



Рис. 3 – Зависимость КПД котла от температур уходящих газов при сжигании пеллет

Экономия первичного топлива при использовании уходящих газов котла (число часов работы утилизационной установки - 7500 ч/год, содержании влаги в топливе из быстрорастущей древесины  $W = 6\%$ ,  $W = 40\%$ ), составит около 240 и 155 т/год соответственно.

- для древесной биомассы:

$$B = \frac{Q_y \cdot T \cdot 3600}{Q_n \cdot \eta} = 241871,6$$

- для пеллет:

$$B = \frac{Q_y \cdot T \cdot 3600}{Q_n \cdot \eta} = 155031,061,$$

где  $Q_y$  – количество утилизируемой теплоты;  $T$  – число часов работы утилизационной установки в году;  $Q_n$  – низшая теплота сгорания;  $\eta$  – КПД по высшей теплоте сгорания.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Бутько А.А. Техничко-экономические аспекты производства щепы при возделывании ивы белой (*Salix alba*) / Бутько А.А. Пашинский В.А., Родькин О.И. // Экология: журнал БГУ № 3 (38)/2017. – Минск: МГЭИ им. А.Д. Сахарова БГУ, 2017. – с. 92-100.
2. Аронов, И.З. Использование тепла уходящих газов газифицированных котельных / И.З. Аронов. – М.: Энергия, 1967. – 192 с.
3. Бутько, А.А. Оценка и моделирование энергетического потенциала биомассы ивы на примере клона SALIX VIMINALIS / А. А. Бутько, О. И. Родькин, Е. В. Иванова // Экол. вестн. – 2014. – № 1 (27). – С. 80–88.
4. Белкотломаш. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://belboiler.by/mvt/series\\_kv\\_rm](https://belboiler.by/mvt/series_kv_rm) – Дата доступа: 05.03.2020.
5. Информационная система МЕГАНОРМ [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://meganorm.ru/Data2/1/4294814/4294814877.htm> – Дата доступа: 02.06.2018.

## СРАВНИТЕЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ОЗЕРНЫХ САПРОПЕЛЕЙ И ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ В СИСТЕМАХ С ЕСТЕСТВЕННОЙ АЭРАЦИЕЙ COMPARATIVE CHARACTERISTICS OF LAKE SAPROPELS AND BOTTOM SEDIMENTS IN SYSTEMS WITH NATURAL AERATION

**Л. М. Шаповалова, Е. Ю. Куршина, В. Б. Нурматова, С.А. Мурзалимова**  
**L. M. Shapovalova, E. Y. Kirshina, V. B. Nurmatova, S. A. Mirzalimova**

Научно-исследовательский институт окружающей среды и природоохранных технологий при Госкомэкологии РУз, г. Ташкент, Республика Узбекистан  
dagon49@mail.ru

Research Institute of Environment and Environmental Protection technologies under the State Committee for Ecology and Environmental Protection of Republic of Uzbekistan, Tashkent, Republic of Uzbekistan

В статье представлены результаты исследований систем с естественной аэрацией (СЕА), используемых для очистки хозяйственно-бытовых сточных вод в странах Средней Азии, как в городах, так и в небольших населенных пунктах. Были изучены СЕА искусственного и естественного происхождения с глубинами 2,0-4,0 м. Показано, что по своим гидрологическим характеристикам СЕА приближаются к естественным водоемам озерно-прудового комплекса – эвтрофным озерам. Установлено, что в процессе эксплуатации в них накапливаются донные отложения, наибольшая мощность которых отмечается в начальной части СЕА. Формирование донных отложений происходит в анаэробных условиях при активном участии бактериальной микрофлоры в процессах минерализации. По таким показателям как влажность, зольность, содержание органических веществ донные отложения СЕА схожи с сапропелями эвтрофных озер.

The article presents the results of studies of systems with natural aeration (NAS) used for the treatment of domestic wastewater in the countries of Central Asia, both in cities and in small settlements. NAS of artificial and natural origin, with depths of 2.0-4.0 m were studied. It was shown that in their hydrological characteristics NAS are close to natural reservoirs of the lake-pond complex - eutrophic lakes. It has been established that during the operation bottom sediments accumulate in them, the greatest thickness of which is noted in the initial part of the NAS. The formation of bottom sediments occurs under anaerobic conditions with the active participation of bacterial microflora in the processes of mineralization. In terms of moisture, ash content and organic matter content, NAS bottom sediments are similar to sapropels of eutrophic lakes.

*Ключевые слова:* Системы с естественной аэрацией, донные отложения, влажность, зольность, сапропель.

