

Влияние низкогидролизованного поливинилового спирта на неадаптированный биоценоз активного ила

| | | | |
|------------------------|--------------|--|---|
| Любовь Н. Студеникина | ¹ | lubov-churkina@ya.ru |  0000-0001-6613-4974 |
| Владимир И. Корчагин | ¹ | kvi-vgta@rambler.ru |  0000-0001-7212-1627 |
| Анжелика А. Савина | ¹ | angelikasavina05@gmail.com |  |
| Татьяна Р. Поваляева | ¹ | tanuapovaluaeva_2003@mail.ru |  |
| Александр А. Мельников | ¹ | melnikov.shura@inbox.ru |  |

¹ Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия

Аннотация. Область применения водорастворимых пленок в пищевой промышленности включает защитные оболочки пищевых продуктов, в т.ч. индикаторную упаковку, водорастворимые этикетки, эко-пакеты и проч. Основное сырье для производства водорастворимых пленок – это поливиниловый спирт (ПВС), который используется в пищевой промышленности как добавка Е1203 – эмульгатор, влагоудерживатель, глазирующий агент. В настоящее время недостаточно изучен вопрос влияния ПВС на биоценоз активного ила (АИ) очистных сооружений, в которых водорастворимая упаковка обычно заканчивает свой жизненный цикл. Цель работы – оценка влияния низкогидролизованного поливинилового спирта на показатели неадаптированного активного ила очистных сооружений. Объектом исследования был выбран ПВС марки 17-88 в виде 5%-го раствора, который вносили в определенном количестве (0,1 и 0,05 мас.%) в водно-иловую смесь (ВИС) в условиях лабораторных аэротенков. АИ брали с колодца вторичного отстойника городских очистных сооружений. Для оценки влияния ПВС на биоценоз АИ определяли в динамике гидрохимические (ГХ) и гидробиологические (ГБ) показатели ила, а также показатель химического потребления кислорода (ХПК) ВИС. Установлено, что введение ПВС в водно-иловую смесь в концентрациях 0,1 – 0,05 мас.% положительно влияет на ГХ и ГБ показатели неадаптированного активного ила, по сравнению с голодающей ВИС, в которую не вносили ПВС, оказывая флокулирующий эффект и способствуя улучшению седиментационных свойств АИ, а также сохранению видового разнообразия за счет содержания питательных веществ. Установлено, что пороговая концентрация содержания ПВС в водно-иловой смеси составляет 0,15 мас.% (что соответствует значениям ХПК около 2500 мгО₂/л), более концентрированные растворы за счет высокого пенообразования и высокого значения ХПК способствуют выносу биомассы и ухудшению ГХ и ГБ показателей АИ. Установлено, что в первые сутки взаимодействия ПВС и АИ происходит изъятие из ВИС около 20-30 % массы полимера (предположительно, за счет сорбции на внеклеточном матриксе АИ), что подтверждается снижением значения ХПК, и далее наблюдается стабилизация значения ХПК исследуемых систем до 7 суток проведения эксперимента.

Ключевые слова: поливиниловый спирт, биоценоз активного ила, водорастворимая упаковка, водорастворимые пленки.

The effect of low hydrolyzed polyvinyl alcohol on the unadapted biocenosis of activated sludge

| | | | |
|-----------------------|--------------|--|---|
| Lyubov N. Studenikina | ¹ | lubov-churkina@ya.ru |  0000-0001-6613-4974 |
| Viadimir I. Korchagin | ¹ | kvi-vgta@rambler.ru |  0000-0001-7212-1627 |
| Angelika A. Savina | ¹ | angelikasavina05@gmail.com |  |
| Tatiana R. Povaljatva | ¹ | tanuapovaluaeva_2003@mail.ru |  |
| Alexandr A. Melnikov | ¹ | melnikov.shura@inbox.ru |  |

