

# СОВРЕМЕННЫЕ ПОДХОДЫ К ОБЕЗЗАРАЖИВАНИЮ ИЗБЫТОЧНОГО АКТИВНОГО ИЛА С ПОСЛЕДУЮЩИМ ЕГО ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ

**В. И. Нездойминов д.т.н., профессор; А. В. Жибоедов к.т.н., доцент;**

**А. В. Могукало аспирант**

ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры», г. Макеевка

*Аннотация.* В статье приведены существующие подходы к обеззараживанию образующихся органических осадков городских сточных вод. Рассмотрены реагентный и термический методы для снижения обсеменённости избыточного активного ила от болезнетворных микроорганизмов пероксидом водорода ( $H_2O_2$ ). Установлено, что при минимальной дозе  $H_2O_2$  0,06 г/г сухого вещества активного ила происходит химическая флотация, влажность полученного уплотнённого осадка составила 94...96 %. При выбранной дозе реагента обсеменённость болезнетворными микроорганизмами снизилась на 5 %. При тепловой обработке группа кишечной палочки в осадке снизилась на 99,8 %.



*Нездойминов  
Виктор Иванович*



*Жибоедов  
Александр Викторович*



*Могукало  
Анастасия Вадимовна*

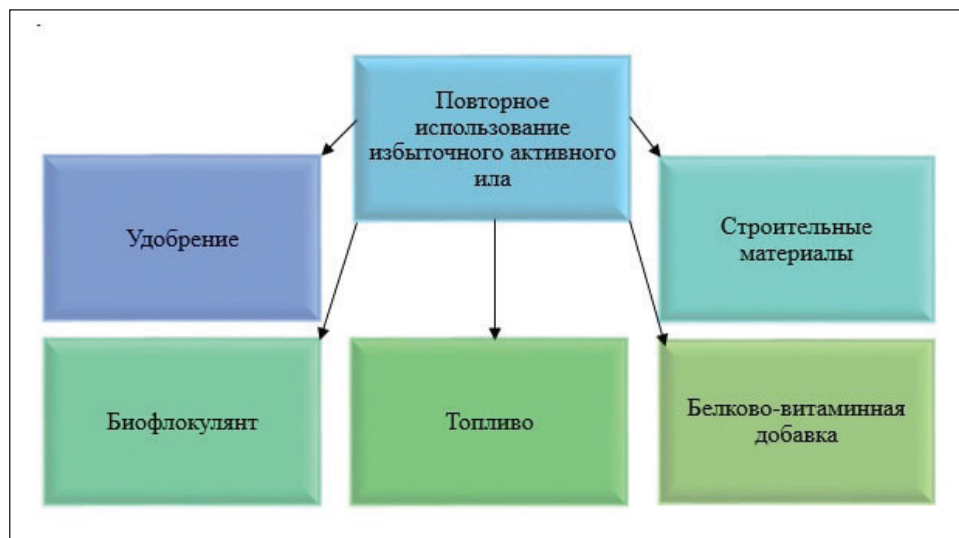
## АКТУАЛЬНОСТЬ

В населенных пунктах Донецкой Народной Республики эксплуатируются 36 канализационных очистных сооружений производительностью 260 тыс. м<sup>3</sup>/сут. При этом в ходе очистки образуется порядка 65 т/сут осадков органоминерального происхождения. Отсутствие утилизации, с последующим их использованием, а также недостаток технологий по их переработке и применению привели к складированию осадков на иловых площадках. Практически все действующие иловые площадки заполнены до критических отметок. В Донецкой области под складирование осадка отведено примерно 500 га плодородных земель. Хранение осадков на открытых иловых площадках приводит к неблагоприятной эпидемиологической ситуации, которая связана с распространением различных опасных инфекций, загрязнением почвы, атмосферного воздуха, грунтовых и подземных вод. Однако, известно, что избыточный активный ил городских сточных вод содержит комплекс ценных органических и минеральных компонентов для получения высокоэнергетического удобрения. Основным сдерживающим фактором повсеместного использования активного ила в качестве удобрений в сельском хозяйстве является значительная его обсеменённость, включая патогенную микрофлору. В настоящее время на кафедре ВВиОВР ведутся исследования, направленные на изучение различных антибактериальных препаратов, оказывающих губительное воздействие на патогенные микроорганизмы.

