



ВОЗДЕЙСТВИЕ АБИОТИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА СОСТОЯНИЕ БИОЦЕНОЗА АКТИВНОГО ИЛА И ЕГО ГИДРОБИОХИМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ

Юлия Н. Дочкина¹ ✉, dochkina.j.n@yandex.ru, 0000-0001-9113-1564

Владимир И. Корчагин¹, kvi-vgta@rambler.ru, 0000-0001-7212-1627

Алина А. Плякина¹, alina.plyakina7@gmail.com, 0000-0001-7848-2685

¹ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет инженерных технологий», пр. Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия

Качество биологической очистки сточных вод напрямую зависит не только от концентрации загрязняющих веществ, но и от состояния биоценоза активного ила. Оценка состояния активного ила осуществляется по двум группам критериев: гидрохимическим (массовая концентрация, иловый индекс, скорость оседания) и гидробиологическим (видовое разнообразие, активность, количество микроорганизмов). На показатели жизнедеятельности активного ила влияет ряд факторов. Недостаточно изученным является влияние уровня pH и температуры стоков на гидробиологические и гидрохимические характеристики биоценоза. Целью работы является изучение влияния сточных вод с различными pH = 3, 5, 8, 9, 10 и температурой $t = 5, 10, 30, 40$ °C на гидрохимические и гидробиологические показатели. В результате исследований установлено: при pH = 3, 5, 10 наблюдается падение массовой концентрации ниже $2,5$ г/дм³, а иловый индекс повышается более чем до 200 см³/г, гидробиологический анализ подтверждает ухудшение состояния активного ила в части критического снижения видового разнообразия. При воздействии стоков с температурой $t = 5, 40$ °C наблюдается быстрое снижение массовой концентрации до критических значений менее 1 г/дм³, в то же время иловый индекс падает, а скорость оседания возрастает при $t = 5$ °C, в отличие от среды с температурой $t = 40$ °C, где наблюдается вспухание биоценоза с повышением илового индекса и снижением скорости оседания.

Ключевые слова: активный ил, биоценоз, температура, pH, абиотические факторы

Благодарности: Авторы благодарят рецензентов за вклад в экспертную оценку статьи.

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Дочкина Ю.Н. Воздействие абиотических факторов на состояние биоценоза активного ила и его гидробиохимические показатели / Ю.Н. Дочкина, В.И. Корчагин, А.А. Плякина // Лесотехнический журнал. – 2021. – Т. 11. – № 4 (44). – С. 29–42. – Библиогр.: с. 39–42 (19 назв.). – DOI: <https://doi.org/10.34220/issn.2222-7962/2021.4/3>.

Поступила: 14.11.2021 **Принята к публикации:** 20.12.2021 **Опубликована онлайн:** 30.12.2021

IMPACT OF ABIOTIC FACTORS ON THE STATE OF ACTIVATED SLUDGE BIOCECENOSIS AND ITS HYDROBIOCHEMICAL PARAMETERS

Yulia N. Dochkina¹ ✉, dochkina.j.n@yandex.ru,  0000-0001-9113-1564

Vladimir I. Korchagin¹, kvi-vgta@rambler.ru,  0000-0001-7212-1627

Alina A. Plyakina¹, alina.plyakina7@gmail.com,  0000-0001-7848-2685

¹ FSBEI HE Voronezh State University of Engineering Technologies, 394036, 19 Revolyutsii Ave., Voronezh, Russian Federation

Abstract

The quality of biological wastewater treatment directly depends not only on the concentration of pollutants, but also on the state of the activated sludge biocenosis. The assessment of the state of activated sludge is carried out according to two groups of criteria: hydrochemical (mass concentration, sludge index, sedimentation rate) and hydrobiological (species diversity, activity, number of microorganisms). A number of factors affect vital functions of activated sludge. The influence of pH level and temperature of effluents on the hydrobiological and hydrochemical characteristics of the biocenosis is insufficiently studied. The aim of the work is to study the effect of wastewater with different pH = 3, 5, 8, 9 10 and temperature $t = 5, 10, 30, 40$ °C on hydrochemical and hydrobiological indicators. As a result of the research, it was established: at pH = 3; 5; 10. There is a decrease in the mass concentration below 2.5 g/dm^3 , and the sludge index rises to more than $200 \text{ cm}^3/\text{g}$. Hydrobiological analysis confirms the deterioration of the state of activated sludge in terms of a critical decrease in species diversity. A rapid decrease in the mass concentration to critical values of less than 1 g/dm^3 is observed when exposed to effluents with a temperature of $t = 5, 40$ °C. At the same time, the sludge index decreases, and the sedimentation rate increases at $t = 5$ °C, in contrast to the medium with a temperature of $t = 40$ °C, where swelling of the biocenosis is observed with an increase in the sludge index and decrease in the sedimentation rate.

Keywords: activated sludge, biocenosis, temperature, pH, abiotic factors

Acknowledgments: The authors thank the reviewers for their contribution to the peer review of this work.

Conflict of interest: the authors declare no conflict of interest.

For citation: Dochkina Yu.N., Korchagin V.I., Plyakina A.A. (2021) The effect of abiotic factors on the state of active sludge biocenosis and hydrobiochemical parameters. *Lesotekhnicheskii zhurnal* [Forest Engineering journal], Vol. 11, No. 4 (44), pp. 29-42 (in Russian). DOI: <https://doi.org/10.34220/issn.2222-7962/2021.4/3>.

Received: 14.11.2021 **Revised:** 10.12.2021 **Accepted:** 20.12.2021 **Published online:** 30.12.2021

Введение

По данным государственного доклада «О состоянии и об охране окружающей среды РФ» за 2019 г., на втором месте по объему сброса сточных вод находится вид экономической деятельности, включающий в том числе водоотведение. По официальным данным Росводресурсов, в 2019 году объем загрязненных сточных вод составил $12602,33 \text{ млн м}^3$, из которых $2313,93 \text{ млн м}^3$ было

сброшено без очистки, а остаток приходился на недостаточно очищенные сточные воды [1].

Одной из ключевых проблем современной экологии является недостаточное извлечение загрязняющих веществ из сточных вод на линии биологической очистки, что приводит к сверхнормативному сбросу токсикантов в поверхностные водные объекты [2], а впоследствии негативно сказывается на качестве различных объектов окружающей среды, в частности питьевой воды [3,4].

