



ISSN 1993-3495 online

СОВРЕМЕННОЕ ПРОМЫШЛЕННОЕ И ГРАЖДАНСКОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО
СУЧАСНЕ ПРОМИСЛОВЕ ТА ЦИВІЛЬНЕ БУДІВНИЦТВО
MODERN INDUSTRIAL AND CIVIL CONSTRUCTION

2022, ТОМ 18, НОМЕР 4, 167–175

EDN: XMDDPE

УДК 628.381

ВЛИЯНИЕ ОКИСЛИТЕЛЬНО-ВОССТАНОВИТЕЛЬНОГО ПОТЕНЦИАЛА НА СНИЖЕНИЕ ПАТОГЕННОЙ ОБСЕМЕНЕННОСТИ АКТИВНОГО ИЛА ПРИ АЭРОБНОЙ СТАБИЛИЗАЦИИ

В. И. Нездойминов¹, А. В. Могукало²

*ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»,
2, ул. Державина, г. Макеевка, ДНР, 86123.*

E-mail: ¹ v.i.nezdoiminov@donnasa.ru, ² a.v.mogukalo@donnasa.ru

Получена 11 ноября 2022; принята 25 ноября 2022.

Аннотация. В статье рассмотрен биологический метод обработки избыточного активного ила, основанный на изменении окислительно-восстановительного потенциала среды, для снижения патогенной обсеменённости ила. Установлено, что протекание процессов нитрификации и образование окисленных форм азота приводит к повышению окислительно-восстановительного потенциала иловой смеси. Максимальное значение окислительно-восстановительного потенциала достигло 500 мВ на вторые сутки стабилизации, при этом концентрация нитратов составила 159,00 мг/дм³. Дальнейший рост нитратов не повлиял на последующее увеличение потенциала. Снижение бактериальной группы кишечной палочки в процессе аэробной стабилизации активного ила произошло на вторые сутки, после чего процесс стабилизировался и дальнейшего снижения кишечной палочки не происходило. Обработка осадка в течение двух суток позволила снизить патогенную обсеменённость по показателю бактериальной группы кишечной палочки на 75 %.

Ключевые слова: активный ил, аэробная стабилизация, окислительно-восстановительный потенциал, нитраты, патогенная обсеменённость.

ВПЛИВ ОКИСЛЮВАЛЬНО-ВІДНОВНОГО ПОТЕНЦІАЛУ НА ЗНИЖЕННЯ ПАТОГЕННОГО ОБСІМЕНІННЯ АКТИВНОГО МУЛУ ПРИ АЕРОБНІЙ СТАБІЛІЗАЦІЇ

В. І. Нездоймінов¹, А. В. Могукало²

*ДОН ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури»,
2, вул. Державіна, м. Макіївка, ДНР, 86123.*

E-mail: ¹ v.i.nezdoiminov@donnasa.ru, ² a.v.mogukalo@donnasa.ru

Отримана 11 листопада 2022; прийнята 25 листопада 2022.

Анотація. У статті розглянуто біологічний метод обробки надлишкового активного мулу, заснований на зміні окислювально-відновного потенціалу середовища, для зниження патогенного обсіменіння мулу. Встановлено, що перебіг процесів нітрифікації і утворення окислених форм азоту призводить до підвищення окисно-відновного потенціалу мулової суміші. Максимальне значення окислювально-відновного потенціалу досягло 500 мВ на другу добу стабілізації, при цьому концентрація нітратів склала 159,00 мг/дм³. Подальше зростання нітратів не вплинуло на подальше збільшення потенціалу. Зниження бактеріальної групи кишкової палички в процесі аеробної стабілізації активного мулу відбулося на другу добу, після чого процес стабілізувався і подальшого зниження кишкової палички



не відбувалося. Оброблення осаду протягом двох діб дозволило знизити патогенне обсіменіння за показником бактеріальної групи кишкової палички на 75 %.

Ключові слова: активний мул, аеробна стабілізація, окислювально-відновний потенціал, нітрати, патогенне обсіменіння.

THE EFFECT OF THE OXIDATION-REDUCTION POTENTIAL ON THE REDUCTION OF PATHOGENIC CONTAMINATION OF ACTIVATED SLUDGE DURING AEROBIC STABILIZATION

Viktor Nezdoyminov¹, Anastasia Mogukalo²

*Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture,
2, Derzhavin Str., Makeevka, DPR, 83123.*

E-mail: ¹v.i.nezdoimov@donnasa.ru, ²a.v.mogukalo@donnasa.ru

Received 11 November 2022; accepted 25 November 2022.

