенные микроорганизмы, в том числе сальмонеллы		Клеток/г	Не обнаружены
30	Жизнеспособные яйца гельминтов и цисты простейших	Экземпляров/100 г	Не обнаружены	

Окончание табл. 2

№ п/п	Показатель	Единица измерения	Значение
			ОСВ текущего выхода
31	Наличие жизнеспособных личинок и куколок синантропных мух	Экземпляров с площади 20·20 см	Не обнаружены
32	БПК <sub>п</sub> водной вытяжки (1:1)	мг О <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup>	8300
33	ХПК водной вытяжки (1:1)	мг/дм <sup>3</sup>	13 400
34	Нефтепродукты	г/кг сухого в-ва / % фактической влажности	4,57/0,1
35	Класс опасности		IV

Тяжелые металлы, поступающие в почву, ухудшают ее биологические, химические показатели и нарушают гомеостаз. Кроме того, металлы способны аккумулироваться в организмах и растениях и, как следствие, передаваться в возрастающих количествах по трофической цепи. Особенно опасны ртуть, цинк, свинец, кадмий, мышьяк, так как они, поступая с пищей в организм человека и высших животных, могут вызвать угнетение живого организма. Коэффициент материальной кумуляции колеблется у них от сотен до нескольких тысяч [14, 15]. Преимущественно такие ОСВ должны перерабатываться термическими методами с получением полупродуктов, вовлекаемых в процесс производства строительных материалов и конструкций.

Если сточные воды больших и крупных городов образованы преимущественно бытовыми стоками, то осадки, получаемые при их очистке, могут быть использованы в качестве удобрений для озеленения городской среды (парков, скверов) и лесовосстановительных работ.

Что касается крупных и сверхкрупных населенных пунктов, то они претерпевают административно-территориальное деление на административные округа, районы и поселения. В связи с этим устанавливаются несколько аэрационных станций, которые представляют собой очистные сооружения, по производительности сравнимые с очистными сооружениями больших и крупных городов. Соответственно, и методы обращения с ОСВ для данной категории населенных пунктов будут схожи с методами, реализуемыми в больших и крупных городах.

Для данных урбанизированных территорий наиболее приемлемыми методами переработки ОСВ являются термические, позволяющие минимизировать объем образующегося отхода. В настоящее время имеется широкий спектр исследований, направленных на доведение продуктов термической переработки ОСВ до товарных продуктов или полупродуктов, имеющих свои рыночные ниши.

Выбор конкретной стратегии развития предприятия коммунального хозяйства должен также основываться на критериальном подходе. Автором предлагается ряд критериев, которые должны учитываться при разработке стратегии обращения с вновь образованными и накопленными осадками сточных вод, а именно:

1. Объемы образования ОСВ на предприятии коммунального хозяйства.
2. Качественный и количественный состав ОСВ.
3. Наличие рынка сбыта продуктов и полупродуктов, получаемых в результате переработки ОСВ.
4. Наличие нормативной правовой базы для использования продуктов и полупродуктов переработки ОСВ.
5. Инвестиционная привлекательность реализуемого проекта.
6. Перспективы развития конкретной территории Российской Федерации.
7. Наличие соответствующего объема финансирования, позволяющего реализовать выбранную стратегию.

**Заключение.** В настоящее время распространенным методом обращения с ОСВ в Российской Федерации остается временное размещение на илонакопителях или иловых картах с целью глубокого обезвоживания и дальнейшее размещение на полигонах ТКО. Еще одним общеприменимым методом является метод сбраживания, однако твердый остаток (сброженный ОСВ) вывозится также на полигон ТКО. Подобное обращение не отвечает современным экологическим требованиям и стандартам. В настоящей статье рассмотрен ряд перспективных технологий переработки ОСВ с получением товарных продуктов и полупродуктов, имеющих рыночные ниши и ценовой сегмент ниже аналогов. Предложен критериальный подход выбора той или иной технологии в зависимости от плотности населения урбанизированной территории, развития промышленного сегмента.

#### Библиографический список

1. Водоотведение / Ю.В. Воронов, Е.В. Алексеев [и др.]. – М.: АСВ, 2014. – 413 с.
2. Effect of ultrasound pretreatment on sludge digestion and dewatering characteristics: Application of Particle Size Analysis / E.J. Martínez, J.G. Rosas, A. Morán, X. Gómez // Water. – 2015. – Vol. 7 (11). – P. 6483–6495.
3. Klärschlamm Entsorgung in der Bundesrepublik Deutschland / B. Wiechmann, C. Dienemann, Dr. C. Kabbe, S. Brandt, Dr. I. Vogel, Dr. A. Roskosc. – Publisher Umweltbundesamt, 2013. – 164 p.
4. Klärschlamm Entsorgung in der Bundesrepublik Deutschland / Dr. I. Vogel, Dr. A. Roskosc // Broschürenbestellung Anschrift: Umweltbundesamt c/o GVP Postfach 30 03 61 | 53183 Bonn.
5. Дрозд Г.Я., Хвортова М.Ю. Биотехнологические вопросы утилизации осадков сточных вод // Агротехника и энергосбережение. – 2014. – № 3. – С. 112–126.
6. Основные результаты промышленных испытаний технологии сбраживания осадка с рециклом биомассы / М.Н. Козлов, М.В. Кеврина, Г.А. Колбасов, А.М. Агарев, П.С. Шашкина // Водоснабжение и санитарная техника, 2015. – № 5. – С. 60–65.