Причины неэффективной работы биологических очистных сооружений могут быть различны: низкая или высокая концентрация питательных элементов в стоках, несоблюдение режима аэрации, износ оборудования технологических линий, перепады объемов поступающих на очистку стоков [5], высокое давление, радиация, недостаточное содержание растворенного кислорода, наличие токсиантов [6], однако, немаловажными параметрами стабильной работы системы биологического окисления являются температура и уровень кислотности (рН) очищаемых стоков [7-11], которые являются основными абиотическими факторами, влияющими на биологическую очистку сточных вод. Изменение и колебание абиотических параметров окружающей среды неизбежно приведет к изменениям и нарушениям функционирования биоценоза [12,13].

В настоящее время наблюдается тенденция по использованию различных физико-химических способов предварительной обработки сточных вод, предусматривающих добавление подкисляющих или подщелачивающих реагентов для более эффективного извлечения загрязнителей. Такие технологические приемы приводят к изменению уровня рН обработанных сточных вод перед их подачей на линию биологического окисления, тем самым создавая потенциально негативные условия жизнедеятельности для биоценоза активного ила [14].

Авторами зарубежных исследований [7-9,15] длительного влияния изменений температурного режима на биоокислительные процессы показано, что способность организмов активного ила к нитрификации снижается при понижении температуры за счет повышения концентрации аммония в сточных водах, а, следовательно, их возросшей токсичности.

Отечественными исследователями также установлено, что оптимальными условиями для формирования биопленки на носителе и повышения эффективности извлечения азотсодержащих соединений является значение рН до 9 и температуры в диапазоне 30-35 °С [16, 17].

Увеличение температуры очищаемых стоков до 40 °С приводит к снижению количества растворенных биоразлагаемых веществ и росту бактерий денитрификаторов [18].

В результате проведенного аналитического обзора выявлено, что преимущественное внимание учеными уделяется нарушениям технологических параметров биологической очистки [19], таких как эффективность извлечения загрязнителей, формирование биопленки на носителях. В то время, как немаловажным является изучение влияния изменения температуры и уровня рН очищаемых стоков на показатели жизнеспособности свободноплавающего активного ила: иловый индекс, массовая концентрация, скорость оседания; а также гидробиологический показатель - видовое разнообразие.

Материалы и методы

Объекты исследования

1. Активный ил очистных сооружений г. Воронежа. Гидрохимические показатели исходного активного ила: иловый индекс 104,0-132,0 см³/г; массовая концентрация 3,5-5,8 г/дм³; скорость оседания 0,41-0,58 см³/мин; надильная вода прозрачная; хлопок плотный, компактный, гранулообразный.

Гидробиологические показатели представлены в табл. 1 с учетом следующей шкалы встречаемости: 1 – единичные представители, 2 – малочисленны, 3 – среднечисленны, 4 – многочисленны.

Микрофотографии проб исходного активного ила представлены на рис. 1.

Таблица 1

Гидробиологические показатели активного ила

Table 1

Hydrobiological indicators of active sludge

Укрупненные индикаторные группы Enlarged indicator groups	Балл встречаемости Conditional occurrence score
<i>Euglypha</i>	3-4
<i>Kinetophragminophora</i>	3-4
<i>Spirotrihida</i>	3-4
<i>Peritricha</i>	3-4
<i>Rotifera (Rotaria, Philodina, Cephalodella)</i>	2-3
<i>Zoogloea ramigera</i>	2-3
<i>Testacealobsia</i>	2-3
<i>Gymnamoebia</i>	1-2
<i>Phytomastigophorea</i>	1-2
<i>Nematoda Monhystera</i>	1-2
<i>Algae</i>	1-2

Источник: собственные экспериментальные данные
Source: own experimental data

2. Синтетическая сточная вода, приготовленная по ГОСТ 32509-2013 «Вещества поверхностно-активные. Метод определения биоразлагаемости в водной среде». Компонентный состав синтетической сточной воды представлен в табл. 2.

3. Лимонная кислота.

4. Гидроксид натрия.

Методы исследования

1. Водородный показатель рН определяли при помощи рН метра в соответствии с ГОСТ 33776-2016 «Методы испытаний химической продукции, представляющей опасность для окружающей среды».

2. Температуру определяли с использованием ртутного водного термометра.

3. Изучение гидрохимических показателей активного ила осуществляли по комплексу методик: «Определение массовой концентрации активного ила, илового индекса, прозрачности надильной воды» ФР 1.31.2008.04397, ФР 1.31.2008.04398, ФР 1.31.2008.04400.

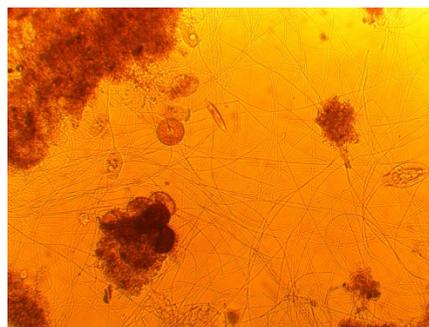
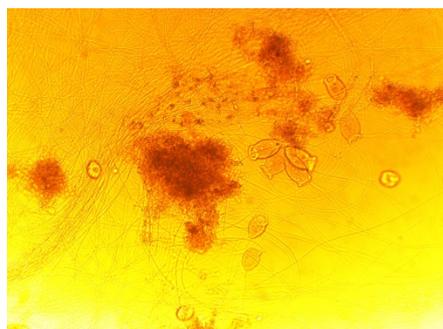


Рисунок 1. Микрофотографии исходного активного ила

Figure 1. Micrographs of the initial active sludge

Источник: собственные экспериментальные данные
Source: own experimental data

4. Гидробиологические показатели активного ила определяли посредством микрофотографирования электронным микроскопом Livenhuk G670T с использованием определителя видового разнообразия микроорганизмов.

5. Экспериментальные исследования проводились на лабораторной установке, моделирующей работу проточного аэротенка-вытеснителя, представленной на рис. 2.

Таблица 2

Состав синтетической сточной воды

Table 2

Composition of synthetic wastewater

Наименование компонента Name of the component	Концентрация, мг/дм ³ Concentration, mg/dm ³
Ацетат натрия Sodium acetate	50,0
Гидроортофосфат калия Potassium hydroorthophosphate	25,0
Карбонат натрия Sodium carbonate	50,0
Дигидроортофосфат аммония Ammonium dihydroorthophosphate	25,0
Хлорид кальция Calcium chloride	7,5
Сульфат магния Magnesium sulfate	5,0
Пептон ферментативный Peptone enzymatic	80,0

Источник: ГОСТ 32509-2013 «Вещества поверхностно-активные. Метод определения биоразлагаемости в водной среде»

Source: GOST 32509-2013 "Surfactants. Method for determining biodegradability in an aquatic environment"

Лабораторная установка включает в себя емкость для дозирования сточной воды, аэротенк – смеситель, емкость для отстаивания избыточного активного ила, компрессор.