Abstract. The article considers a biological method of processing excess activated sludge, based on a change in the oxidation-reduction potential of the environment, to reduce the pathogenic contamination of sludge. It is established that the conduct of the nitrification processes and the formation of oxidized nitrogen forms leads to an increase in the oxidation-reduction potential of the mixed liquor. The maximum value of the redox potential reached 500 mV on the second day of stabilization, while the concentration of nitrates was 159,00 mg/dm³. Further growth of nitrates did not affect the subsequent increase in potential. A decrease in the bacterial group of *Escherichia coli* in the process of aerobic stabilization of activated sludge occurred on the second day, after which the process stabilized and no further decrease in *Escherichia coli* occurred. Sludge treatment, that lasted for two days, allowed to reduce the pathogenic contamination in terms of the bacterial group of *Escherichia coli* by 75 %.

Keywords: activated sludge, aerobic stabilization, oxidation-reduction potential, nitrates, pathogenic contamination.

Актуальность темы

В процессе биологической очистки муниципальных сточных вод микроорганизмами активного ила, культивируемого в аэробных условиях, образуется избыточная биомасса. Образованный избыток активного ила представляет интерес в качестве биорекультиванта неплодородных почв, а также удобрения ввиду наличия в нем различных органических и биогенных веществ, таких как фосфор, азот, калий. Использовать ил в качестве удобрения невозможно по двум основным причинам: присутствие ионов тяжелых металлов и патогенных микроорганизмов. Во многих случаях ионы тяжелых металлов входят в допустимые нормы за счет исключения сброса производственных сточных вод в городскую канализационную сеть. Нерешенной проблемой является удале-

ние болезнетворных групп микроорганизмов из активного ила. Повышенная патогенная обсеменённость обусловлена тем, что поступающие сточные воды содержат различные виды болезнетворных микроорганизмов, выделяемые в процессе жизнедеятельности человека и животных. Патогенные микроорганизмы принимают непосредственное участие в разрушении органических загрязнений сточных вод и в основном концентрируются внутри флокул активного ила. При этом общее количество патогенов достигает порядка $1 \cdot 10^8 \dots 1 \cdot 10^{10}$ колониеобразующих единиц (КОЕ) на грамм сухого вещества ила. Патогенная микрофлора и гельминты представляют существенную опасность для человека и окружающей среды. Санитарно-бактериологические нормативы регламентируют содержание патогенов не более 1 000 колониеобразующих

единиц на грамм осадка фактической влажностью при использовании его в качестве удобрения.

Наиболее распространенные методы снижения патогенной обсемененности избыточного активного ила включают термическую или реагентную обработки. Однако такие методы не нашли широкого применения из-за высокой стоимости реагентов и значительных энергетических затрат. Альтернативным методом можно считать аэробную стабилизацию ила с культивированием биоценоза нитрифицирующих микроорганизмов, повышающих окислительно-восстановительный потенциал среды, обладающий обеззараживающим эффектом по отношению к патогенным микроорганизмам.

Цель

Снижение патогенной обсемененности избыточного активного ила при аэробной стабилизации за счет возрастания окислительно-восстановительного потенциала среды при культивировании биоценоза нитрифицирующих микроорганизмов.

Основной материал

Значительное количество болезнетворных микроорганизмов ежедневно поступают в канализационную сеть. Источником поступления болезнетворных микроорганизмов на городские очистные сооружения являются фекально-бытовые стоки. Патогенные микроорганизмы в сточных водах представлены бактериями: *Salmonella sp.*, *Brucella*, *Esherichia coli*, *Enterobacteria sp.*, *Staphylococcus Sterptococcus faecalis*; гельминтами: *Ascaris lumbricoides*, *hilmintic parasites*; вирусами: *Hepatitis virus*, *Corsicule virus* и другими видами [10]. Они вызывают такие болезни, как кишечные инфекции, сальмонеллез, гельминтоз, гепатит А и другие. Кроме того, в сточной воде могут содержаться различные патогенные грибы, такие как *Bipolaris sorokiniana*, *Botrytis cinerea*, которые являются возбудителями болезней у людей, животных, а также растений. Количество патогенов в стоках зависят от состояния здоровья местного населения и могут изменяться в зависимости от времени года [6]. Преобладающая часть болезнетворных микроорганизмов относится к анаэробам, в том числе и факультативным,

к которым относятся: *Citrobacter*; *Enterobacter*, *Klebsiella*, *Serratia*, *E. Coli*, *Salmonella* [13].

