

О.В. ЯНЦЕН¹, Н.С. СЕВРЮГИНА², В.А. ГЕРАСИМОВ¹, А.П. СТОРОЖЕВ¹

¹ Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет», г. Москва, Российская Федерация

² Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева», г. Москва, Российская Федерация

ВЫБОР ЭФФЕКТИВНОЙ ТЕХНОЛОГИИ УТИЛИЗАЦИИ ОСАДКОВ СТОЧНЫХ ВОД

Рассмотрена проблема эффективного использования водных ресурсов. Выявлены факторы, влияющие на уровень очистки сточных вод, и проблема утилизации осадков. Установлено, что для рационального использования водных ресурсов следует согласовывать экономические методы с экологическим состоянием окружающей среды. Цель – снижение негативной экологической нагрузки на водные ресурсы путем выбора рационального метода утилизации осадков сточных вод. Исследования включают в себя анализ существующих методов очистки сточных вод и утилизации образующихся при этом осадков. Установлено, что применение технологии максимально полной переработки осадков сточных вод, утилизации осадков с получением сырья для вторичного использования позволяет существенно сократить эксплуатационные затраты. В качестве оптимального метода принято рассматривать технологию утилизации путем остеклования осадка, позволяющего получить гранулированные фракции сырья, используемые в строительной индустрии. Пример практической реализации технологии остеклования обезвоженного илового кека представлен опытной установкой на площадке Щелковских канализационных очистных сооружений, в результате чего объемы осадков сточных вод сократились практически в 25 раз.

Водные ресурсы, сточные воды, осадок, утилизация, технологии, эффективность, экологичность.

Введение. Одной из главных тем в нынешнем веке является охрана здоровья человека и окружающей среды от вредного воздействия, вызванного сбором, транспортировкой, переработкой, хранением и выбросом отходов. Поиск решений данной проблемы затрагивает огромное количество отраслей промышленности, в том числе очистку сточных вод.

В процессе очистки сточных вод образуются 2 продукта: очищенная вода и осадок в достаточно крупных объемах. Таким образом, на сегодняшний день разработка и обоснование рационального и экономически-эффективного метода утилизации осадков сточных вод являются одними из актуальнейших вопросов.

Цель исследований: снижение негативной экологической нагрузки на водные ресурсы путем выбора рационального метода утилизации осадков сточных вод.

На существующих городских очистных сооружениях малой и средней производительности, которые не были подвергнуты реконструкции и работают уже более 30 лет, процесс обработки осадков сточных вод почти всегда осуществляется по стандартной схеме, представленной на рисунке 1.

Серьезной проблемой при обработке осадков является наличие иловых площадок, которые предназначены для естественного обезвоживания осадков, образующихся в ходе биологической очистки сточной воды. Также применение иловых площадок оказывает влияние на состав почв [1]. Существенным недостатком этой технологии является использование значительных площадей. Благодаря развитию технологий в данной области и изучению влияния утилизации осадков на экологию были разработаны различные методы, многие из которых используются сегодня. Каждый из методов имеет как свои преимущества, так и определенные недостатки.

В таблице 1 представлены результаты экспертных оценок и ранжирования на основе различных технологий утилизации осадков бытовых сточных вод, применяемых в странах Европы [2].

Для точной оценки методов обработки осадков сточных вод следует рассмотреть каждый метод, выделяя как положительные, так и отрицательные стороны их использования.

Материал и методы исследований. Термический метод (сжигание). Технология

сжигания осадка сточных вод давно известна как радикальный метод решения проблемы утилизации осадка, сопровождающийся получением тепловой энергии. Перед началом данного процесса осадки сточных вод должны быть очищены и доведены до кондиции – должны произойти удаление песка, сгущение и удаление воды. Эти процедуры необходимы для улучшения физико-химических свойств осадков для повышения теплоты их сгорания. В целом сжигание осадков производится в печах различных видов [3]. В научном материале [4] представлен список наиболее используемых печей для процесса сжигания осадков городских сточных вод в России. Чаще всего используется метод моносжигания в печах с кипящим слоем.