Результаты и обсуждение

Изучение влияния концентрации водородных ионов на состояние биоценоза активного ила проводили при уровне pH = 3, 5, 8, 9, 10 путем добавления растворов гидроксида натрия и лимонной кислоты к синтетической сточной воде.

Изучение влияния температуры стоков на состояние биоценоза активного ила проводили при температурах: 5 °C, 10 °C, 30 °C, 40 °C путем охлаждения и нагревания синтетической сточной воды.

Условия, при которых осуществляли биоокисление, следующие: скорость подачи стока в аэротенк 0,5 дм³/час, расход воздуха на аэрацию одного аэротенка 2 дм³/мин, режим работы непрерывный, аэрация мелкопузырчатая, равномерная, интенсивная, время проведения исследования 5 недель, количество параллельных опытов на каждое значение pH и температуры – 3.

Полученные конечные результаты влияния концентрации водородных ионов и температуры подаваемого стока на состояние биоценоза активного ила представлены в таблице 3.

Динамика основных гидрохимических показателей при изменении pH и температуры стока представлена на рисунке 3, на рисунке 4 представлена визуализация полученных данных в виде статических диаграмм и таблиц расчетных значений.

Микрофотографии конечных проб активного ила после воздействия pH приведены на рисунке 5, а температуры приведены на рисунке 6.



Рис. 2. Экспериментальная установка

Figure 2. Experimental setup

Источник: собственная композиция авторов
Source: authors' composition

Результаты влияния pH и температуры на гидрохимические показатели активного ила

Table 3

Results of the influence of pH and temperature on the hydrochemical parameters of active sludge

Показатель Indicator	Уровень pH pH value					Температура, °C Temperature, °C			
	3	5	8	9	10	5	10	30	40
Иловый индекс, см ³ /г Silt index, cm ³ /g	351,05	312,87	141,7	131,9	201,23	41,3	117,8	144	487,1
Массовая концентрация, г/дм ³ Mass concentration, g/dm ³	1,04	1,6	4,5	4,06	2,4	0,74	2,5	1,98	0,83
Скорость оседания, см ³ /мин Settling rate, cm ³ /min	0,83	0,73	0,47	0,3	0,4	0,85	0,59	0,74	0,2
Прозрачность надилловой воды Water transparency	мутная muddy	прозрачная transparent			прозрачная transparent				мутная muddy
Хлопок Accumulation	диспергированный separated	крупный, компактный large, compact	средний, компактный medium, compact	мелкий, компактный small, compact	крупный, компактный large, compact	средний, компактный medium, compact			

Источник: собственные экспериментальные данные

Source: own experimental data

Анализ табличных данных и диаграмм показывает, что при воздействии на биоценоз активного ила сточных вод с уровнем pH = 3 наблюдается устойчивое падение массовой концентрации на всем протяжении эксперимента до значения 1,04 г/дм³, в то время как иловый индекс возрастает до критических значений 351,05 см³/г. Значения скорости оседания коррелируют со значениями илового индекса и также показывают устойчивый рост при снижении прозрачности надилловой воды, свидетельствуя о сгущении иловой жидкости.

При воздействии на активный ил сточных вод с pH = 5 прослеживается более благоприятный сценарий жизнедеятельности биоценоза: массовая концентрация снижается до нижних предельных значений 1,6 г/дм³, а иловый индекс и скорость оседания в первые две недели воздействия на-

ходятся в допустимом диапазоне, после чего на третьей неделе наблюдается резкий скачок до критических величин 312,87 см³/г и 0,73 см³/мин. соответственно.

Сточная вода, имеющая pH = 8 и pH = 9, не оказывает пагубного воздействия на гидрохимические показатели жизнедеятельности на всем протяжении эксперимента. Величины основных показателей находятся в рабочих диапазонах активного ила городских очистных сооружений (массовая концентрация 2,5-6 г/дм³, иловый индекс 90-140 см³/г, скорость оседания 0,4-0,6 см³/мин.). Стоит отметить, что при воздействии стоков с pH = 8 динамика показателей показывает стабильность, в то время как при воздействии сточных вод с pH = 9 наблюдаются скачкообразные изменения.