**Целью** данной работы является определение эффективности обеззараживания активного ила от болезнетворных микроорганизмов пероксидом водорода.

Органические осадки, образующиеся на станциях биологической очистки, частично используются для получения активных углей, флокулянта, строительных материалов, биогаза и т.п. (рис. 1).

Рис. 1. Возможные пути повторного использования осадков



В научных работах Тимаковой Д. Н. и Ксенофонта Б. С. [3] рассматривается возможность использования активного ила в качестве биофлокулянта. Авторами отмечено, что применение биомассы микроорганизмов снижает концентрацию взвешенных веществ в сточной воде на 60-70 % и уменьшает биологическую потребность кислорода на 15-25 %.

Еще одним из направлений применения избыточного активного ила является использование его в качестве белково-витаминной добавки. При этом должен соблюдаться строгий санитарный контроль над допустимыми концентрациями патогенных микроорганизмов. Данная добавка в рационе сельскохозяйственных животных балансирует корм по витаминам и белку [11].

Используются осадки в качестве строительных и дорожно-строительных материалов [17]. Для этого осадки предварительно подвергаются высокотемпературной обработке (600...800 °С), при которой происходит окисление органической части с получением минерального остатка [18].

В настоящее время все большее внимание уделяется использованию осадков городских сточных вод в качестве удобрения. Бактериальная природа активного ила обуславливается высоким содержанием в нем белковых веществ, содержание которых достигает 50 % по абсолютно сухому веществу. Активный ил содержит аминокислоты, микроэлементы, витамины различных групп [4].

В своем составе активный ил содержит, %, от массы сухого вещества: углеводы – 44...75, белки – 4,4...9, азот – 2,4...5,6, фосфор – 2,3...8, калий – 0,3...0,4. При отсутствии ионов тяжелых металлов в иле его можно рассматривать как нетрадиционное высокоэффективное удобрение. Первые опыты по изучению использования осадков сточных вод в качестве удобрения были проведены П. С. Севостьяновым (1931-1937), который сделал заключение, что данные осадки могут приравниваться к минеральным удобрениям. В работе [5] отмечается, что одноразовое внесение осадков положительно влияет на физические, физико-химические и агрохимические свойства луговой почвы. Внесение осадков сточных вод в почву способствует накоплению гумуса и основных элементов питания для растений, что благоприятно сказывается на урожайности [16].

Биологическая очистка городских сточных вод основывается на способности активного ила перерабатывать присутствующие органические вещества в сточной воде. Активный ил представляет собой хлопья коричнево-бурого цвета, которые состоят в основном из бактериальных клеток, на поверхности которых и внутри поселяются разнообразные микроорганизмы [14]. В присутствии кислорода органические вещества окисляются до H<sub>2</sub>O и CO<sub>2</sub> благодаря специфическим ферментам, выделяемым микроорганизмами. Активный ил населяют микроорганизмы, принадлежащие к родам Actinomyces, Arthrobacter, Bacillus, Bacterium, Corynebacterium, Desulfotomaculum, Desulfovibrio, Micrococcus, Pseudomonas, Sarcina и др. [7]. Среди углеводородокисляющих микроорганизмов особенно активно ведут деструкцию загрязнений гетеротрофные бактерии родов Pseudomonas, Acinetobacter, Arthrobacter, Rhodococcus, Mycobacterium; грибы р.р. Candida, Fusarium и др. Ил также населяют болезнетворные микроорганизмы, которые представлены бактериями Enterococcus, Salmonella, Brucella, Escherichia, Enterobacteria, гельминтами, вирусами и др.

В работе [3] автор представляет активный ил как скопление различных групп микроорганизмов, которые окутаны внеклеточными полимерными образованиями. Схематически процесс образования хлопьев активного ила представлен на (рис. 2) [7].