Процесс биологической очистки городских сточных вод является наиболее эффективным методом удаления из сточных вод одиночных клеток патогенных бактерий и вирусов, не прикрепленных к частицам активного ила. Так, после первичного отстаивания в сточных водах содержание колиформных бактерий снижается на 70...80%. Это объясняется тем, что при отстаивании выделяется сырой осадок, на котором адсорбируются болезнетворные бактерии. Сырой осадок - идеальная среда для развития патогенных бактерий, количество которых достигает $1 \cdot 10^9 \dots 1 \cdot 10^{10}$ КОЕ/г [7]. Обсемененность патогенными микроорганизмами в отстаиваемой воде после вторичного отстаивания сокращается на 80...90%. Основное количество патогенных микроорганизмов концентрируется в активном иле, что составляет в одном грамме активного ила по сухому веществу $6,4 \cdot 10^3$ колиформ, $2,1 \cdot 10^6$ стрептококков, $8 \cdot 10^2$ сальмонелл, $3,5 \cdot 10^3$ вирусов, а также более 1 000 яиц гельминтов [1]. Опыт эксплуатации Макеевских очистных сооружений показывает, что количество бактериальной группы кишечной палочки в отстаиваемой жидкости после биологической очистки колеблется в пределах $7 \cdot 10^5 \dots 7 \cdot 10^6$ КОЕ/дм³, в то время как в активном иле количество достигает $2,4 \cdot 10^7 \dots 2,4 \cdot 10^9$ КОЕ/кг при влажности ила 98%.

Наличие в активном иле болезнетворных бактерий является сдерживающим фактором для использования его в качестве удобрительного материала. На сегодняшний день мониторинг всех потенциально опасных микроорганизмов в активном иле является дорогостоящим и технически сложным. Общепринято основной индикатор патогенности осадка выражать через содержание бактериальной группы кишечной палочки (БГКП), а также сальмонелл и гельминтов [2]. Данные показатели основаны на определении содержания возбудителей особо опасных болезней, рассчитываемых по количеству клеток в 1 грамме осадка.

Согласно ГОСТ Р 17.4.3.07-2001 по степени контаминации осадки делятся на 2 группы (осадки I группы используют под сельскохозяйственные культуры, осадки II группы используют под зерновые и технические культуры), представленные в таблице 1.

Таблица 1. Санитарно-бактериологические и санитарно-паразитологические показатели осадков [2]

Наименование показателя	Норма для осадков группы	
	I	II
Бактерии группы кишечной палочки, клеток/ г осадка фактической влажности	100	1 000
Патогенные микроорганизмы, в том числе сальмонеллы, клеток/г осадка фактической влажности	Отсутствие	Отсутствие
Яйца геогельминтов и цисты кишечных патогенных простейших, экз./кг осадка фактической влажности	Отсутствие	Отсутствие

Основные способы обработки избыточного активного ила от патогенной обсеменённости можно разделить на два вида: термический и реагентный. К термической обработке можно отнести: нагрев осадка в теплообменниках до 70 °С, сжигание и пиролиз. К достоинствам данного метода относятся значительное уменьшение объемов осадка, хорошая эффективность обеззараживания, а при пиролизе происходит полная минерализация. Однако данные способы имеют ряд недостатков, которые заключаются в высоких энергозатратах и сложности оборудования.

Для обеззараживания ила используются различные химические вещества. К таким веществам относятся: аммиак (аммиачная вода), тиазол, формальдегид и др. [4]. Одним из распространенных реагентов для обеззараживания осадков является гашеная или негашеная известь, с последующей их выдержкой при рН 12. Рекомендуемая доза извести составляет 20...30 % от массы осадка при влажности 70...80 %. Авторами [3] было установлено, что при количестве негашеной извести 7...9 % от массы осадка влажностью 97...98 % и времени контакта в течение трех часов, получен положительный результат по снижению патогенной микрофлоры. При этом микроорганизмы *E.coli*, *Enterococcus*, *Salmonella*, *Bacteriophageum* в осадке не обнаружены. При обработке ила известью повышается щелочность осадка. Осадок должен соответствовать нормам, представленным в ГОСТ Р 17.4.3.07-2001 «Требования к свойствам осадков сточных вод при использовании их в качестве удобрений», при этом рН осадка должен составлять 8,5, за исключением применения его на кислых почвах.