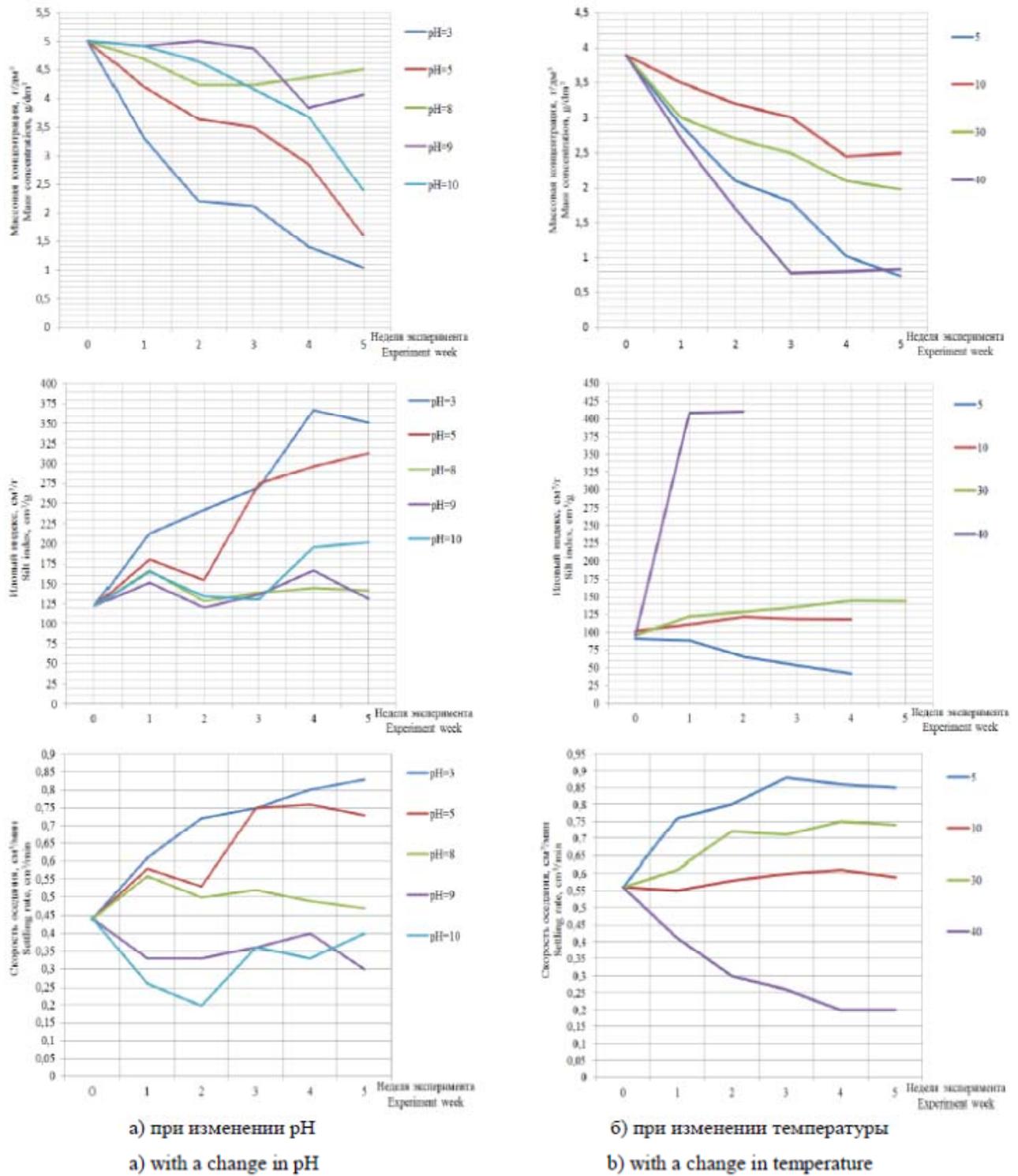
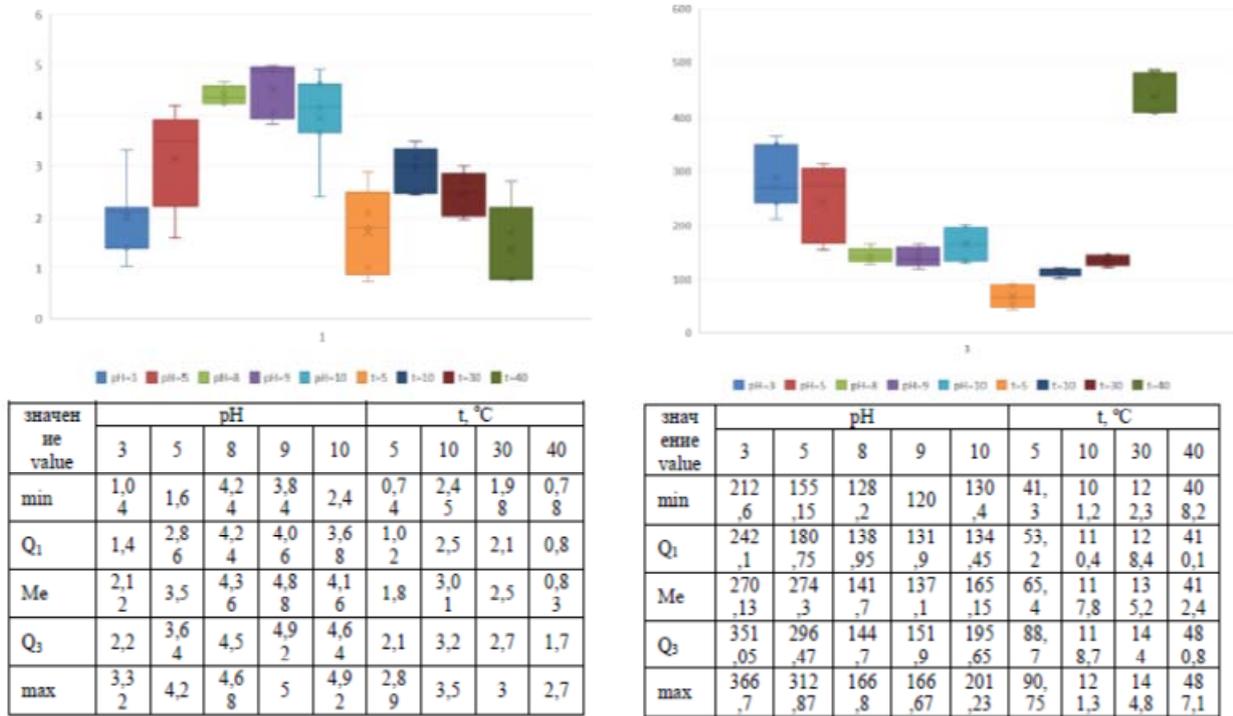


Рисунок 3. Динамика гидрохимических показателей:

Figure 3. Dynamics of hydrochemical parameters:

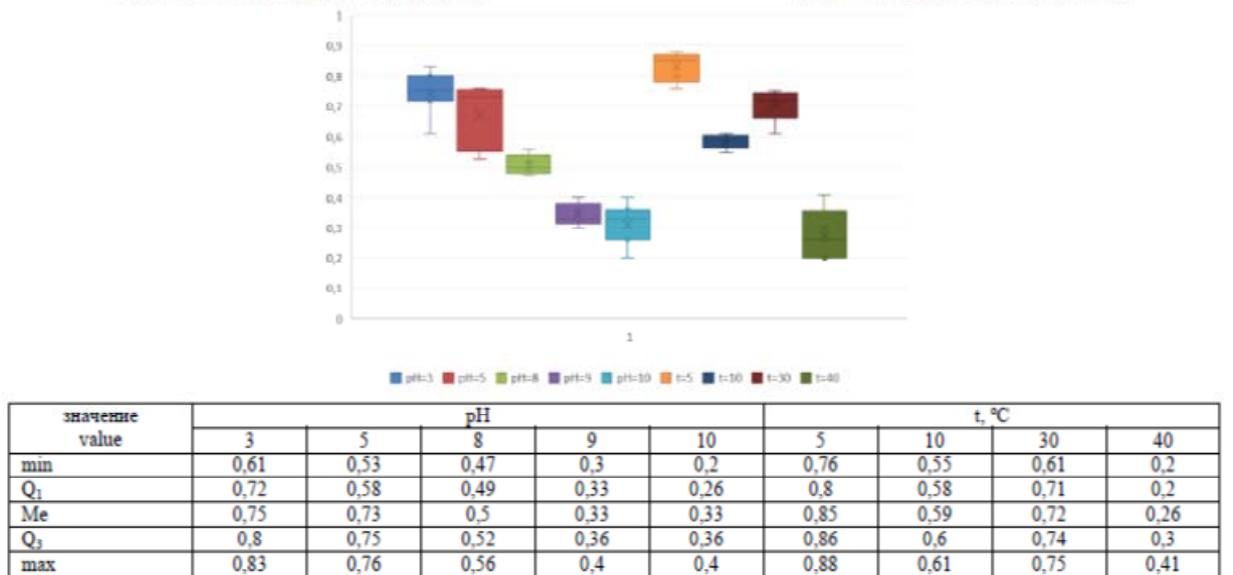
Источник: собственные экспериментальные данные