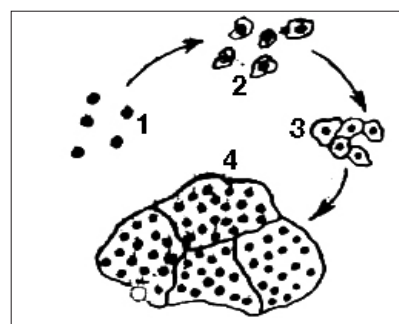


Рис. 2. Схема образования хлопьев активного ила: 1 – дисперсные клетки; 2 – дисперсные клетки в зооглейной капсуле; 3 – микрохлопок, образовавшийся в результате слипания нескольких столкнувшихся клеток; 4 – хлопья активного ила

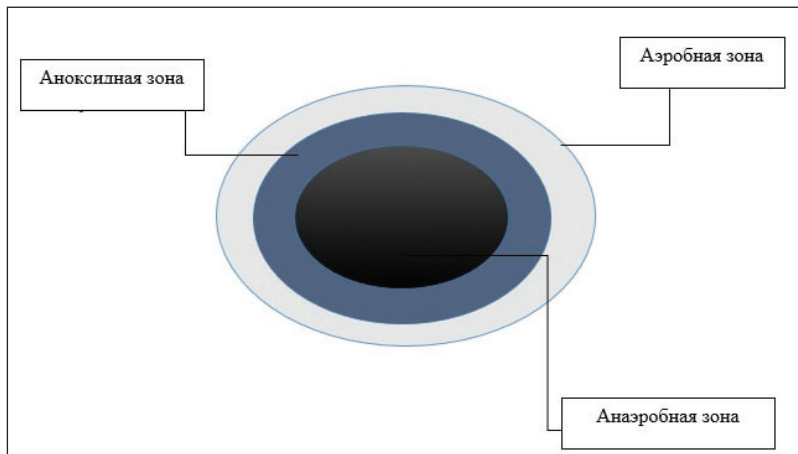


Рис. 3. Схема строения флоккулы активного ила

По мере созревания активного ила происходит укрупнение хлопьев, а также перераспределение микроорганизмов внутри хлопья активного ила [7]. В своей работе Никитина О. Г. предлагает свою версию механизма флокуляции: бактерии объединяются за счет ворсинок – выростов бактериальной оболочки, покрытых гликокаликсом. Ворсинки выходят далеко за пределы бактериальных клеток, ветвятся и, соприкасаясь, срастаются – образуют общий канал, по которому осуществляется обмен информацией и полезными продуктами. Флоккула активного ила состоит из нескольких зон: в наружной оболочке находится аэробная, внутри образуется аноксидная, а непосредственно в центре располагается анаэробная. На размеры зон оказывают влияние процессы диффузии субстрата, кислорода и в меньшей степени интенсивность перемешивания (рис. 3).

В основном все болезнетворные микроорганизмы, населяющие активный ил, являются факультативными анаэробами, для которых благоприятной средой обитания и развития являются анаэробные условия. Есть предположение, что именно из-за особенности строения флоккулы активного ила большинство болезнетворных микроорганизмов развиваются в аноксидной и анаэробной зонах флоккулы ила, где Eh-потенциал составляет -100...-200 мВ.

Число сапрофитных микроорганизмов (микробное число) в сточных водах может составлять  $4,48 \cdot 10^{12}$  КОЕ/мл, а титр бактерий группы кишечной палочки (БГКП) составляет  $5 \cdot 10^8$  КОЕ/л [8]. В соответствии с ГОСТ Р 17.4.3.07-2001 осадки, вносимые в почву, должны соответствовать санитарно-бактериологическим и санитарно-паразитологическим показателям (табл.1).

Таблица 1.

**Санитарно-бактериологические и санитарно-паразитологические показатели осадков [13]**

| Наименование показателя   | Норма для осадков группы |            |
|---|--------------------------|------------|
|   | I                        | II         |
| Бактерии группы кишечной палочки, клеток/г осадка фактической влажности                                   | 100                      | 1000       |
| Патогенные микроорганизмы, в том числе сальмонеллы, клеток/ г   | Отсутствие               | Отсутствие |
| Яйца геогельминтов и цисты кишечных патогенных простейших, экз./кг осадка фактической влажности, не более | Отсутствие               | Отсутствие |

\* Удобрения группы I: удобрения на основе осадков сточных вод, используемые для выращивания технических, кормовых, зерновых и сидеральных культур, в личном подсобном хозяйстве при выращивании рассады овощных и цветочных культур.

\*\* Удобрения группы II: удобрения на основе осадков сточных вод, используемые под посадки лесохозяйственных культур вдоль дорог, в питомниках лесных и декоративных культур, цветоводстве, для окультуривания истощённых почв, рекультивации нарушенных земель и откосов автомобильных дорог, рекультивации свалок твёрдых бытовых отходов.