Наряду с рассмотренными методами обработки избыточного активного ила существует биологический способ, основанный на способ-

ности продуктов метаболизма определенных групп аэробных микроорганизмов изменять окислительные свойства среды, которые оказывают губительное действие на патогенную микрофлору. Известно, что окислительно-восстановительные процессы биохимических реакций лежат в основе метаболизма микроорганизмов, сопровождающиеся переносом электронов. Величина Eh-потенциала зависит от интенсивности процесса окисления-восстановления, определяемого температурой и содержанием органического субстрата, а также содержанием окисленных неорганических соединений, являющихся акцепторами электронов, включая нитраты [12]. Культивирование нитрифицирующих бактерий (*Nitrobacter*) приводит к образованию ионов нитритов (NO_2^-), которые окисляются до нитратов кислородом воздуха. Редокс-потенциал пары $\text{NO}_2^-/\text{NO}_3^-$ составляет +0,42 В [9]. Снижение патогенности активного ила целесообразно проводить при аэробной стабилизации, так как при длительной аэрации происходит разрушение белковой части ила с выделением аммонийного азота, который нитрифицирующими бактериями окисляется до нитратов. Процесс аэробной стабилизации ила сопровождается повышением окислительно-восстановительного потенциала (ОВП).

Согласно устоявшейся в микробиологии классификации аэробные микроорганизмы активно растут при окислительно-восстановительном потенциале от +500 до +300 мВ; факультативные анаэробы +300 мВ – 100 мВ; и анаэробные от +100 мВ – 250 мВ [11]. Так, например, такие болезнетворные микроорганизмы, как *E. coli*, *Salmonella*, *Listeria*, попадая в окислительную среду с ОВП более 665 мВ, имеют время выживания менее 30 секунд, а при ОВП менее 485 мВ

время жизнедеятельности составляет более 300 секунд [13].

Высокая обсемененность активного ила патогенами обусловлена особенностью строения флоккулы ила. В научной работе [8] строение флоккулы активного ила авторы представляют как состоящую условно из нескольких зон: наружная – аэробная, внутренняя – аноксидная и (или) анаэробная. Наружный слой флоккулы толщиной порядка 100 мкм является аэробной, благодаря диффузии кислорода и нитратов. В этом слое преобладают в основном аэробные гетеротрофные и автотрофные нитрифицирующие микроорганизмы. Ближе к центру флоккулы, где наблюдается дефицит кислорода, создаются аноксидные условия, благоприятные для развития анаэробных микроорганизмов, включая патогенных, а также денитрифицирующие.

Расчетным путем в исследованиях [5] показано, что кислород полностью проникает в хлопья ила на толщину 100...125 мкм, а нитраты – до 200 мкм. Размеры зон флоккул активного ила зависят от проникновения кислорода и нитратов и определяют условия образования аэробных и аноксидных зон, где развиваются соответствующие виды бактерий. Так как патогены относятся к анаэробам то они в основном, размещены во внутренних слоях флоккулы, куда не проникают кислород и окисленные формы азота. За счет этого создается восстановленная среда, благоприятная для развития патогенов. В наружных слоях флоккулы ила в результате диффузии кислорода

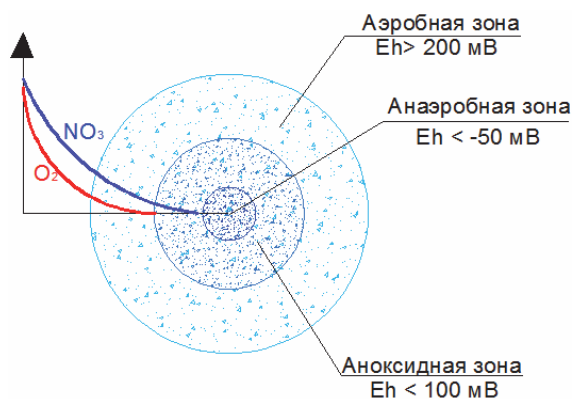


Рисунок 1. Кривая проникновения нитратов и кислорода внутрь флоккулы активного ила с образованием различных зон окислительно-восстановительного потенциала [8].

и нитратов повышается окислительно-восстановительный потенциал, губительно влияющий на патогенную микрофлору. На поверхности флоккулы создаются благоприятные условия для роста нитрифицирующих бактерий, для которых характерное значение Eh-потенциала более +200 мВ, для денитрифицирующих –50...–200 мВ.

На рисунке 1 схематично изображена кривая проникновения кислорода и нитратов внутрь флоккулы ила и зоны с различным ОВП.