Source: own experimental data



а) совокупность данных по массовой концентрации
a) a set of data on mass concentration

б) совокупность данных по иловому индексу
b) the set of data on the silt index



в) совокупность данных по скорости оседания
c) a set of data on the Settling rate

Рисунок 4. Статистические диаграммы

Figure 4. Statistical charts

Источник: собственные экспериментальные данные

Source: own experimental data

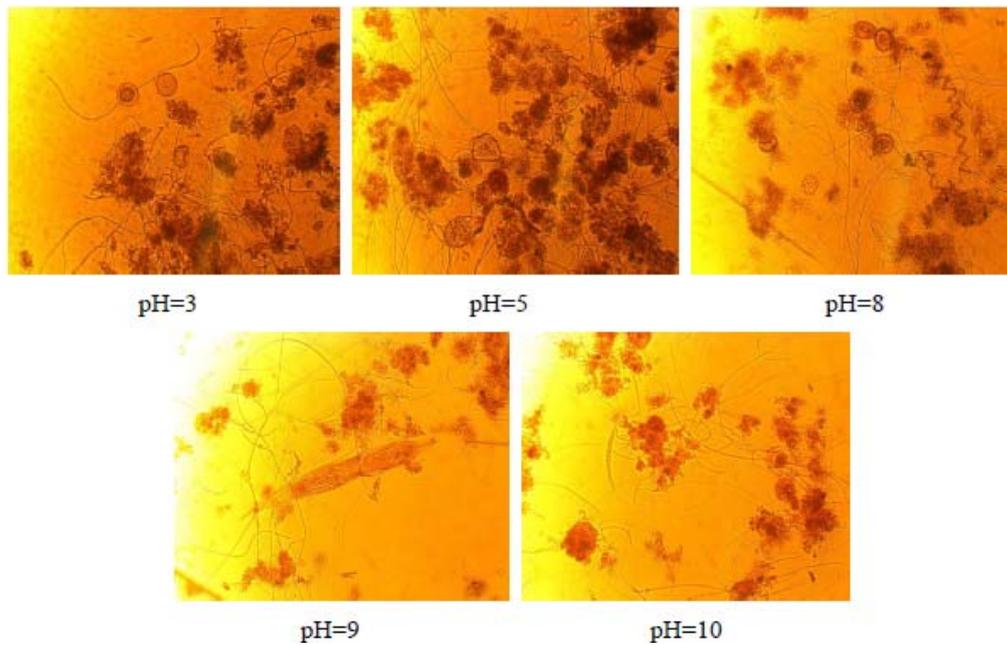


Рисунок 5. Микрофотографии проб активного ила при изменении pH

Figure 5. Micrographs of active sludge samples with a change in pH

Источник: собственные экспериментальные данные

Source: own experimental data

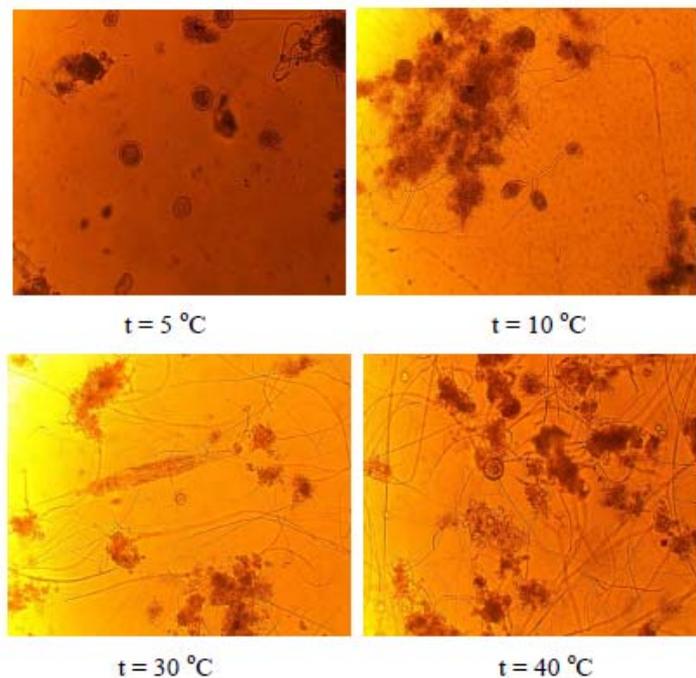


Рисунок 6. Микрофотографии проб активного ила при изменении температуры

Figure 6. Micrographs of active sludge samples with a change in temperature

Источник: собственные экспериментальные данные

Source: own experimental data

При влиянии на активный ил стоков, имеющих $pH = 10$, наблюдается резкое снижение скорости оседания до $0,4 \text{ см}^3/\text{мин}$, что говорит о начале процесса утяжеления хлопка активного ила и повышении его седиментационных свойств. При этом значения массовой концентрации и илового индекса не попадают в области критических значений, находясь на границе предельно допустимых величин. Анализ экспериментальных данных, отражающих влияние стоков с различной температурой на биоценоз активного ила показывает, что при температурах стоков $5 \text{ }^\circ\text{C}$ и $40 \text{ }^\circ\text{C}$ наблюдается быстрое снижение массовой концентрации до критических значений менее $1 \text{ г}/\text{дм}^3$, а также стабильное снижение илового индекса до значений менее $42 \text{ см}^3/\text{г}$ и возрастание скорости оседания до $0,85 \text{ см}^3/\text{мин}$. при температуре стоков $5 \text{ }^\circ\text{C}$. Это свидетельствует об утяжелении хлопка активного ила и его минерализации при снижении биологической активности в среде низких температур. При температуре стока $40 \text{ }^\circ\text{C}$ напротив наблюдается резкий скачок илового индекса до критической величины $487,1 \text{ см}^3/\text{г}$ и снижение скорости оседания до $0,2 \text{ см}^3/\text{мин}$., что говорит о процессе вспухания активного ила, связанного со снижением концентрации растворенного кислорода при повышении температуры водной среды.

При взаимодействии сточных вод с температурой $10 \text{ }^\circ\text{C}$ и $30 \text{ }^\circ\text{C}$ и биоценоза активного ила значимых отличий в гидрохимических показателях выявлено не было. Однако, стоит отметить, что при температуре $30 \text{ }^\circ\text{C}$ прослеживается тенденция к более интенсивному снижению массовой концентрации и повышению илового индекса. Значения скоростей оседания значимо не отличаются. Все величины основных показателей находятся в допустимом диапазоне.