*Keywords:* Systems with natural aeration, bottom sediments, humidity, ash content, sapropel.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2021-2-327-331>

Для очистки хозяйственно-бытовых сточных вод городов и небольших населенных пунктов широкое распространение получили системы с естественной аэрацией (СЕА), представляющие собой неглубокие водоемы как естественного, так и искусственного происхождения, работающие в контактном или проточном режиме. Очистка сточных вод в СЕА основана на процессах самоочищения водоемов. Время пребывания в таких системах составляет от нескольких дней до нескольких месяцев

По своим гидрологическим характеристикам СЕА приближаются к естественным водоемам озерно-прудового комплекса, в которых идут процессы как разложения поступающих в водоемы веществ, так и их накопления, которые далее входят в состав иловых отложений.

Анализ СЕА, используемых для очистки хозяйственно-бытовых стоков показал, что эти водоемы согласно классификации В. И. Жадина [1] соответствуют эвтрофным (политрофным) озерам: глубина от 2 до 12 м, слабопроточные, со значительным поступлением биогенных элементов, теплые, вода прогревается до дна, температурная стратификация отсутствует.

Образующиеся в озерах иловые отложения в зависимости от морфологии водоема, географического положения, условий стока (общего содержания взвешенных веществ, количества неорганических веществ и т.д.) могут иметь различную зольность, влажность и мощность. Подобные озерные отложения носят название сапропель. Сапропели образуются из следующих основных компонентов: поступающие в водоем минеральные и органические вещества, неорганические компоненты биогенного происхождения, а также органические вещества отмерших водных организмов [2].

Сапропели эвтрофных озер по классификации Лундквиста определяются как богатые органическим веществом без заметных на глаз минеральных включений, желеобразной консистенции, светлеют при высыхании.

Формирование сапропелей происходит в анаэробных условиях в результате физико-химических и биологических преобразований остатков растительных и животных организмов, при различной степени участия минеральных и органических компонентов, которые активно взаимодействуют друг с другом. В составе органического вещества донных отложений присутствуют продукты распада высшей водной растительности (макрофитов) и, непосредственно, захороненные остатки макрофитов [3]. В слабопроточных озерах, в настоящее время, формируются силикатно-органические, органо-силикатные, карбонатные и смешанные осадки с содержанием органического вещества 30-70 %. Сапропели имеют самые широкие области применения в качестве органо-минеральных и органо-известковых удобрений, стимуляторов роста растений, минеральных кормовых добавок, буровых растворов, материалов для известкования почв, строительного производства и др. [4].

Целью данной работы было определение характеристик донных отложений в СЕА с замедленным водообменом, таких как зольность, влажность, морфологическое строение и их сравнение с сапропелями эвтрофных озер.

Климат на территории, где располагаются исследуемые СЕА, относится к засушливому континентальному типу. Средняя температура июля изменяется по равнинной территории с 26°C на севере до 30°C на юге, максимальная достигает 45-47°C. Средняя температура января опускается до 0°C на юге и до -8°C на севере. Осадки в основном выпадают в зимне-весеннем периоде. Годовое количество осадков на равнине составляет 80-200 мм, в предгорьях 300-400 мм, на западных и юго-западных склонах горных хребтов достигает 600-800 мм. Минимум осадков приходится на летний период. Безморозный период года длится 210 дней. Преобладающее направление ветров восточное и северо-восточное.

Исследования проводились как для СЕА естественного, так и искусственного происхождения.

СЕА естественного происхождения представляют собой систему водоемов, образованных неровностями дна. Протяженность системы колеблется в пределах 1,5-3,0 км. Время пребывания 30-40 дней. Глубины сооружений лежат в пределах 4,0-2,0 м, причем наибольшие глубины находятся в первых водоемах системы. Подача сточных вод на СЕА проводилась напорными трубопроводами. Сооружения располагаются в 15-20 км от границ городов. Сточные воды в СЕА поступали без предварительной механической очистки.

СЕА искусственного происхождения представляют собой систему из двух последовательно соединенных прудов с противоточной фильтрацией, выполненным из укатанного суглинка. Глубина прудов порядка 2,5 м. В каждом пруду, поперек потока, по дну, равномерно расположены 4 затопленные дамбы, высота которых составляет 1,8 м, а общая площадь - 40% от общей площади пруда. На затопленных дамбах высажены определенные виды высшей водной растительности. Перед подачей в биологические пруды доочистки сточные воды проходили систему предварительной механической очистки, включающей решетки, песколовку и отстойник. Из СЕА очищенная вода подавалась на орошение технических культур или рельеф местности.