7. Ветошкин А.Г. Переработка промышленных и бытовых отходов (Технология и техника защиты литосферы): учеб. пособие-практикум для вузов. – М.: АСВ, 2015. – 189 с.
8. Рязанцев А.А., Глазков Д.В., Присяников Е.Д. Очистка биогаза от сероводорода // Вестник Сибирского государственного университета путей и сообщений. – 2016. – № 3. – С. 19–24.
9. Хорева П.В., Бернадинер И.М., Степанова Т.А. Эффективная технология высокотемпературного обезвреживания осадков сточных вод // Экология энергетики – 2017: тр. междунар. науч. конф. молодых ученых и специалистов. – М., 2017. – С. 92–93.
10. Алексашина В.В. Экология города. Мусоросжигательные заводы // Градостроительство. – 2014. – № 4. – С. 77–86.
11. Хаустов А.П., Редина М.М. Отходы – в энергию: оценка экологических последствий с учетом супертоксичных выбросов // Энергобезопасность и энергосбережение. – 2015. – № 1. – С. 18–24.
12. Рублевская О.Н., Пробринский М.Д. Реконструкция завода сжигания осадков на центральной станции аэрации Санкт-Петербурга // Водоснабжение и санитарная техника. – 2017. – № 1. – С. 52–57.
13. Долина Л.Ф., Машихина П.Б. Осадки сточных вод: проблемы и решения. – Днепропетровск: Континент, 2014. – 213 с.
14. Басуров В.А., Зазнобина Н.И. Химическая безопасность. – Н. Новгород: Изд-во Национ. иссл. Нижегор. гос. ун-та им. Н.И. Лобачевского, 2016. – 98 с.
15. Ибрагимова Б.Б., Юсубов Ф.В. Математическое моделирование процесса адсорбции тяжелых металлов из сточных вод // Химия, физика, биология, математика: теоретические и прикладные исследования: сб. ст. по материалам IX–X междунар. науч.-практ. конф. – 2018. – № 3-4 (5). – С. 61–64.

#### References

1. Voronov Yu.V., Alekseev E.V. i dr., Vodootvedenie [Water removal]. Moscow: Izdatel'stvo ASV, 2014, pp. 413.
2. Elia Judith Martínez, Jose Guillermo Rosas, Antonio Moránand Xiomar Gómez. Effect of ultrasound pretreatment on sludge digestion and dewatering characteristics: Application of Particle Size Analysis // *Water* 2015, 7(11), pp. 6483-6495.
3. Benjamin Wiechmann, Claudia Dienemann, Dr. Christian Kabbe, Simone Brandt, Dr. Ines Vogel, Dr. Andrea Roskosch., Klärschlamm Entsorgung in der Bundesrepublik Deutschland. – Publisher Umweltbundesamt, 2013, p. 164.
4. Dr. Ines Vogel, Dr. Andrea Roskosch KLÄRSCHLAMMENTSORGUNG IN DER BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND Broschürenbestellung Anschrift: Umweltbundesamt c/o GVP Postfach 30 03 61 | 53183 Bonn.
5. Drozd G.Ya., Hvortova M.Yu. Biotekhnologicheskie voprosy utilizacii osadkov stochnyh vod [Biotechnological issues of disposal of sewage sludge] // *Agrotehnika i ehnergoberezhenie*. 2014, no. 3, pp. 112-126.
6. Kozlov M.N., Kevbrina M.V., Kolbasov G.A., Agarev A.M., Shashkina P.S. Osnovnye rezul'taty promyshlennyh ispytaniy tekhnologii sbrazhivaniya osadka s reciklom biomassy [The key results of the full-scale studies of sludge digestion technology with biomass recycle]. *Water supply and sanitary technique*. 2015, no. 5, pp. 60-65.
7. Vetoshkin A.G. Pererabotka promyshlennyh i bytovykh othodov (Tekhnologiya i tekhnika zashchity litosfery) [Processing of industrial and household waste (Technology and technology of protection of the lithosphere)]: uchebnoe posobie-praktikum dlya vuzov. Moscow: Izd-vo ASV, 2015, pp. 189.
8. Ryazancev A.A., Glazkov D.V., Prosyaniikov E.D. Ochistka biogaza ot serovodoroda [Biogas purification from hydrogen sulfide]. *Vestnik sibirskogo gosudarstvennogo universiteta putej i soobshchenij*. 2016, no. 3, pp. 19-24.
9. Horeva P.V., Bernadiner I.M., Stepanova T.A. EHfektivnaya tekhnologiya vysokotemperaturnogo obezvezhivaniya osadkov stochnyh vod [Efficient technology of high-temperature disposal of sewage sludge] // *Trudy mezhdunarodnoj nauchnoj konferencii molodyh uchenykh i specialistov "EHKOLOGIYA EHNERGETIKI – 2017"*. Izdatel'skij dom MEHI. Moscow, 2017, pp. 92-93.
10. Aleksashina V.V. EHkologiya goroda. Musoroszhigatel'nye zavody [Ecology of the city. Incinerators]. *Gradostroitel'stvo*. 2014, no. 4, pp. 77-86.