Результаты микроскопирования образцов активного ила после воздействия стоков с различным уровнем pH коррелируют со значениями гидрохимических показателей.

После воздействия кислых стоков с $pH = 3$ происходит снижение видового разнообразия. Представители исходных индикаторных укрупненных групп сначала сменяются малочисленными живыми представителями прикрепленных инфузо-

рий *Peritricha*, коловраток *Habrotrochidae*, коловраток *Rotifera*, а по завершении исследования в образцах обнаруживаются цисты микроорганизмов, нарастание нитчатых бактерий, неподвижные единичные представители коловраток *Rotifera*, и блуждающих инфузорий *Peritricha*.

Образцы активного ила после взаимодействия со сточными водами, имеющими $pH = 5$, характеризуются сменой биоценоза от первичных живых и подвижных среднечисленных коловраток *Rotifera*, прикрепленных инфузорий *Peritricha*, кругоресничных инфузорий *Oligohymenophora*, филозей *Euglypha*, голых амёб *Gymnamoebia*, *Zoogloea ramigera*, сосущих инфузорий *Suctorina*, инфузорий *Litonotus* до часто встречающихся филозей *Gromia*, нитчатых бактерий, филозей *Euglypha*, коловраток *Rotaria*, коловраток *Cephalodella*, растительных жгутиконосцев *Phytomastigophorea*, голых амёб, инфузорий *Spirotrihida*, *Kinetophragminophora* и *Trochilia*.

Гидробиологический анализ проб биоценоза после влияния сточных вод с $pH = 8$ и $pH = 9$ показал, что видовое разнообразие стабильно представлено достаточным количеством укрупненных индикаторных групп таких, как *Zoogloea ramigera*, прикрепленные инфузории *Peritricha*, различные коловратки *Rotaria*, *Philodina* и *Cephalodella*, голые амёбы *Gymnamoebia*, филозеи *Gromia* и *Euglypha*, различные инфузории *Spirotrihida* и *Kinetophragminophora*, растительные жгутиконосцы *Phytomastigophorea*.

Микроскопирование образца активного ила после воздействия сточных вод с уровнем $pH = 10$ показывает, что в пробах присутствует среднечисленное количество нематод, инфузорий *Litonotus*, прикрепленных инфузорий *Peritricha*, *Zoogloea ramigera*, коловраток *Cephalodella*, множество кругоресничных инфузорий *Polyhymenophora* и *Oligohymenophora*.

По результатам микроскопирования видовое разнообразие образцов активного ила после взаимодействия со стоками, имеющими температуру $5 \text{ }^\circ\text{C}$, представлено преимущественно цистами и единичными *Zoogloea ramigera*. Изредка встречаются нитчатые бактерии и водоросли *Algae* и грибы *Fungi*. Образцы биоценоза, смешанного со сточны-

ми водами, имеющими температуру 10 °С и 30 °С существенно не отличаются по результатам микроскопирования. В большей или меньшей степени в образцах присутствуют представители основных индикаторных укрупненных групп микроорганизмов активного ила такие как, прикрепленные инфузории *Peritricha*, коловратки *Rotifera*, *Rotaria*, *Cephalodella*, растительных жгутиконосцы *Phytomastigophorea*, *Zoogloea ramigera*, кругоресничные инфузории *Kinetophragminophora* и *Spirotrihida*, раковинные амёбы *Testacealobbia*, круглые черви *Nematoda Monhystera*.

В результате изучения под микроскопом образцов биоценоза, подвергшихся воздействию сточных вод с температурой 40 °С, установлено, что активный ил не имеет активных подвижных представителей микроорганизмов, а представлен преимущественно нитчатými бактериями, цистами, *Zoogloea ramigera*, единичными неподвижными представителями коловраток *Cephalodella* и блуждающих инфузурий *Peritricha*.

Выводы

Абиотические факторы оказывают значимое влияние на состояние биоценоза активного ила, в частности на его гидрохимические (массовая концентрация, иловый индекс, скорость оседания) и гидробиологические (видовое разнообразие) характеристики.

При близких к нейтральной или слабощелочной среде значениях pH = 5-9, а также при температуре стоков в диапазоне 10-30 °С величины

основных гидрохимических показателей состояния активного ила находятся в допустимых диапазонах.

При понижении уровня pH происходит разрушение хлопка, как следствие – седиментационные свойства активного ила ухудшаются, активный ил плохо осаждаётся во вторичных отстойниках и в больших количествах выносится из системы. Это неизбежно приводит к снижению массовой концентрации активного ила в аэротенках и ухудшению качества очистки сточных вод. При высоких уровнях pH наблюдается стабильный рост илового индекса, что свидетельствует о вспухании биоценоза.

Данные гидробиологического исследования показывают, что в щелочной среде наблюдается преимущественно развитие *Nematoda Monhystera*, *Litonotus*, *Peritricha*, *Zoogloea ramigera*, *Cephalodella*, *Polyhymenophora*, *Oligohymenophora*, в кислой среде наблюдается повышенное количество цист микроорганизмов, нитчатые бактерии, *Rotifera*, блуждающие *Peritricha*.

При температуре 40 °С растворимость кислорода снижается и гидрохимические показатели активного ила заметно ухудшаются, наблюдается нитчатое вспухание, образование большого количества цист, встречаются единичные *Cephalodella* и *Peritricha*. При воздействии на биоценоз стоков с температурой 5 °С наблюдается критическое снижение массовой концентрации, а видовое разнообразие представлено многочисленными цистами, единичными *Cephalodella* и блуждающими *Peritricha*.

Список литературы

1. О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2019 году : государственный доклад. Москва : Минприроды России; МГУ имени М.В. Ломоносова, 2020. 1000 с.
2. Korchagin V. I., Dochkina Yu. N., Popova L. V., Denisova-Barabash E. A. Extraction nutrient substrate from highly concentrated poultry processing plants effluents. Earth and environmental science. 2020. EESE6402062. DOI: 10.1088/1755-1315/640/2/022062.
3. Ашурбекова Т. Н., Исаева Н. Г., Мурзаева А. Н. Сравнительный анализ качества артезианских вод. Теоретическая и прикладная экология. 2018;3: 40–47. DOI: 10.25750/1995-4301-2018-3-040-047.
4. Бабушкина, Ю. А., Назаренко Н. Н. Миграция поллютантов и загрязнение подземных вод при добыче железных руд. Теоретическая и прикладная экология. 2018; 3: 55–61. DOI: 10.25750/1995-4301-2018-3-055-061.
5. Дочкина Ю. Н., Студеникина Л. Н., Корчагин В. И. Влияние природы питательного субстрата на гидробиологические и гидрохимические показатели активного ила. Материалы LVII отчетной научной конференции преподавателей и научных сотрудников ВГУИТ за 2018 год. Воронеж, 2019. С. 106.