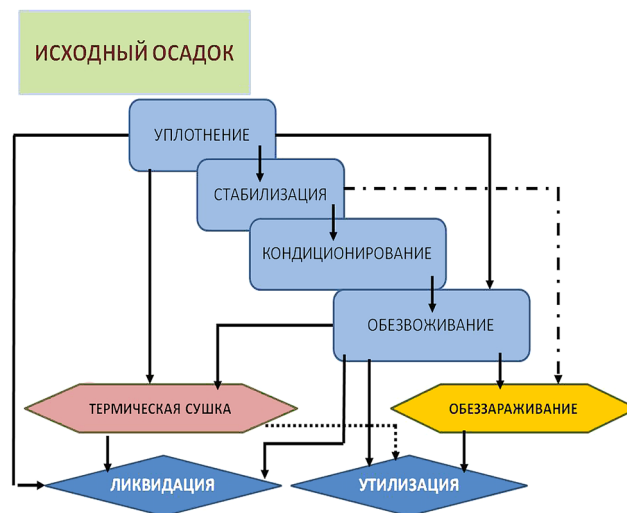


Рис. 1. Стандартная схема обработки осадков сточных вод

Таблица 1

Ранжирование бытовых сточных вод по стандартам ЕС

Методы	Термический метод	Использование в качестве рекультиванта	Использование в качестве удобрения (компостирование)	Складирование на полигонах ТБО	Использование в качестве сырья для получения биотоплива
Воздействие на водные объекты	0	1	1	2	1
Воздействие на атмосферный воздух	3	1	1	3	2
Воздействие на почву	1	2	3	3	1
Выход полезных продуктов	3	1	1	3	1
ИТОГО	7	5	6	11	5

Начало строительства заводов по утилизации, работающих по программе сжигания, датируется 1980 г. в США, Японии, странах Европы. Отрицательное влияние на окружающую среду приостановило дальнейшее использование данной методики уже в 1990 г. После этого начались исследования с целью совершенствования данной технологии и снижения влияния на окружающую среду. Очень хорошо зарекомендовали себя модульные установки для сжигания биослама на базе технологии FMI, предназначенные для средних и небольших очистных сооружений канализации [5]. Экологические преимущества данной технологии достигаются за счет термической утилизации тепла при сжигании осадка с содержанием сухого вещества $\geq 25\%$.

Технологический процесс FMI включает в себя один дымовой воздушный теплообменник, который забирает энергию из паров и повторно инжектирует ее в печь, что позволяет экономить газ или топливо, не допуская охлаждения печи, и один испаритель

для водяного теплообменника, обеспечивающий простое подключение к тепловой районной станции или для других процессов. Использование в печах специальных минеральных присадок и различных неорганических сорбентов обеспечивает эффективную очистку отходящих газов. При данной технологии предварительная сушка осадка непосредственно на месте его складирования и хранения не требуется, а возможность выбросов вредоносных веществ в окружающую среду полностью исключается.

В европейских странах технологии утилизации осадков с получением сырья для вторичного использования являются весьма популярными. Подобные способы также сокращают эксплуатационные затраты.

Метод пиролиза. Пиролиз является одним из самых прогрессивных методов утилизации. Основу пиролиза составляет разложение органических компонентов под влиянием высоких температур (700°C) без участия кислорода (анаэробный способ) [5]. Преимущество перед прямым

сжиганием – исключение вредных веществ, попадающих в атмосферу вместе с газом. Причина этого заключается в технологии утилизации, так как с помощью пиролиза обрабатываются исключительно органические компоненты.

Результатами термического разложения является образование горючего газа (55%), полукокса (35%) и жидких органических элементов (15%). Органика улетает вместе с газом, полукокс подвергается дальнейшей обработке (газификация) с получением горючего газа. После газификации оксиды металлов остаются в форме очищенного шлака, доступного для дальнейшего использования.

Полученный в результате утилизации шлак успешно применяют в строительстве и при ремонте дорог [6]. Предложено несколько способов вторичного применения:

1. При смешанном с цементом шлаке, подвергнутом вибропрессовке, на выходе получается тротуарная плитка. Толщина каждой пластины составляет 10 см. Конфигурация и цвет переменны и меняются в зависимости от желания покупателя.

2. Использование шлака в качестве заполнителя (заполняют отвалы, ремонтируют поврежденные участки дорожного полотна).