На сегодняшний день в мировой практике существует несколько методов обеззараживания осадков городских сточных вод. Наиболее распространенными считаются реагентная и термическая обработки. Самым распространенным реагентом для обеззараживания осадков является негашёная известь. Данный способ обработки применяется на некоторых очистных сооружениях Германии, Финляндии, Швеции, США и России. Добавлением негашёной извести к обезвоженному осадку, с последующей его выдержкой при pH 12 в течение двух суток, обеспечивается высокая степень обеззараживания [9]. В работе [10] рекомендуемая доза внесения негашёной извести в осадок составляет 20-30 % от массы осадка. При этом происходит снижение влажности осадка и гибель болезнетворных микро-

организмов. Авторами [8] было установлено, что при количестве негашёной извести 7-9 % от массы осадка влажностью 97-98 % и времени контакта в течение трех часов получен положительный результат. При этом микроорганизмы E.coli, Enterococcus, Salmonella, Bacteriophageum в осадке не обнаружены. Преимуществами данного метода является малая стоимость извести, исключение выделения зловония, предотвращение повторного роста болезнетворных бактерий.

Для обеззараживания биомассы могут использоваться другие химические вещества. Чаще всего к таким веществам относятся аммиак (аммиачная вода), пероксид водорода, тиазон, формальдегид и др. [11]. По данным института медицинской паразитологии и тропической медицины им. Е. И. Марциновского

было установлено полное обеззараживание обезвоженных осадков сточных вод при смешивании их с аммиачной водой. При этом время выдержки составило не менее 10 суток, температура поддерживалась в районе 20 °С. Авторами были проведены исследования по применению тиазона. Была установлена оптимальная доза тиазона, которая составила 0,2...2 % от общей массы осадка. При этом время контакта составило 3...10 суток [11].

Применение химических реагентов позволяет использовать двойное их действие: обеззараживание осадка и почвы, куда вносится обработанный осадок. Основным недостаток химического обеззараживания связан с тем, что большинство реагентов токсичны и взрывоопасны. К недостаткам также следует отнести потребность в дорогостоящем оборудовании и высокую стоимость реагентов. Это основные факторы, сдерживающие широкомасштабное применение этого метода на практике.

Метод пастеризации включает нагрев осадка до температуры 65-100 °С в течение 10...30 минут [9]. Разновидностью термической обработки является сушка активного ила в специальных теплицах с использованием солнечной энергии. Данный метод применяется в Германии с 1994 г. [15], где предварительно обезвоженный шлам равномерно распределяется по поверхности теплицы (ширина 8-10 м) и перемещается вдоль нее с помощью автоматического агрегата. Влажность высушенного осадка близка к 10 %. К сожалению, в литературных источниках отсутствуют данные по эффективности обеззараживания данного метода.

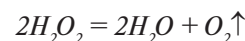
Снижение болезнетворных микроорганизмов частично происходит при аэробной стабилизации активного ила [2]. Стабилизация приводит к снижению содержания кишечной палочки и других болезнетворных микроорганизмов, в том числе вирусов, на 70-90 %. Однако, при этом яйца гельминтов не погибают. Одна из возможных причин снижения патогенности при аэробной стабилизации связана с высоким значением Eh-потенциала (200...700 мВ). Известно, что благоприятными условиями для развития болезнетворных микроорганизмов Eh-потенциал составляет -200 мВ [2].

В настоящее время большой интерес представляет обеззараживание активного ила пероксидом водорода. Наши исследования направлены на определение эффективности этого реагента на обеззараживание ила от болезнетворных микроорганизмов. Данный выбор реагента обусловлен тем, что H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> относится к окис-

лителю, который не сопровождается экологическими вредными последствиями, а также не требует дорогостоящего оборудования при его использовании [12].

Для исследований были отобраны пробы культуральной жидкости из производственного аэротенка Макеевских очистных сооружений, где концентрация активного ила после его уплотнения составила 6,7 г/дм<sup>3</sup>. Бактерицидную активность пероксида водорода оценивали по убыли бактериальной группы кишечной палочки после добавления в пробу различных доз реагента, отнесенных к одному грамму сухого вещества. Бактерии группы кишечной палочки считаются удобными микробными индикаторами.