Экспериментальные исследования были направлены на получение зависимости образования нитратов и изменение окислительно-восстановительного потенциала среды, влияющие на снижение патогенных микроорганизмов при аэробной стабилизации активного ила.

Опыты по стабилизации проводили с активным илом, отобранным из вторичного отстойника Макеевских очистных сооружений. Ежедневно контролировались следующие показатели: рН, ОВП, соединения минерального азота, беззольное вещество активного ила (БВАИ) и др. Снижение органической части ила оценивали косвенно по уменьшению БВАИ и концентрации нитратов. Температурный интервал жидкости в установке поддерживался на уровне 22...24 °С. Концентрация растворенного кислорода воздуха в воде варьировалась в пределах 3...4 мг/дм³. Исходная концентрация активного ила до стабилизации – 6,5 г/дм³. Окислительно-восстановительный потенциал в иловой смеси определялся с помощью универсального иономера ЭВ-74, а в качестве основного электрода использовался электрод платиновый высокотемпературный ЭПВ-1. Полученные данные представлены в таблице 2.

Процесс аэробной стабилизации активного ила продолжался непрерывно в течение шести суток. По окончании эксперимента беззольное вещество активного ила снизилось с 4,66 г/дм³ до 4,13 г/дм³, при этом зольность ила увеличилась с 28,2 до 31 %. Снижение щелочности иловой смеси происходило в результате биологического окисления азота аммонийного. Наибольшая удельная скорость образования нитратов (0,28 мг/г·ч), а следовательно, и разрушение белковой части ила наблюдалось в первые двое суток. Дальнейшее увеличение времени обработки привело к снижению удельной скорости до 0,017 мг/г·ч. Рост нитратов в процессе

Таблица 2. Показатели иловой смеси при аэробной стабилизации в непроточных условиях

Продолжительность аэробной стабилизации, сутки	Показатели						
	БВАИ г/дм ³	Абсолютно сухое вещество активного ила	Азот аммонийный N-NH ₄ ⁺ , мг/дм ³	Азот нитратов N-NO ₃ ⁻ , мг/дм ³	ОВП, мВ	Щелочность мг-экв/дм ³	pH
0	4,66	6,5	2,2	5,5	+200	4,5	8,2
1	4,57	6,39	1,4	15,6	+350	3,8	8,0
2	4,44	6,25	0,55	37,51	+500	3,3	7,8
3	4,36	6,16	0,51	48,6	+510	2,6	7,4
4	4,29	6,08	0,45	58,0	+520	1,8	7,2
5	4,22	6,05	0,23	50,5	+500	0,9	6,8
6	4,13	6,00	–	45,6	+490	0,6	6,7

стабилизации приводит к повышению окислительно-восстановительного потенциала иловой смеси. Это связано с тем, что конечным продуктом нитрификации является нитрат, представляющий собой соединение с одним из самых высоких окислительно-восстановительных потенциалов – 0,74 В [2]. Изменение окислительно-восстановительного потенциала и азота нитратов в зависимости от времени аэробной стабилизации представлено на рисунке 2.

Полученные данные указывают на то, что с повышением концентрации нитратов увеличивается

оxidительно-восстановительный потенциал среды. Максимальное значение ОВП 500 мВ наблюдается на вторые сутки стабилизации при концентрации нитратов 159,00 мг/дм³. Увеличение концентрации нитратов до 273,00 мг/дм³ не привело к увеличению ОВП.

Ежесуточно отбирались пробы ила на определение в нем бактериальной группы кишечной палочки. Анализ на наличие БГКП в активном иле проводился в центральной контрольно-исследовательской и проектно-исследовательской лаборатории КП «Компания «Вода Донбасса» г. Донецка.