Отбор проб донных отложений СЕА проводился по сезонам года с периодичностью 2 раза в сезон. Донные отложения СЕА естественного происхождения отбирались в трех точках средней части первого водоема ( $T_1$ ), средней ( $T_2$ ) и конечной частях ( $T_3$ ) сооружений. Донные отложения в биологических прудах доочистки отбирались в первом междамбовом участке первого пруда ( $T_4$ ) и в последнем междамбовом участке второго пруда ( $T_5$ ).

Отбор донных отложений СЕА производился как из-под воды, так и при отсутствии подачи сточных вод в момент проведения ремонтных работ. Подача сточных вод в этот период осуществлялась в заранее подготовленный накопитель.

На каждом месте отбора проб случайным образом трубкой «Владимирова» отбирались три пробы, которые затем помещались в герметичный пластиковый пакет. В лабораторных условиях пробы перемешивались, после чего образцы донных отложений анализировались на влажность и зольность. Обезжизнение донных отложений проводилось при атмосферном давлении на модельной установке. Микроскопирование образцов - под световым микроскопом с увеличением  $\times 250$ .

Изучались СЕА естественного происхождения городов Ахангаран, Фергана, Нукус (Республика Узбекистан), Ашхабад (Республика Туркменистан). Расход сточных вод, поступающих на очистку, составлял 12000-20 000 м<sup>3</sup>/сут. Основные показатели сточных вод, поступающих в СЕА: рН - 6,7-7,5, ХПК - 150-185 мг/л, БПКп - 87,0-110,0 мг/л, взвешенные вещества - 90,0-100,0 мг/л. Взвешенные вещества представлены органоминеральным абисестом. Все сооружения находились в эксплуатации не менее 30 лет.

Обследование СЕА естественного происхождения показало, что прибрежная, мелководная часть сооружений представляет собой полосу не более 2,0-2,5 м от уреза воды, густо заросшую погруженной растительностью, в состав ассоциации которой входят такие виды как *Phragmites australis*, *Typha angustifolia*, *Sirpus litoralis*. В толще воды постоянно присутствует фито- и зоопланктон, численность которого постепенно увеличивается по мере удаления от места подачи сточных вод. В составе фитопланктона в летний период преобладают зеленые водоросли, а в составе зоопланктона - низшие ракообразные, такие как ветвистые ресничные, веслоногие и коловратки. В зимний период фитопланктон представлен диатомовыми водорослями, зоопланктон представлен единичными экземплярами веслоногих ракообразных. Погруженная растительность, представленная *Potamogeton filiformis* и *Chara vulgaris*, массово встречается, начиная с середины СЕА.

Обследование биологических прудов доочистки г. Душанбе (Республика Таджикистан) показало, что на всех затопленных дамбах произрастает специально высаженный *Phragmites australis*, а в междамбовых участках - погруженная растительность. Биомасса фито- и зоопланктона, представлена теми же видами, что и в СЕА естественного происхождения, распределена равномерно по всей длине сооружений.

Подводная часть растений на всем протяжении СЕА покрыта бактериально-водорослевыми-протозойными обрастаниями.

Температура воды в летний период лежит в пределах 23-25°C на поверхности и 21-23°C в придонных слоях воды. Растворенный кислород в летний период присутствует во всей толще воды в пределах 10-14 мг/л. В зимний период температура воды в мелководной прибрежной части понижается до 0-2°C, а в открытой глубоководной части на поверхности она составляет 8-10°C, а в придонной части 5-7°C. Таким образом стратификация как летом, так и зимой отсутствует. В последних водоемах на водной поверхности кратковременно, на 1-2 недели может образовываться ледяной покров, толщиной не более 1,0-2,0 см.

В процессе эксплуатации СЕА образуются донные отложения с открытой поверхностью, над которой имеется лишь слой воды. В донных отложениях начальной части СЕА естественного происхождения преобладают бактериальные обрастания. Это объясняется тем, что со сточными водами постоянно поступает органоминеральный абисестон. Бактериально-водорослевыми-протозойными обрастания донных отложений начинают встречаться после зоны интенсивного выпадения абисестона.

В связи с тем, что сточные воды подаются в биопруды после предварительного отстаивания, донные отложения в них по всей протяженности сооружений покрыты бактериально-водорослевыми-протозойными обрастаниями.

Все отобранные пробы донных отложений черного цвета с маслянистым блеском, пробы последних секций СЕА могут иметь черный цвет с зеленоватым оттенком.