6. Довгаль И. В., Сергеева Н. Г. Сидячие инфузории (Ciliophora) из экстремальных местообитаний. Журнал Сибирского федерального университета. Серия «Биология». 2016; 4: 385–397. DOI: 10.17516/1997-1389-2016-9-4-385-397.
7. Weirich C. E., Feiden A., Souza C. S. (et al.) Temperature influences swine wastewater treatment by aquatic plants. *Scientia Agricola*. 2021; 78: 1–7. DOI: 10.1590 / 1678-992X-2019-0325.
8. Liu K., Hang Q., Yuan Q. (et al.) Influence of temperature on MBBR denitrification for advanced nitrogen removal of wastewater treatment plant effluent. *Research of Environmental Sciences*. 2016;29 (06): 877-886. DOI: 10.13198/j.issn.1001-6929.2016.06.12.
9. Zhou X., Bolun L., Jun W. (et al.) Temperature influenced the comammox community composition in drinking water and wastewater treatment plants. *Microbial ecology*. 2021; 82: 870-884. DOI: 10.1007/s00248-021-01724-9.
10. Daud M, Hina R., Muhammad A. (et al.) Review of upflow anaerobic sludge blanket reactor technology: effect of different parameters and developments for domestic wastewater treatment. *Journal of Chemistry*. 2018; 3: 1-13. DOI: 10.1155/2018/1596319.
11. Cho, S. Cicilia K., Nguyen V. Performance of anammox processes for wastewater treatment: a critical review on effects of operational conditions and environmental stresses. *Water*. 2020; 12(1): 20. DOI: 10.3390/w12010020.
12. Кравчук Е. С., Дубовская О. П., Шулелина С. П. (и др.) Влияние антропогенных факторов на экосистему протоки р. Енисей в черте города Красноярска. Журнал Сибирского федерального университета. Серия «Биология». 2021; 14: 208–237. DOI: 10.17516/1997–1389–0331.
13. Минченков Е. Е., Пахомова Н. А. Оценка состояния городских водных экосистем гидробиологическим показателям. *Теоретическая и прикладная экология*. 2016; 3: 48–55.
14. Дочкина Ю. Н., Корчагин В. И. Особенности биологической очистки высококонцентрированных стоков, прошедших электрофлотационную обработку. Материалы LIX отчетной научной конференции преподавателей и научных сотрудников ВГУИТ за 2020 год. Воронеж, 2021. С. 113.
15. Balku Ş. Influence of temperature on activated sludge systems. *Celal Bayar University Journal of Science*. 2018; 14: 77–80. DOI: 10.18466/cbayarfb.357348.
16. Кулишов С. А., Лыков И. Н., Голофеева А. С. Исследование технологических параметров очистки сточных вод прикрепленным биоценозом. *Общественно-научный журнал «Проблемы региональной экологии»*. 2016; 4: 16–20.
17. Ха Куан Чан, Гогина Е. С. Влияние технологических параметров работы реактора периодического действия на эффективность процесса глубокой очистки сточных вод от соединений азота. *Строительство: Наука и образование*. 2020; 2: 1–18. DOI: 10.22227/2305-5502.2020.2.5.
18. Брикова О. И., Душин С. Е. Исследование влияния температуры среды на биологические процессы в моделях типа ASM1. *Известия СПбГЭТУ «ЛЭТИ»*. 2019; 5: 25–31.
19. Шевцов В. С. Влияние температуры воды на технологические параметры работы осветлителя со взвешенным слоем активного ила. *Строительство в прибрежных курортных регионах : Материалы X международной научно-практической конференции, 21-25 мая 2018 г. Сочи, 2018. С. 280–284.*

References

1. On the state and environmental protection of the Russian Federation in 2019 : State report. - Moscow : Ministry of Natural Resources of Russia; Lomonosov Moscow State University, 2020. - 1000 p. (In Russian).
2. Korchagin V. I., Dochkina Yu. N., Popova L. V., Denisova-Barabash E. A. Extraction nutrient substrate from highly concentrated poultry processing plants effluents. *Earth and environmental science*. 2020. EESE6402062. DOI: 10.1088/1755-1315/640/2/022062.