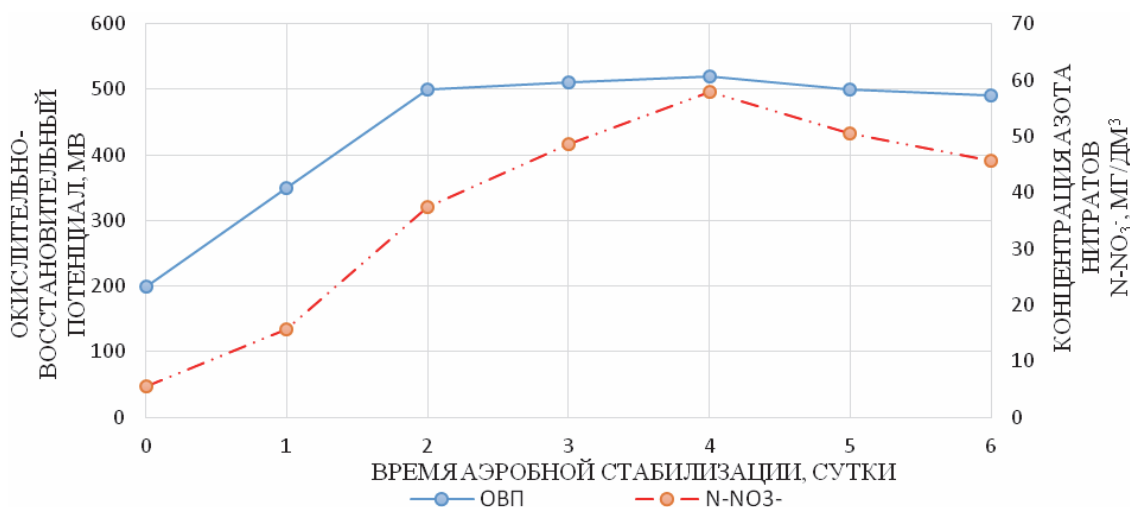


Рисунок 2. Изменение окислительно-восстановительного потенциала и азота нитратов в зависимости от продолжительности аэробной стабилизации активного ила.

С учетом того, что ил имеет повышенную патогенную обсеменённость, определение БГКП проводилось прямым посевом иловой суспензии на поверхности Эндо. Полученные посевы выращивались в термостате при 37 °С в течение 24 часов. Для определения количества бактерий число колониформных колоний, выросших на чашке, умножалось на степень десятикратного разведения. Полученные результаты снижения БГКП и окислительно-восстановительного потенциала, в зависимости от времени обработки осадка, представлены на рисунке 3.

Максимальное снижение бактериальной группы кишечной палочки в процессе аэробной стабилизации активного ила произошло на вторые сутки, после чего процесс стабилизировался и дальнейшего снижения кишечной палочки не происходило. Обработка осадка в течение двух суток позволила снизить патогенную обсеменённость по показателю бактериальной группы кишечной палочки на 75 %.

Дополнительно был проведён эксперимент с искусственным добавлением нитратов в иловую смесь 280 мг/дм³. Полученные результаты свидетельствуют, что внесение нитратов в иловую

смесь и двухчасовая аэрация способствовали увеличению окислительно-восстановительного потенциала с +250 мВ до +500 мВ. Снижение БГКП в обработанном иле достигло 70 %. Искусственная добавка нитратов способствовала повышению ОВП до +500 мВ, что повлияло на гибель болезнетворных бактерий. Эксперименты убедительно показали, что накопление нитратов в процессе аэробной стабилизации способствует повышению окислительно-восстановительного потенциала и гибели болезнетворных бактерий.

Выводы

На снижение патогенности активного ила при аэробной стабилизации оказывают существенную роль процессы нитрификации, приводящие к росту нитратов и окислительно-восстановительного потенциала.

Аэробная стабилизация активного ила в течение двух суток содействует протеканию процесса нитрификации с повышением ОВП до 500 мВ и снижению бактериальной группы кишечной палочки на 75 %.