Внесение в иловую воду реагента сопровождается химической флотацией. При разложении пероксида водорода выделяется кислород и образуется вода.



Выделяемые пузырьки кислорода прилипают к взвешенным частицам ила и выносят их в пенный слой (рис. 4). Была установлена минимальная доза пероксида водорода для процесса флотации активного ила, которая составила 0,06 г/г по беззольному веществу. Процесс флотации заканчивался через 3...5 минут после внесения реагента. Влажность сфлотированного осадка составляла 94...96 %. Концентрация растворимого кислорода в жидкости находилась на пределе растворимости, в зависимости от температуры обработанной жидкости. Остаточная концентрация взвешенных веществ в декантированной жидкости составила 50...100 мг/дм<sup>3</sup>.

В сфлотированном осадке определялось содержание группы кишечной палочки в зависимости от дозы реагента. Анализ проводился в центральной контрольно-исследовательской и проектно-испытательной лаборатории КП «Компания «Вода Донбасса» г. Донецка. Обсеменённость ила БГКП определялась согласно методическим указаниям МУ 2.1.7.730-99 [1]. Результат выражался числом колониеобразующих единиц (КОЕ в 1 г осадка) и через величину показателя lg(Nt / N<sub>0</sub>) (табл. 2).

Минимальная доза реагента не обеспечила снижение БГКП до требуемых санитарно-бактериологических показателей. Обработанный осадок не рекомендуется использовать даже для выращивания лесохозяйственных культур. Дальнейшее увеличение вносимой дозы H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> до 1 г/г сухого вещества не привело к значительному снижению группы кишечной палочки.

Рис. 4.  
Сфлотированный активный ил при обработке H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>



Таблица 2.

Санитарно-бактериологические показатели ила после обработки пероксидом водорода

| H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> , г<br>отнесенная к одному грамму сухого осадка | Бактериальная группа кишечной палочки,<br>КОЕ/г сухого вещества | Величина показателя<br>lg(Nt /N0)* в зависимости от дозы H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> |
|---|---|--|
| 0,00  | 9·10 <sup>7</sup>   | -  |
| 0,06  | 8,5·10 <sup>6</sup>   | -1,02  |
| 1,00  | 8,1·10 <sup>6</sup>   | -1,04  |

Примечание: \* Nt – количество выживших в осадке после обработки микроорганизмов, КОЕ/г;  
N<sub>0</sub> – исходное количество микроорганизмов в осадке, КОЕ/г.

Дальнейшие исследования были направлены на определение эффективности снижения БГКП в сфлотированном осадке при тепловой обработке. Установлено, что высокая степень обеззараживания происходила при температурах 40...65 °С. Значения БГКП в осадке снизилось до 500 КОЕ/г сухого вещества. Таким образом, проведенные исследования показали, что тепловая обработка активного ила является наиболее эффективным методом обеззараживания от болезнетворных микроорганизмов. Прошедший тепловую обработку ил рекомендуется использовать для биологической рекультивации неплодородных земель.

**ВЫВОДЫ**

Экспериментально установлено, что добавление минимальной дозы (0,06 г/г сухого вещества осадка) пероксида водорода в иловую жидкость приводит к химической флотации. Влажность сфлотированного осадка составила 94...96 %.

Использование H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> в качестве реагента для обеззараживания осадков городских сточных вод при обычной температуре не приводит к снижению БГКП до необходимых показателей.

Обработка сфлотированного активного ила при температуре в пределах 40...65 °С приводит к снижению бактериальной группы кишечной палочки до 500 КОЕ/г сухого вещества. Осадок после тепловой обработки можно использовать для биологической рекультивации неплодородных земель.