¹ Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia

Abstract. The field of application of water-soluble films in the food industry includes protective shells of food products, including indicator packaging, water-soluble labels, eco-bags for storing dry and frozen products, etc. The main raw material for the production of water-soluble films is polyvinyl alcohol (PVA), which is used in the food industry as an additive E1203 – emulsifier, moisture retention, glazing agent. Currently, the issue of the effect of PVA on the biocenosis of activated sludge (AS) of wastewater treatment plants, in which water-soluble packaging usually ends its life cycle, has not been sufficiently studied. The purpose of the work is to assess the effect of low-hydrolyzed polyvinyl alcohol on the indicators of unadapted activated sludge of wastewater treatment plants. The object of the study was selected PVA grade 17-88 in the form of a 5% solution, which was introduced in a certain amount into an aqueous-silt mixture (ASM) under laboratory conditions of aerotanks (0.1 and 0.05 wt.%). AS was taken from the well of the secondary settling tank of urban wastewater treatment plants. To assess the effect of PVA on the biocenosis of AS, hydrochemical (GC) and hydrobiological (GB) indicators of sludge, as well as the indicator of chemical oxygen consumption of ASM, were determined in dynamics. It was found that the introduction of PVA into an aqueous-silt mixture at concentrations of 0.1 – 0.05 wt.% has a positive effect on GC and GB indicators of unadapted activated sludge, compared with starving ASM, which was not injected with PVA, having a flocculating effect and contributing to the improvement of sedimentation properties of AS, as well as the preservation of species diversity due to the content of nutrients. It was found that the threshold concentration of PVA content in the aqueous-silt mixture is 0.15 wt.% (which corresponds to chemical oxygen consumption values of about 2500 mgO₂/l), more concentrated solutions due to high foaming and high chemical oxygen consumption values contribute to the removal of biomass and deterioration of GC and GB AS indicators. It was found that on the first day of interaction of PVA and AS, about 20-30% of the polymer mass is withdrawn from the ASM (presumably due to sorption on the extracellular matrix of AS), which is confirmed by a decrease in the value of chemical oxygen consumption, and further stabilization of the chemical oxygen consumption value of the studied systems is observed up to 7 days of the experiment.

Keywords: polyvinyl alcohol, biocenosis of activated sludge, water-soluble packaging, water-soluble films.

Для цитирования

Студеникина Л.Н., Корчагин В.И., Савина А.А., Поваляева Т.Р., Мельников А.А. Влияние низкогидролизованного поливинилового спирта на неадаптированный биоценоз активного ила // Вестник ВГУИТ. 2024. Т. 86. № 4. С. 178–184. doi:10.20914/2310-1202-2024-4-178-184

For citation

Studenikina L.N., Korchagin V.I., Savina A.A., Povalyaeva T.R., Melnikov A.A. The effect of low hydrolyzed polyvinyl alcohol on the unadapted biocenosis of activated sludge. Vestnik VGUIT [Proceedings of VSUET]. 2024. vol. 86. no. 4. pp. 178–184. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2024-4-178-184

Введение

Водорастворимая упаковка становится все более популярной, не только при получении капсулированных моющих средств, но и в других отраслях, включая пищевую промышленность, здравоохранение, сельское хозяйство и т. д. [1] Область применения водорастворимых пленок в пищевой промышленности включает защитные оболочки пищевых продуктов, в т. ч. индикаторную упаковку, водорастворимые этикетки, эко-пакеты для хранения сухой и замороженной продукции и проч.

По прогнозам экспертов ожидается, что рынок водорастворимых пленок будет расти в среднем на 6% в год в период до 2030 года. Мировым лидером по производству ПВС и водорастворимой пленки является Азиатско-Тихоокеанский регион.

Водорастворимая пленка, используемая в настоящее время, изготавливается из полимера, который называется поливиниловый спирт. В пищевой промышленности это вещество используется как добавка Е1203 – эмульгатор, влагоудерживатель, глазирующий агент.

Несмотря на то, что водорастворимая упаковка обладает преимуществами для потребителя (удобство применения, отсутствие отходов упаковки, гигиеничность), в то же время ей присущи некоторые недостатки: дороговизна, определенные условия хранения, недоказанная экологичность и др.

ПВС выпускаются промышленностью различных марок, отличающихся молекулярной массой и остаточным содержанием винилацетатных (ВА) групп, и как следствие – степенью гидролиза и эффективностью биодеструкции. Известно, что ПВС, содержащий до 5% ВА-групп, набухает в холодной и растворяется в нагретой до 90–100 °С воде, ПВС с 5–10% ВА-групп растворяется в воде при 65–85 °С (как следствие – ПВС с содержанием ВА-групп менее 10% не способен к гидролизу в естественных природных условиях). ПВС с 10–15% ВА-групп растворяется при нагревании и частично – при комнатной температуре, с 15–25% ВА-групп – при 20 °С (и соответственно может подвергаться гидролитической деструкции в условиях окружающей среды) [2].

ПВС признан одним из очень немногих виниловых полимеров, подверженных окончательной биодegradации в присутствии соответствующим образом акклиматизированных микроорганизмов [3]. Однако биодеструкция данного полимера носит сложный характер и лимитируется некоторыми факторами. Авторы [4] делают вывод, что конечная биодegradация ПВС в значительной степени зависит от микробиоценоза окружающей среды, в которую он попадает. В работе [5] также отмечено, что в незагрязненных поливиниловым спиртом природных средах адаптированные бактерии могут отсутствовать, и делают вывод, что ПВС по существу не поддается естественному

биологическому разложению. Имеются данные, что во многих случаях растворенный в городских канализационных стоках ПВС проходит через очистные сооружения без изменений, однако если имеет место его постоянное поступление в аэротенки, то наблюдается адаптация микробиоценоза активного ила к данному веществу, например в присутствии хорошо адаптированной микрофлоры очистных сооружений бумажной фабрики, деградация ПВС протекала со скоростями, сопоставимыми с биодеструкцией целлюлозы [5].