Сегодня утилизация выходит на новый уровень, когда стремятся найти способ максимально полной переработки осадков сточных вод. Применение вторичного сырья является показателем страны, желающей сохранить экологию для себя и будущих поколений [7].

3. Использование в качестве удобрения (компостирование).

Метод заключается в процессе биотермического компостирования осадков сточных вод в смеси с различными органическими наполнителями (торфом, опилками, соломой и т.д.) в течение 4-5 мес., из которых 1-2 мес. должны приходиться на теплое время года при условии достижения во всех частях компоста температуры не менее +60°C.

По классу опасности осадки сточных вод относятся к 4-й группе как наименее опасные (ГОСТ Р 54534-2011. Ресурсосбережение. Осадки сточных вод. Требования при использовании для рекультивации нарушенных земель), поэтому их разрешается утилизировать в качестве удобрений сельскохозяйственных угодий [8-9].

Компосты на основе осадков сточных вод (ОСВ) являются ценными органическими

удобрениями, способствуют повышению плодородия почв и, как результат, увеличивают продуктивность выращиваемых культур [10]. Содержание в ОСВ нужных для зерновых растений элементов питания обуславливает их использование как нетрадиционных органоудобрений и решает экологические проблемы их утилизации [11]. Исключением являются осадки, содержащие тяжелые металлы и токсичные вещества.

Для контроля за загрязнением создаются нормативные документы, в которых установлены допустимые границы концентрации опасных компонентов. В странах Западной Европы фермы, специализирующиеся на выращивании экологически чистых растений, отказались от применения подобных удобрений на своих землях.

Метод остеклования осадка. Данная методика утилизации осадка является одной из новейших технологий, которая еще не успела распространиться, но однозначно требует к себе внимания.

Остеклование осадка – это процесс предварительной сушки осадка, окисления его органической фракции и плавления минеральной фракции в плавителе с образованием гранулированного остеклованного материала. Получаемый продукт – гранулят остеклованного шлака, применяемый в строительной индустрии.

Экологическая безопасность технологии остеклования заключается в следующем:

- отвечает требованиям по выбросам вредных веществ в России, а также странах ЕС (Директива № 2000/76/ЕС Европейского парламента и Совета Европейского Союза «О сжигании отходов»);

- эффективность внедрения технологии остеклования заключается в уменьшении объема отходов в 25 раз применительно к предварительно обезвоженному осадку сточных вод;

- входит в перечень «Наилучших доступных технологий» (НДТ ИТС 10-2015 «Очистка сточных вод с использованием централизованных систем водоотведения поселений, городских округов»);

- отечественная разработка является реальной альтернативой сжиганию, позволяющая исключить его основные недостатки [12-13].

ООО «ФИНПРОМАТОМ» и ООО «НТЦ «Экопромтех» была разработана промышленная установка остеклования осадка сточных вод [14] с параметрами:

- Производительность – 435 т/сутки с влажностью кека 77%. Зольность – 30%. 19579 кДж/кг – удельная теплота сгорания (на сухое состояние).

- Продукты: гранулированный остеклованный шлак, 30 т/сутки. Электроэнергия для собственных нужд – 1 МВт.

- Потребности: площадь цеха – примерно 3000 м²; для нагрева используется природный газ до 400 м³/ч.

Результаты и обсуждение. Разнообразие методов утилизации остатков сточных вод показывает возможность не только выбора механизма поддержания экологического и водного баланса в отдельно взятых территориальных формированиях, но и получения сырья для вторичного использования, что способствует компенсации эксплуатационных технологических затрат.

В качестве оптимального из рассмотренных технологий принимается метод остеклования осадка.

Этапы процесса остеклования представлены на рисунке 2:

1) подача осадка после предварительного механического обезвоживания (на декантерных центрифугах). Характеристика осадка: 1 мешок объемом 75 л (43,2 кг), влажность осадка – 75-77%;

2) сушка осадка. Характеристика осадка: 1 ведро объемом 20 л (13,5 кг), влажность осадка – 20%;

3) пеллетизирование – формирование цилиндрической формы высушенного осадка методом экструдирования на кольцевой матрице. Пеллетизирование высушенного осадка в сравнении с остеклованием незначительно сокращает его объем. Характеристика осадка: 1 ведро объемом 20 л (13,5 кг), влажность осадка – 20%;

4) остеклование осадка с образованием остеклованного материала. Характеристика осадка: 1 бутылка объемом 3 л (3,5 кг).