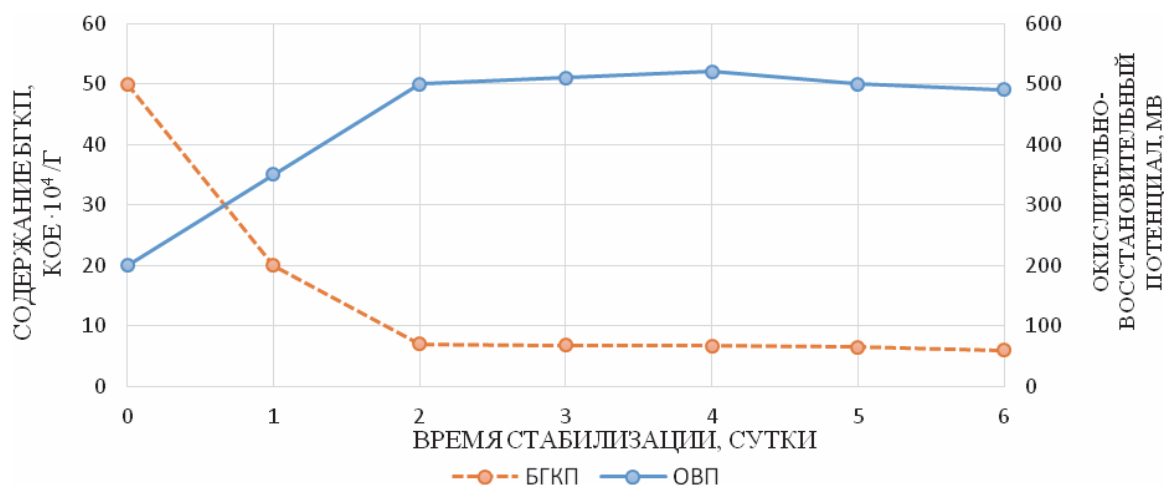


Рисунок 3. Изменение БГКП и окислительно-восстановительного потенциала в зависимости от времени аэробной стабилизации.

Литература

1. Янин, Е. П. Осадки городских сточных вод как источник биологического загрязнения / Е. П. Янин. – Текст : непосредственный // Экологическая экспертиза. – 2009. – № 2. – С. 48–77.
2. ГОСТ Р 17.4.3.07-2001. Охрана природы. Почвы. Требования к свойствам осадков сточных вод при использовании их в качестве удобрений = Nature protection. Soils. Requirements for sewage sludge use for fertilization : государственный стандарт Российской Федерации : издание официальное : утвержден и введен в действие Постановлением Госстандарта России от 23 января 2001 г. № 30-ст : введен впервые 2001-10-01 / разработан ОАО «Научно-исследовательский институт коммунального водоснабжения и очистки воды». – Москва : Стандартинформ. – 2001. – 5 с. – Текст : непосредственный.
3. Журавлев, П. В. Определение дезинфицирующего действия негашёной извести на микрофлору иловых осадков сточных вод очистных сооружений канализации и животноводческих комплексов / П. В. Журавлев, В. В. Алешня, Б. И. Марченко. – Текст : непосредственный // Hygiene & Sanitation (Russian Journal). – 2019. – № 98(5). – С. 483–488.
4. Кармазинов, Ф. В. Опыт водоканала Санкт-Петербурга по обработке и утилизации осадков / Ф. В. Кармазинов, М. Д. Пробирский, Б. В. Васильев. – Текст : непосредственный // Водоснабжение и санитарная техника. – 2002. – № 12 (часть 1). – С. 13–15.
5. Нездойминов, В. И. Одноиловая нитрификация денитрификация в биологических реакторах с затопленной эрлифтной системой аэрации : специальность 05.23.04 «Водоснабжение, канализация, строительные системы охраны водных ресурсов» : диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук / Нездойминов Виктор Иванович ; Донбасская национальная академия строительства и архитектуры. – Макеевка, 2012. – 280 с. – Текст : непосредственный.
6. Gerardi, Michael H. Wastewater bacteria / Michael H. Gerardi. – Hoboken : John Wiley & Sons, Inc., 2006. – 267 p. – Текст : непосредственный.
7. Pathogen and Particle Associations in Wastewater: Significance and Implications for Treatment and Disinfection Processes / С. Chahal, В. Van Den Akker, F. Young [et. al.]. – Текст : непосредственный // Advances in applied microbiology. – 2016. – № 97. – P. 63–85.
8. The mechanisms of granulation of activated sludge in wastewater treatment, its optimization, and impact on effluent quality / R. Liébana, F. Persson, O. Modin [et. al.]. – Текст : непосредственный // Applied Microbiology and Biotechnology. – 2018. – № 102(3). – P. 5005–5020.
9. Лысак, В. В. Микробиология / В. В. Лысак. – Минск : БГУ, 2007. – 430 с. – Текст : непосредственный.