Как и большинство полимеров (например, полиолефины, полистиролы и полиакрилаты), ПВС имеет углерод-углеродную односвязную основу. Однако он также обладает 1,3-диольной структурой, которая распространена в природных углеводах. Неудивительно, что биодegradация ПВС начинается путем ферментативной атаки на эти 1,3-диольные повторяющиеся единицы с помощью экзоферментов, с образованием смеси ацетокси-гидрокси и гидрокси жирных кислот. При внутриклеточном ферментативном деацетилировании они могут быть дополнительно метаболизированы с помощью классического пути β-окисления и цикла Кребса. Этот механизм является общим для всех ПВС-деградирующих микроорганизмов [6]. Среди деградирующих штаммов многие виды можно найти в родах *Pseudomonas* и *Sphingomonas* [7].

Таким образом, путь ферментативной биодegradации ПВС можно представить в виде цепочки: ПВС → кетоны, жирные кислоты, спирты → уксусная кислота, водород, углекислый газ, метан (либо минерализация).

В водных аэробных средах биодegradация ПВС происходит параллельно с его растворимостью в воде [8]. Авторы [9] продемонстрировали биоразлагаемость ПВС в анаэробных условиях, используя речные отложения и анаэробно обработанный активный ил, а полученный в исследовании [10] микробный консорциум был способен к деградации ПВС как в денитрифицирующих, так и в аэробных условиях.

В некоторых литературных источниках прослеживаются противоречия по вопросу эффективности биодegradации поливинилового спирта. Однако, авторы [3] утверждают, что положительные результаты скрининговых тестов на биодegradацию ПВС сами по себе не противоречат данным о его плохой биодegradуемости. Это связано с тем, что существует очень широкий спектр применений данного полимера с определенными требованиями к физико-химическим свойствам, которые достигаются с помощью различных стратегий проектирования полимеров.

Также в настоящее время недостаточно изучен вопрос влияния ПВС на биоценоз активного ила очистных сооружений, в которых водорастворимая упаковка обычно заканчивает свой жизненный цикл.

Известно, что ПВС является неионным нейтральным флокулянт, и может применяться при очистке сточных вод от взвешенных веществ [11]. Принцип действия неионных флокулянтов, относящихся к нейтральному классу, состоит в образовании водородных связей между молекулами полимера и поверхностью взвешенных частиц загрязнений [12].

Введение флокулянтов в активный ил оправдано для улучшения его седиментационных свойств, снижения выноса биомассы, улучшения осаждения во вторичных отстойниках [13].

Цель работы – оценка влияния низкогидролизованного поливинилового спирта на показатели неадаптированного активного ила очистных сооружений.

Материалы и методы

Объектом исследования был выбран ПВС марки 17–88. Готовили 5% раствор ПВС по стандартной методике [2], далее вносили определенное количество ПВС в водно-иловую смесь (ВИС) в условиях лабораторных аэротенков (0,1 и 0,05 мас.%, т. к. предварительные испытания показали, что введение ПВС в ВИС в количестве более 0,15 мас.% сопровождается сильным пенообразованием при аэрации).

Для проведения эксперимента использовали биоценоз активного ила городских очистных сооружений г. Воронежа, для чего отбирали ВИС из колодцев вторичных отстойников.

На рисунке 1 показана установка по оценке влияния ПВС на биоценоз АИ (номера емкостей соответствуют номерам исследуемых систем).

Изучали 4 системы (емкости 1–4 на рисунке 1):

- система № 1 – ВИС без ПВС (контроль),
- система № 2 – Вода + ПВС 0,1 мас.%,
- система № 3 – ВИС + ПВС 0,1 мас.%,
- система № 4 – ВИС + ПВС 0,05 мас.%



Рисунок 1. Установка по оценке влияния ПВС на биоценоз активного ила

Figure 1. Installation for assessing the impact of PVA on the biocenosis of activated sludge

Длительность проведения эксперимента составляла 7 суток.

Для оценки влияния ПВС на биоценоз АИ определяли в динамике гидрохимические (ГХ) и гидробиологические (ГБ) показатели по методикам, изложенным в ПНДФ СБ 14.1.77–96, ФР 1.31.2008.04397, ФР 1.31.2008.04398. Исследование видового разнообразия биоценоза АИ проводили с помощью оптического цифрового микроскопа Livenhuk G670T и Атласа микроорганизмов аэротенков.