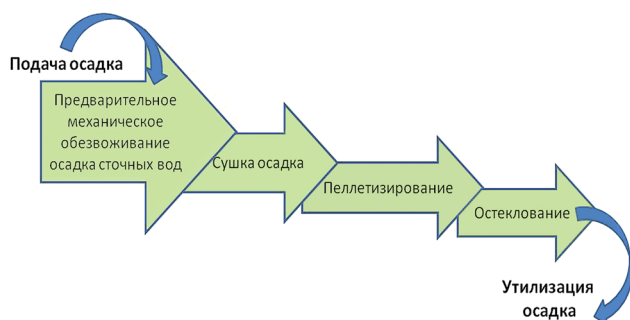


Рис. 2. Этапы технологического процесса остеклования

Данную технологию на территории Российской Федерации начали использовать на атомной электростанции (НВАЭС) в г. Нововоронеже для высокотемпературной переработки твердых радиоактивных отходов [15]. Также она реализована: в США компанией Minergy (завод переработки осадков сточных вод производительностью 350000 т/год с получением двух продуктов: возобновляемой энергии (пар/электричество) и стекломассы, а также производство остеклованного шлака – 200 т/сут.); в городах Японии (Киото – 150 т/сут., Осака – 150 т/сут., Хиого – 180 т/сут.) компаниями KobelcoEco-SolutionsCo., Ltd., Ebare, Swing Corporation; в Италии и Израиле.

Пример практической реализации технологии остеклования обезвоженного илового кека представлен на опытной установке на площадке канализационных очистных сооружений, введенной в строй в 2019 г. Процесс остеклования осадка приведен на рисунках 3, 4.



Рис. 3. Опытная установка остеклования на канализационных очистных сооружениях



Рис. 4. Гранулированный остеклованный шлак

При всем своем преимуществе над рассмотренными выше методами технология остеклования осадка имеет ряд недостатков, а именно:

- в процессе сушки осадков сточных вод до влажности в 15-20% осадок начинает прилипать к оборудованию. Связано это с тем, что в процессе сушки при влажности осадка 30-50% начинается фаза его слипания, ввиду чего оборудование может забиться и выйти из строя и для его ремонта понадобится остановить весь технологический процесс. Данную проблему решили технологи, которые начали использовать масло, позволяющее спасти сушилки от залипания осадка;

- в процессе работы плавильни осадка сточных вод с образованием гранулированного остеклованного шлака потребляется огромное количество электроэнергии (электроэнергии для собственных нужд – около 1 МВт). Данная проблема решается с помощью турбогенераторов конденсационного типа для производства электрической энергии (с системой возврата конденсата).

Исходя из вышесказанного о технологии остеклования, можно сделать следующие выводы:

- данная технология позволяет уменьшать объемы осадков сточных вод примерно в 25 раз;

- образующийся продукт стекломассы можно повторно использовать в отрасли строительства;

- весь блок остеклования осадка устроен так, что выделяющиеся пары и газы проходят стадию очистки и нейтрализации, повторно используясь в теплообменниках типа «Воздух-воздух» и в турбогенераторах конденсаторного типа.

В сравнении со сжиганием осадка сточных вод данная технология потребляет намного больше энергоресурсов, но в свою очередь она компенсирует ее с помощью теплообменников и генераторов, а осадок дешевле гранулировать, чем вывозить на полигоны ТБО. Все оборудование потребляет воду от собственного замкнутого контура. Вода для него подготавливается и накапливается в баке подготовленной питательной воды. Для охлаждения воды в контурах используется градирня.

Выводы

- Выполнен анализ существующих методов очистки сточных вод и утилизации образующихся при этом осадков с оценкой преимуществ и выделением имеющихся недостатков.

- Представлены результаты экспертных оценок и ранжирования на основе различных технологий утилизации осадков бытовых сточных вод, применяемых в странах Европы.

- Установлено, что применение технологии максимально полной переработки осадков сточных вод, утилизации осадков с получением сырья для вторичного использования позволяет существенно сократить эксплуатационные затраты.