Referens

1. Ianin, E. P. Urban waste water sludge as a source of biological pollution. – Text : direct. – In: *Ekologicheskaya ekspertiza*. – 2009. – № 2. – P. 48–77. (in Russian)
2. GOST R 17.4.3.07-2001. Nature protection. Soils. Requirements for sewage sludge use for fertilization. – Moscow : Standartinform. – 2001. – 5 p. – Text : direct. (in Russian)
3. Zhuravlev, P. V.; Aleshnia, V. V.; Marchenko, B. I. Determination of the disinfectant action of caustic lime on the microflora of sludge of wastewater of cleaning facilities for sewerage and cattle-breeding complexes. – Text : direct. – In: *Hygiene & Sanitation (Russian Journal)*. – 2019. – № 98(5). – P. 483–488. (in Russian)
4. Karmazinov, F. V.; Probirskii, M. D.; Vasilev, B. V. The experience of the St. Petersburg water utility in the treatment and disposal of sludge. – Text : direct. – In: *Vodosnabzhenie i sanitarnaya tekhnika*. – 2002. – № 12 (часть 1). – С. 13–15. (in Russian)
5. Nezdoyminov, V. I. Single- sludge nitrification denitrification in biological reactors with a flooded airlift aeration system : Thesis for a D. Sc. in Engineering ; Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. – Makeevka, 2012. – 280 p. – Text : direct. (in Russian)
6. Gerardi, Michael H. Wastewater bacteria. – Hoboken : John Wiley & Sons, Inc., 2006. – 267 p. – Text : direct. (in English)
7. Chahal, C.; Van Den Akker, B.; Young, F. [et. al.]. Pathogen and Particle Associations in Wastewater: Significance and Implications for Treatment and Disinfection Processes. – Text : direct. – In: *Advances in applied microbiology*. – 2016. – № 97 – P. 63–85. (in English)
8. Liébana, R.; Persson, F.; Modin, O. [et. al.]. The mechanisms of granulation of activated sludge in wastewater treatment, its optimization, and impact on effluent quality. – Text : direct. – In: *Applied Microbiology and Biotechnology*. – 2018. – № 102(3). – P. 5005–5020. (in English)
9. Lysak, V. V. Microbiology. – Minsk : BSU, 2007. – 430 p. – Text : direct. (in Russian)
10. Gunina, E. A. Agroecological assessment of wastewater sludge from wastewater treatment facilities of Yuzhnoye Butovo in Moscow for use in agriculture : Thesis for a Ph. D. in Biology ; Moscow State University named after M. V. Lomonosov. – Moscow, 2017. – 142 p. – Text : direct. (in Russian)
11. Ray, B. Fundamental food microbiology. – Boca Raton FL : CRC Press, 2004. – 625 p. – Text : direct. (in English)
12. Martinovich, G. G.; Cherenkevich, S. N. Redox processes in tapholes : monograph. – Minsk : BSU publishing house, 2008. – 159 p. – Text : direct. (in Russian)
13. Gabidullin, Z. G.; Savchenko, T. A.; Gabidullin, Iu. Z. [et. al.]. Opportunistic gram-negative and gram-positive bacteria : Study guide. – Ufa : Published

10. Гунина, Е. А. Агроэкологическая оценка осадка сточных вод очистных сооружений Южное Бутово г. Москвы для применения в агрикультуре : специальность 06.01.04 «Агрохимия» : диссертация на соискание ученой степени кандидата биологических наук / Гунина Евгения Александровна ; Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова. – Москва, 2017. – 142 с. – Текст : непосредственный.
 11. Ray, B. *Fundamental food microbiology* / B. Ray. – Boca Raton FL : CRC Press, 2004. – 625 p. – Текст : непосредственный.
 12. Мартинович, Г. Г. Окислительно-восстановительные процессы в летках : монография / Г. Г. Мартинович, С. Н. Черенкевич. – Минск : Издательство БГУ, 2008. – 159 с. – Текст : непосредственный.
 13. Условно-патогенные грамотрицательные и грамположительные бактерии : учебное пособие / З. Г. Габидуллин, Т. А. Савченко, Ю. З. Габидуллин [и др.]. – Уфа : Издательство ГБОУ ВПО БГМУ Минздрава России, 2014. – 82 с. – Текст : непосредственный.
- BSMU of the Ministry of Health of the Russian Federation, 2014. – 82 p. – Text : direct. (in Russian)

Нездойминов Виктор Иванович – доктор технических наук, профессор; заведующий кафедрой водоснабжения, водоотведения и охраны водных ресурсов ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: биологическая очистка сточных вод.

Могукало Анастасия Вадимовна – ассистент кафедры водоснабжения, водоотведения и охраны водных ресурсов ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: обработка осадков.

Нездойминов Віктор Іванович – доктор технічних наук, професор; завідувач кафедри водопостачання, водовідведення та охорони водних ресурсів ДООУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: біологічна очистка стічних вод.

Могукало Анастасія Вадимівна – асистент кафедри водопостачання, водовідведення та охорони водних ресурсів ДООУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: оброблення осадків.

Nezdoyminov Viktor – D. Sc. (Eng.), Professor; Head of Water Supply, Sanitation and Protection of Water Resources Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: biological treatment of wastewater.

Mogukalo Anastasia – Assistant, Water Supply, Sanitation and Protection of Water Resources Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: sludge treatment.