Донные отложения имеют желеобразную консистенцию, однородную текстуру с незначительной примесью растительных остатков, запах сырой земли с примесью слабого битумного запаха. При подъеме на поверхность донные отложения отдают до половины содержащихся в них воды в течение первых суток, при высыхании светлеют.

Усредненные характеристики донных отложений СЕА представлены в таблице.

Таблица – Усредненные характеристики донных отложений СЕА

Точка отбора	Режим работы СЕА					
	Рабочий			Профилактический		
	г. Ахангаран (Узбекистан)					
	Влажность	Зольность	Мощность донных отложений, м	Влажность	Зольность	Мощность донных отложений, м
г. Ахангаран (Республика Узбекистан)						
T <sub>1</sub>	84,5	26,7	0,75	64,5	29,6	0,52
T <sub>2</sub>	81,9	53,9	0,4	52,2	50,3	0,21
T <sub>3</sub>	80,6	62,3	0,2	34,8	63,8	0,11
г. Фергана (Республики Узбекистан)						
T <sub>1</sub>	86,3	19,3	0,9	—	—	—
T <sub>2</sub>	82,3	42,6	0,5	—	—	—
T <sub>3</sub>	79,6	60,3	0,3	—	—	—
г. Нукус (Республика Узбекистан)						
T <sub>1</sub>	80,6	31,2	0,8	65,3	32,5	0,5
T <sub>2</sub>	78,3	54,3	0,32	58,6	53,9	0,21
T <sub>3</sub>	73,1	65,3	0,18	45,3	70,3	0,07
г. Ашхабад (Республика Туркменистан)						
T <sub>1</sub>	90,6	25,6	0,7			
T <sub>2</sub>	85,7	44,5	0,31			
T <sub>3</sub>	80,4	55,9	0,25			
г. Душанбе (Республика Таджикистан)						
T <sub>4</sub>	83,5	38,6	0,42	—	—	—
T <sub>5</sub>	77,3	58,6	0,12	—	—	—
Эвтрофные озера						
[3]	92	33	—	—	—	—
[5]	90-97	42-63	—	—	—	—
[4]	80-90	30-70	—	—	—	—

Анализ данных, представленных в таблице, показал, что влажность донных отложений по мере удаления от начальной части сооружений к конечной снижается, а зольность увеличивается. Наибольшая мощность донных отложений отмечается в начальной части сооружений и практически сходит на нет в последнем водоеме сооружений.

Мощность донных отложений в биологических прудах доочистки значительно меньше, чем в СЕА естественного происхождения, вследствие преобладания в составе взвешенных веществ мелкодисперсных фракций, преимущественно органического происхождения.

Присутствие большого количества бактериальной микрофлоры в донных отложениях [5] начальной части СЕА способствует интенсивной деградации органических загрязнений и уменьшению донных отложений. Поэтому процессов заиливания начальной части СЕА не наблюдается.

По классификации Штина [1] донные отложения начальной части СЕА по зольности можно отнести к органическому типу (зольность 30-40%), а донные отложения средней и конечной части - к минерально-органическому (зольность 30-70%), а по групповому составу автохтонного органического вещества - к планктоно-макрофитному.

Сравнение характеристик сапропелей и донных отложений СЕА (Таблица) показало их сходство по таким показателям как влажность, зольность, содержание органических веществ. Донные отложения первых водоемов СЕА могут быть использованы в сельском хозяйстве, садоводстве и лесоводстве как органическое удобрение и кондиционер почвы.

Исследованиями определена характеристика донных отложений СЕА различного типа. Установлено, что по таким показателям как влажность, зольность, содержание органических веществ донные отложения СЕА сходны с сапропелями эвтрофных озер.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Штин, С. М. Озерные сапропели и их комплексное освоение / Штин С.М. – Изд. МГУ, 2005. – 374 с.
2. Stankevica, K. Freshwater sapropel (gyttja): its description, properties and opportunities of use in contemporary agriculture / Stankevica K. [et al.] - Agronomy Research, 2016. 14(3). – P. 929–947
3. Страховенко, В.Д. Генезис органоминеральных отложений озер центральной части Барабинской низменности (Юг Западной Сибири) / Страховенко В.Д [и др.] - Геология и геофизика. 2019. Т. 60. № 9. – С. 1231–1243.
4. Курзо, Б. В. Теоретические аспекты современного осадконакопления в озерах и их практическое приложение / Курзо Б.В. – Вестник БГУ. Сер. 2.2006. № 2. – С. 115–120
5. Кузнецов, С.И. Микрофлора озёр и её геохимическая деятельность / Кузнецов С.И. - АН СССР. НИИ биологии внутр. вод. Л. Наука. Ленингр. Отд. 1970. – 440 с.