11. Haustov A.P., Redina M.M. Othody – v ehnergiyu: ochenka ehkologicheskikh posledstvij s uchytom supertoksichnyh vybrosov [Waste – to energy: environmental impact assessment with supertoxic emissions]. *EHnergobezopasnost' i ehnergoberezhenie*, 2015, no. 1, pp. 18-24.

12. Rublevskaya O.N., Probirskij M.D. Rekonstrukciya zavoda szhiganiya osadkov na central'noj stancii aehracii Sankt-peterburga [Reconstruction of the incineration plant at the central aeration station of St. Petersburg]. *Vodosnabzhenie i sanitarnaya tekhnika*, no. 1, 2017, pp. 52-57.

13. Dolina L.F., Mashihina P.B., Osadki stochnyh vod: Problemy i resheniya [Sewage Sludge: Problems and Solutions]. Dnepropetrovsk.: Izdatel'stvo «Kontinent», 2014, p. 213.

14. Basurov V.A., Zaznobina N.I. Himicheskaya bezopasnost' [Chemical safety] Nizhnij Novgorod: Izdatel'stvo Nacional'nyj issledovatel'skij Nizhegorodskij gosudarstvennyj universitet im. N.I. Lobachevskogo, 2016, pp. 98.

15. Ibragimova B.B., Yusubov F.V. Matematicheskoe modelirovanie processa adsorbicii tyazhelyh metallov iz stochnyh vod. [Mathematical modeling of the process of adsorption of heavy metals from wastewater]. *Sbornik statej po materialam IX-X mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii «Himiya, fizika, biologiya, matematika: teoreticheskie i prikladnye issledovaniya»*, 2018, no. 3-4 (5), pp. 61-64.

Получено 28.03.2019

**M. Dyakov**

## **STRATEGY OF HANDLING OF MUNICIPAL WASTEWATER TREATMENT FACILITIES SEWAGE SLUDGE**

The methods of handling of sewage sludge of municipal wastewater treatment plants, as well as the directions of its processing and disposal implemented abroad and in Russia are examined. An assessment has been made of existing strategies for the treatment of sewage sludge and the promising areas of its treatment and disposal, allowing reducing the burden on environmental objects, using sewage sludge's resource and energy potential by means of environmentally safe, technically feasible and economically available methods.

A classification of settlements is proposed depending on the size of the population and the industrial segment implemented in a particular urbanized area. The dependence of the composition of wastewater and sediment formed in the process of its treatment on the scale of urbanized areas has been defined. Criteria for the selection of sewage sludge treatment technology are identified when implementing the development strategy of municipal engineering facilities.

It was established that for large megalopolises the most acceptable method for the sewage sludge treatment will be thermal methods with promising directions for the use of treatment products. Small settlements and medium-sized cities due to the low toxicity of solid waste generated at municipal wastewater treatment plants can be used as fertilizers in accordance with the current legislation. The data presented in the publication will allow municipal engineering facilities reducing the risks of choosing low-efficient and economically inexpedient technology when moving to a new level of the treatment of sewage sludge.

**Keywords:** sewage sludge, surplus active sludge, resource and energy potential, promising treatment areas, incineration, pyrolysis, digestion, fertilizers, utilization.

**Дьяков Максим Сергеевич** (Пермь, Россия) – канд. техн. наук, заместитель директора по научной работе, Уральский государственный научно-исследовательский институт региональных экологических проблем (614039, Пермь, Комсомольский пр., 61а, e-mail: max072007@yandex.ru).

**Dyakov Maksim** (Perm, Russian Federation) – Ph.D. in Technical Sciences, Deputy Director for Science, Ural State Research Institute of Regional Environmental Problems (614039, Perm, Komsomolsky av., 61a, e-mail: max072007@yandex.ru).