- В качестве оптимального метода принято рассматривать технологию утилизации путем остеклования осадка, позволяющего получить гранулированные фракции сырья, используемые в строительной индустрии.

- Пример практической реализации технологии остеклования обезвоженного илового кека представлен на опытной установке на площадке Щелковских канализационных очистных сооружений, введенной в строй в 2019 г., в результате чего объемы осадков сточных вод сократились практически в 25 раз.

Библиографический список

1. **Насыров И.А., Маврин Г.В., Шайхиев И.Г.** Проблемы утилизации иловых осадков очистных сооружений // Вестник Казанского технологического университета. – 2015. – Т. 18, № 19. – С. 257-259.

2. **Васильева А.В., Харламова М.Д.** Современные способы переработки осадков сточных вод и перспективы их использования в России // SCIENCEOFEUROPE. – 2016. – № 9 (9). – С. 27-34.

3. **Янин Е.П.** Сжигание осадков городских сточных вод (проблемы и способы) // Ресурсосберегающие технологии. – 2006. – № 24. – С. 3-29.

4. **Моран Э., Плеханов А.В., Лобанов Ф.И.** Термическая обработка – перспективное направление утилизации осадков сточных вод // Water supply and sanitary technique. – 2017. – № 6. – С. 1-5.

5. **Валетов Д.С., Кашенко О.В.** Сжигание осадков городских сточных вод как метод их утилизации // Academy. – 2018. – № 12 (39). – С. 20-23.

6. Методы утилизации осадков сточных вод / А.И. Житкова, А.С. Веселова, А.Ю. Рыгина и др. // Научный журнал. – 2018. – № 4 (27). – С. 19-20.

7. Исследование возможности применений цеолитсодержащего трепела для очистки сточных вод / Е.С. Гогина, Н.А. Макиша, О.В. Янцен и др. // Естественные и технические науки. – 2014. – № 9-10 (77). – С. 401-403.

8. Севрюгина Н.С., Апатенко А.С., Войтович Е.В. Риски экосистем при формировании водохозяйственных комплексов // Природообустройство. – 2020. – № 2. – С. 115-122.

9. Севрюгина Н.С., Апатенко А.С. Мониторинг работоспособности технических систем объектов водохозяйственного комплекса // Вестник мелиоративной науки. – 2020. – № 1. – С. 40-46.

10. Гунина Е.А., Пахненко Е.П., Костина Н.В. Комплексный агроэкологический подход к исследованию осадка сточных вод для использования в агрикультуре // Почвенные ресурсы Сибири: вызовы 21 века. – 2017. – С. 257-261.

11. Shchur A., Valkho V., Vinogradov D., Valko O. Influence of biologically active preparations on Cs-137 transition to plants from soil in the territories contaminated as the result of Chernobyl accident // Impact of Cesium on Plants and the Environment. – Springer International Publishing Switzerland, 2016. – Vol. 51-70.

12. Янцен О.В., Еремеев П.И. Обзор современных методов снижения энергопотребления на канализационных очистных сооружениях // Естественные и технические науки. – 2015. – № 11 (89). – С. 594-596.

13. Янцен О.В. Исследование процессов очистки сточных вод на биофильтрах с использованием аэробных и анаэробных зон // Яковлевские чтения. X научно-техническая конференция, посвященная памяти академика РАН Сергея Васильевича Яковлева: Сб. мат-лов конф.. – М.: Изд-во АСВ, 2015. – С. 238-241.

14. ФинПромАтом. (2019). Остеклование осадка сточных вод. НДТ № 326-27. URL: <https://ntc-ecopromtech.ru/wp-content/uploads/2020/08/%D0%9E%D1%81%D1%82%D0%B5%D0%BA%D0%BB%D0%BE%D0%B2%D0%B0%D0%BD%D0%B8%D0%B5.pdf>.

15. Сафронова Н., Щукин А. Опыт высокотемпературной переработки радиоактивных отходов на плазменном комплексе Нововоронежской АЭС // Росэнергоатом. – 2018. – № 3. URL: <https://www.atomic-energy.ru/articles/2019/12/02/99657>.

Материал поступил в редакцию 05.10.2020 г.