3. Ashurbekova T. N., Isaeva N. G., Murzaeva A. N. *Sravnitel'nyj analiz kachestva artezijskikh vod* [Comparative analysis of the quality of artesian waters]. *Teoreticheskaya i prikladnaya ekologiya* [Theoretical and applied ecology], 2018, no. 3, pp. 40-47. DOI: 10.25750/1995-4301-2018-3-040-047.
4. Babushkina Yu. A., Nazarenko N. N. *Migratsiya pollyutantov i zagryaznenie podzemnykh vod pri dobyche zheleznykh rud* [Migration of pollutants and groundwater pollution during iron ore mining]. *Teoreticheskaya i prikladnaya ekologiya* [Theoretical and applied ecology], 2018, no. 3, pp. 50-61. DOI: 10.25750/1995-4301-2018-3-055-061.
5. Dochkina Yu. N., Studenikina L. N., Korchagin V. I. *Vliyanie prirody pitatel'nogo substrata na gidrobiologicheskie i gidrokhimicheskie pokazateli aktivnogo ilya* [The influence of the nature of the nutrient substrate on the hydrobiological and hydrochemical parameters of activated sludge]. *Materialy LVII otchetnoj nauchnoj konferencii prepodavatelej i nauchnykh sotrudnikov VGUIT za 2018 god* [Materials of the LVII reporting scientific conference of VSUIT teachers and researchers for 2018], 2019, pp. 106.
6. Dovgal' I. V., Sergeeva N. G. *Cidyachie infuzorii (Ciliophora) iz ekstremal'nykh mestoobitanij* [Sessile infusoria (Ciliophora) from extreme habitats]. *Zhurnal Sibirskogo federal'nogo universiteta. Seriya «Biologiya»* [Journal of the Siberian Federal University. Series "Biology"], 2016, no. 4, pp. 385-397. DOI: 10.17516/1997-1389-2016-9-4-385-397.
7. Weirich C. E., Feiden A., Souza C. S. [et al.] (2021) Temperature influences swine wastewater treatment by aquatic plants. *Scientia Agricola*, no. 78, pp. 1-7. DOI: 10.1590 / 1678-992X-2019-0325.
8. Liu K., Hang Q., Yuan Q. [et al.] (2016) Influence of temperature on MBBR denitrification for advanced nitrogen removal of wastewater treatment plant effluent. *Research of Environmental Sciences*, no. 29 (06), pp. 877-886. DOI: 10.13198/j.issn.1001-6929.2016.06.12.
9. Zhou X., Bolun L., Jun W. (2021) Temperature influenced the comammox community composition in drinking water and wastewater treatment plants. *Microbial ecology*, no. 82, pp. 870-884. DOI: 10.1007/s00248-021-01724-9.
10. Daud M., Hina R., Muhammad A. [et al.] (2018) Review of upflow anaerobic sludge blanket reactor technology: effect of different parameters and developments for domestic wastewater treatment. *Journal of Chemistry*, no. 3, pp. 1-13. DOI: 10.1155/2018/1596319.
11. Cho S., Cicilia K., Nguyen V. (2020) Performance of anammox processes for wastewater treatment: a critical review on effects of operational conditions and environmental stress. *Water*, no. 12(1), pp. 20. DOI: 10.3390/w12010020.
12. Kravchuk E. S., Dubovskaya O. P., Shulepina S. P. i dr. *Vliyanie antropogennykh faktorov na ekosistemu protoki r. Enisej v cherte goroda Krasnoyarska* [The influence of anthropogenic factors on the ecosystem of the river channels. Yenisei in the city of Krasnoyarsk]. *Zhurnal Sibirskogo federal'nogo universiteta. Seriya «Biologiya»* [Journal of the Siberian Federal University. Series "Biology"], 2021, no. 14, pp. 208-237. DOI: 10.17516/1997-1389-0331.
13. Minchenok E. E., Pahomova N. A. *Ocenka sostoyaniya gorodskikh vodnykh ekosistem gidrobiologicheskimi pokazatelyami* [Assessment of the state of urban aquatic ecosystems by hydrobiological indicators]. *Teoreticheskaya i prikladnaya ekologiya* [Theoretical and applied ecology], 2016, no. 3, pp. 48-55.
14. Dochkina Yu. N., Korchagin V. I. *Osobennosti biologicheskoy ochistki vysokokontsentririrovannykh stokov, proshedshih elektroflotatsionnuyu obrabotku* [Features of biological purification of highly concentrated effluents that have undergone electroflotation treatment]. *Materialy LIX otchetnoj nauchnoj konferencii prepodavatelej i nauchnykh sotrudnikov VGUIT za 2020 god* [Materials of the LIX reporting scientific conference of VSUIT teachers and researchers for 2020], 2021, pp. 113.
15. Balku Ş. (2018) Influence of temperature on activated sludge systems. *Celal Bayar University Journal of Science*, no. 14, pp. 77-80. DOI: 10.18466/cbayarfbe.357348.

16. Kulishov S. A., Lykov I. N., Golofteeva A. S. *Issledovanie tekhnologicheskikh parametrov ochistki stochnykh vod prikreplennym biocenozom* [Investigation of technological parameters of wastewater treatment with attached biocenosis]. *Obshchestvenno-nauchnyj zhurnal «Problemy regional'noj ekologii»* [Socio-scientific journal "Problems of regional ecology"], 2016, no. 4, pp. 16-20.

17. Ha Kuan Chan, Gogina E. S. *Vliyanie tekhnologicheskikh parametrov raboty reaktora periodicheskogo dejstviya na effektivnost' processa glubokoj ochistki stochnykh vod ot soedinenij azota* [The influence of technological parameters of the periodic reactor operation on the efficiency of the process of deep wastewater treatment from nitrogen compounds]. *Stroitel'stvo: Nauka i obrazovanie* [Construction: Science and Education], 2020, no. 2, pp. 1-18. DOI: 10.22227/2305-5502.2020.2.5.

18. Brikova O. I., Dushin S. E. *Issledovanie vliyaniya temperatury sredy na biologicheskie processy v modelyakh tipa ASMI* [Investigation of the influence of ambient temperature on biological processes in ASMI-type models]. *Izvestiya SPbGETU «LETI»* [Izvestiya SPbGETU "LETI"], 2019, no. 5, pp. 25-31.

19. Shevcov V. S. *Vliyanie temperatury vody na tekhnologicheskie parametry raboty osvetlitelya so vzheshennym sloem aktivnogo ila* [The influence of water temperature on the technological parameters of the clarifier with a suspended layer of activated sludge]. *Stroitel'stvo v pribrezhnykh kurortnykh regionah : Materialy X mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii, 21 – 25 maya 2018 g* [Construction in coastal resort regions : Materials of the X International Scientific and Practical Conference, May 21-25, 2018], 2018, pp. 280-284.

Сведения об авторах

✉ *Дочкина Юлия Николаевна* – ведущий инженер лаборатории промышленной экологии и промышленной безопасности, старший преподаватель кафедры промышленной экологии, оборудования химических и нефтехимических производств ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет инженерных технологий», пр. Революции, 19, г. Воронеж, Российская Федерация, 394036, ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-9113-1564>, e-mail: dochkina.j.n@yandex.ru.

Корчагин Владимир Иванович – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой промышленной экологии, оборудования химических и нефтехимических производств ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет инженерных технологий», пр. Революции, 19, г. Воронеж, Российская Федерация, 394036, ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-7212-1627>, e-mail: kvi-vgta@rambler.ru.

Плякина Алина Анатольевна – студентка кафедры промышленной экологии, оборудования химических и нефтехимических производств ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет инженерных технологий», пр. Революции, 19, г. Воронеж, Российская Федерация, 394036, ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-7848-2685>, e-mail: alina.plyakina7@gmail.com.

Information about the authors

✉ *Yulia N. Dochkina* – leading engineer of the laboratory of industrial ecology and industrial safety, senior lecturer of the department of industrial ecology, equipment of chemical and petrochemical industries, Voronezh state university of engineering technologies, Revolution Ave., 19, Voronezh, Russian Federation, 394036, ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-9113-1564>, e-mail: dochkina.j.n@yandex.ru.

Vladimir I. Korchagin – Doctor of technical sciences, Professor, head of the department of industrial ecology, equipment of chemical and petrochemical industries, Voronezh state university of engineering technologies, Revolution Ave., 19, Voronezh, Russian Federation, 394036, ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-7212-1627>, e-mail: kvi-vgta@rambler.ru.

Alina A. Plyakina – student of the department of industrial ecology, equipment of chemical and petrochemical industries, Voronezh state university of engineering technologies, Revolution Ave., 19, Voronezh, Russian Federation, 394036, ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-7848-2685>, e-mail: alina.plyakina7@gmail.com.

✉ – Для контактов/Corresponding author