**Список литературы**

1. Методические указания по санитарно-микробиологическому исследованию почвы (с изм., внесенными Методическими указаниями, утв. Минздравом СССР 19.02.1981 N 2293-81, МУ 2.1.7.730-99, утв. Минздравом РФ 07.02.1999).
2. Обработка и утилизация осадков городских сточных вод [Электронный ресурс]: учебник / Э. П. Доскина, А. В. Москвичева, Е. В. Москвичева, А. А. Геращенко. – Москва, Вологда: Инфра-Инженерия, 2019. – 220 с. – ISBN 978-5-9729-0324-5. – Текст: электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS: [сайт]. – URL: <http://www.iprbookshop.ru/86610.html>.
3. Никитина, О. Г. БИОЭСТИМАЦИЯ: контроль и регулирование процессов биологической очистки и самоочищения воды [Текст]: автореф. дис...д-ра биол. / О.Г. Никитина. – М., 2012. – 47 с.
4. Зайнуллин, Р. Р. Производство кормовых продуктов из активного ила городских сточных вод [Текст] / Р. Р. Зайнуллин, А. А. Галяутдинов // Инновационная наука. 2016. № 6. С. 79-80.

5. Шуравин, А. В. Опыт удобрения почв осадком сточных вод в московской области [Текст] / А. В. Шуравин, Сурикова Н. В. // *Агрехимический вестник*. №1. -2006. – С.24-27.
6. Солодкова, А. Б. Обезвреживание отработанного активного ила с получением материалов для решения экологических проблем химических и нефтехимических предприятий [Текст]: дис...канд. техн. наук: 03.02.08 / А.Б. Солодкова. – Саратов, 2014. – 158 С.
7. Кобелева, Й. В. Биологическая очистка коммунально-бытовых сточных вод с применением реагентных препаратов [Текст]: дис...канд. техн. наук: 03.01.06 / Й.В. Кобелева – Казань, 2017. – 146 С.
8. Журавлев, П. В. Определение дезинфицирующего действия негашёной извести на микрофлору иловых осадков сточных вод очистных сооружений канализации и животноводческих комплексов [Текст] / П. В. Журавлев, В. В. Алешня, Б. И. Марченко // *Hygiene & Sanitation (Russian Journal)*. 2019. № 98(5). С. 483-488.
9. Валиев, В. С. Способы утилизации осадков городских сточных вод (обзор) [Текст] / В. С. Валиев, Д. В. Иванов, Шигудиллин Р. Р. // *Российский журнал прикладной экологии*. 2020. № 4(24). С. 52-63.
10. Фомина, И. Г. Методология исследования качества осадков сточных вод для возможности использования их в качестве удобрений [Текст] / И. Г. Фомина // Сб. II межотрасл. науч.-практ. конф. молодых учёных и специалистов, 2013. С.62-64.
11. Кармазинов, Ф. В. Опыт Водоканала Санкт-Петербурга по обработке и утилизации осадков [Текст] / Ф. В. Кармазинов, М. Д. Пробриский, Б. В. Васильев // *Водоснабжение и санитарная техника*. – 2002. – №12 (часть 1). – С. 13-15.
12. Дроздова, Т. И. Исследование бактерицидной активности пероксида водорода в сточных водах [Текст] / Т. И. Дроздова, Н. Н. Паненко, Е. С. Кулакова // *Международный научно-исследовательский журнал*. – 2016. – № 7(49). – С. 18-20.
13. Охрана природы. Почвы. Требования к свойствам осадков сточных вод при использовании их в качестве удобрений: ГОСТ Р 17.4.3.07.
14. Жмур, Н. С. Технологические и биохимические процессы очистки сточных вод на сооружениях с аэротенками / Н. С. Жмур. – Москва: АКВАРОС, 2003 (ФГУ ИПП Кострома). – 507 с.
15. Мирный, А. Н. Критерии выбора технологии обезвреживания и переработки твердых бытовых отходов / А. Н. Мирный // *Чистый город*. 1998. – № 1. – С. 8
16. Карманов, А. П. Технология очистки сточных вод [Электронный ресурс]: учебное пособие: самост. учеб. электрон. изд. / А. П. Карманов, И. Н. Полина; Сыкт. лесн. ин-т. – Электрон, дан. – Сыктывкар: СЛИ, 2015. – Режим доступа: <http://lib.sfi.komi.com>.
17. Цыбина, А. В. Перспективное направление утилизации продуктов термической обработки осадков сточных вод при производстве керамических строительных материалов [Текст] / А. В. Цыбина, М. С. Дьяков, Я. И. Вайсман // *Фундаментальные исследования*. 2014. - № 6-2. – С.265-270.
18. Валетов, Д. С. Анализ методов утилизации осадков городских сточных вод [Текст] / Д. С. Валетов, О. В. Каченко // *Academy*. 2018. - №13(290). – С. 16-20.