Сведения об авторах

Янцен Ольга Викторовна, старший преподаватель кафедры водоснабжения и водоотведения ФБГОУ ВО НИУ МГСУ; 129337, Москва, Ярославское шоссе, 26; yantsenov@mgsu.ru

Севрюгина Надежда Савельевна, кандидат технических наук, доцент кафедры технической эксплуатации технологических машин и оборудования природообустройства ФБГОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева; 127550, Москва, Б. Академическая, 44; sevruginans@rgau-msha.ru

Герасимов Владислав Александрович, студент кафедры водоснабжения и водоотведения ФБГОУ ВО НИУ МГСУ; 129337, Москва, Ярославское шоссе, 26; Gaw70@mail.ru

Сторожев Алексей Павлович, студент кафедры водоснабжения и водоотведения ФБГОУ ВО НИУ МГСУ; 129337, Москва, Ярославское шоссе, 26; Alexsys2012@mail.ru

O.V. YANTSEN¹, N.S. SEVRYUGINA², V.A. GERASIMOV¹, A.P. STOROZHEV¹

¹ Federal state budgetary educational institution of higher education «National research Moscow state university of civil engineering», Moscow, Russian Federation

² Federal state budgetary educational institution of higher education «Russian state agrarian university – MAA named after C.A. Timiryazev», Moscow, Russian Federation

CHOOSING AN EFFICIENT TECHNOLOGY OF WASTEWATER SLUDGE DISPOSAL

The article deals with the problem of efficient use of water resources. Factors affecting wastewater treatment and the problem of waste disposal have been identified. It has been established that economic methods should be coordinated with the environmental state in order to rationally manage water resources. The purpose: to reduce the negative environmental burden on water resources by choosing a rational method for the disposal of wastewater sediment. Studies include an analysis of existing methods of wastewater treatment and disposal of sludge. It has been established that the use of the technology for the most complete processing of sewage sludge, utilization of sludge to obtain raw materials for recycling can significantly reduce operating costs. It is accepted as the optimal method to consider the technology of utilization by glazing the sediment, allowing obtaining a granular fraction of raw materials used in the construction industry. An example of the practical implementation of the technology of glazing dehydrated silt cake is presented by a pilot installation at the Shchelkovo site of the sewer treatment plant, as a result of which the amount of wastewater sediment was reduced by almost 25 times.

Water resources, waste water, sediment, utilization, technologies, efficiency, environmental friendliness.

References

1. **Nasyrov I.A., Mavrin G.V., Shajhi-
ev I.G.** Problemy utilizatsii ilovyh osadkov
ochistnyh sooruzhenij // Vestnik Kazanskogo te-
hnologicheskogo universiteta. – 2015. – T. 18. –
№ 19. – S. 257-259.
2. **Vasiljeva A.V., Harlamova M.D.** Sovre-
mennye sposoby pererabotki osadkov stoch-
nyh vod i perspektivy ih ispolzovaniya v Ros-
sii // SCIENCE SOFEUROPE. – 2016. – № 9 (9). –
S. 27-34.
3. **Yanin E.P.** Szhihanie osadkov gorod-
skih stochnyh vod (problem isposoby) // Re-
sursosberegayushchie tehnologii. – 2006. –
№ 24. – S. 3-29.
4. **Moran E., Plehanov A.V., Loba-
nov F.I.** Termicheskaya obrabotka – perspek-
tiv noenapravlenie utilizatsii osadkov stoch-
nyh vod // Water supply and sanitary tech-
nique. – 2017. – № 6. – S. 1-5.
5. **Valetov D.S., Kashchenko O.V.** Szhi-
hanie osadkov gorodskih stochnyh vod kak
metod ih utilizatsii // Academy. – 2018. –
№ 12(39). – S. 20-23.
6. Metody utilizatsii osadkov stochnyh vod /
Zhitkova A.I., Veselova A.S., Rygina A.Yu. i dr. //
Nauchnyzhurnal. – 2018. – № 4(27). – S. 19-20.
7. Issledovanie vozmozhnosti primeneniya
tseolitsoderzhashchego trepela dlya ochist-
ki stochnyh vod / Gogina E.S., Makisha N.A.,
Yantsen O.V. i dr. // Estestvennyeitech-
nicheskie nauki. – 2014. – № 9-10 (77). –
S. 401-403.
8. **Sevryugina N.S., Apatenko A.S., Voj-
tovich E.V.** Riski ekosistem pri formirovani
vodohozyajstvennyh kompleksov // Prirodoo-
bustrojstvo. – 2020. – № 2. – S. 115-122.
9. **Sevryugina N.S., Apatenko A.S.** Mo-
nitoring rabotosposobnosti tehniceskikh sys-
tem objektov vodohozyajstvennogo komplek-
sa // Vestnik meliorativnoj nauki. – 2020. –
№ 1. – S. 40-46.
10. **Gunina E.A., Pahnenko E.P., Kos-
tina H.V.** Kompleksny agroekologicheskyy
podhod k issledovaniyu osadkov stochnyh vod
dlya ispolzovaniya v agrikulture // Pochven-
nye resursy Sibiri: vyzovy 21 veka. – 2017. –
S. 257-261.
11. **Shchur A., Valkho V., Vinogradov D.,
Valko O.** Influence of biologically active prepa-
rations on Cs-137 transition to plants from soil
in the territories contaminated as the result
of Chernobyl accident. In: Impact of Cesium
on Plants and the Environment. Springer
International Publishing Switzerland, 2016,
vol. 51-70.
12. **Yantsen O.V., Ereemeev P.I.** Ob-
zor sovremennyh metodov snizheniya ener-
gopotrebleniya na kanalizatsionnyh ochistnyh
sooruzheniyah // Estestvennyeitech-
nicheskie nauki. – 2015. – № 11 (89). – S. 594-596.
13. **Yantsen O.V.** Issledovanie protsessov
ochistki stochnyh vod na biofiltrah s ispolzo-
vaniem aerobnyh i anaerobnyh zon / Sb.: Ya-
kovlevskiechteniya. X Nauchno-tehn. konf.,
posvyashchennaya pamyati akademika RAN
Sergeya Vasiljevicha Yakovleva. – M.: Izd-vo
ASV, 2015. – S. 238-241.
14. FinPromAtom. (2019). Osteklovanie
osadka stochnyh vod. NDT № 3 26-27. [https://
ntc-ecopromtech.ru/wp-content/uploads/2020/
08/%D0%9E%D1%81%D1%82%D0%B5%D0%
BA%D0%BB%D0%BE%D0%B2%D0%B0%D
0%BD%D0%B8%D0%B5.pdf](https://ntc-ecopromtech.ru/wp-content/uploads/2020/08/%D0%9E%D1%81%D1%82%D0%B5%D0%BA%D0%BB%D0%BE%D0%B2%D0%B0%D0%BD%D0%B8%D0%B5.pdf)
15. **Safronova N., Shchukin A.** Opyt
vysokotem peraturnoj pererabotki radioak-
tivnyh othodov na plazmennom komplekse
Novovoronezhskoj AES. // Rosenergoatom. –
2018. – № 3. [https://www.atomic-energy.ru/
articles/2019/12/02/99657](https://www.atomic-energy.ru/articles/2019/12/02/99657)

The material was received at the editorial office
05.10.2020

Information about the authors

Yantsen Olga Victorovna, senior lectu-
rer of the department of water supply and dis-
posal FSBEI HENIU MGSU; 129337, Moscow,
Yaroslavskoeshosse, 26; yantsenov@mgsu.ru

Sevryugina Nadezhda Saveljevna,
candidate of technical sciences, associate pro-
fessor of the department of technical mainte-
nance of technological machinery and equip-
ment of environmental engineering FSBEI
HE RSAU-MAA named after C.A. Timiryazev;
127550, Moscow, B. Akademicheskaya, 44;
sevryugina@rgau-msha.ru

**Gerasimov Vladislav Aleksandro-
vich**, student of the department of water
supply and disposal FSBEI HENIU MGSU;
129337, Moscow, Yaroslavskoeshosse, 26;
Gaw70@mail.ru

Storozhev Alexey Pavlovich, student
of the department of water supply and disposal
FSBEI HENIU MGSU; 129337, Moscow, Yaro-
slavskoeshosse, 26; Alexsys2012@mail.ru