Количественное определение концентрации ПВС в исследуемых системах проводили по показателю ХПК титриметрическим методом по ПНДФ 14.1:2:3.100–97 в присутствии избытка бихромата калия в растворе серной кислоты.

Результаты

Изначально исходный АИ имел следующие структурные характеристики: доза ила по объему – 900 мл/л, доза ила по массе – 4,25 г/л, иловый индекс – 211 мл/1г.

Видовое разнообразие биоценоза исходного АИ включало представителей основных укрупненных индикаторных групп: бактерии, водоросли, простейшие, прикрепленные инфузории, коловратки. Пробы образцов характеризуются среднекомпактными хлопьями, но содержат также несколько повышенное количество нитчатых.

Высокие значения ИИ и повышенное количество нитчатых могут быть связаны с транспортировкой ВИС и временным снижением содержания кислорода в системе.

На рисунке 2 представлена динамика изменения гидрохимических показателей (ГХП) АИ в исследуемых системах.

Из рисунка 2 видно, что введение ПВС в ВИС оказывает положительное влияние на седиментацию ила, очевидно, выступая в качестве флокулянта. В системах № 3 и № 4 доза ила по объему снижалась на 10% через 1 сутки воздействия ПВС, и на 30–40% через 3 суток воздействия ПВС. Для контрольной системы № 1, не содержащей ПВС, доза ила по объему увеличивалась в течение всего эксперимента (что связано с постепенным вспуханием ила). При этом доза ила по массе в системе № 3 превышала на 20–30% дозу по массе ила в системе № 4, вероятно, это связано с сорбцией ПВС матриксом ила.

Иловый индекс систем, содержащих ПВС, снизился за 7 суток эксперимента практически в 2 раза.

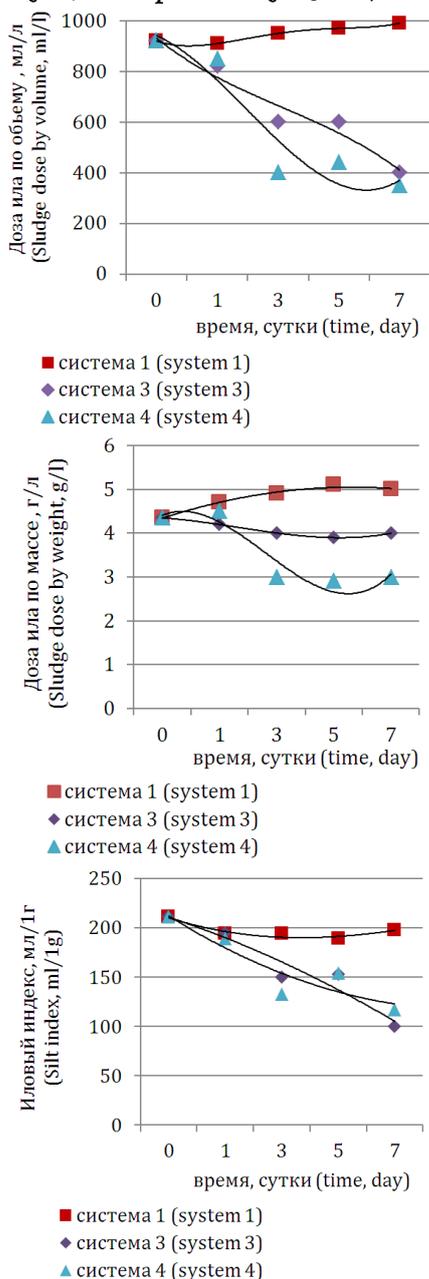


Рисунок 2. Динамика изменения гидрохимических показателей активного ила в исследуемых системах
Figure 2. Dynamics of changes in hydrochemical parameters of activated sludge in the studied systems

На рисунке 3 показана динамика изменения показателя ХПК в исследуемых системах.

Из рис. 3 видно, что динамика изменения ХПК в исследуемых ВИС, содержащих ПВС, имеет односторонний характер, снижаясь через 1 сутки эксперимента на 30 и 20% соответственно для систем № 3 и 4, с последующим повышением на 3–5 сутки и снижением на 7 сутки. Предположительно, значительное снижение ХПК в первые сутки обосновано сорбцией ПВС на внеклеточном матриксе свежего ила, но затем происходит эмиссия повышающих ХПК веществ (десорбция). Далее постепенное их химическое и биологическое окисление приводит к снижению ХПК на 7 сутки.

Незначительное снижение ХПК в системе № 2, содержащей ПВС без АИ, вероятно связано с частичной адгезией полимера к поверхности аэротенка.

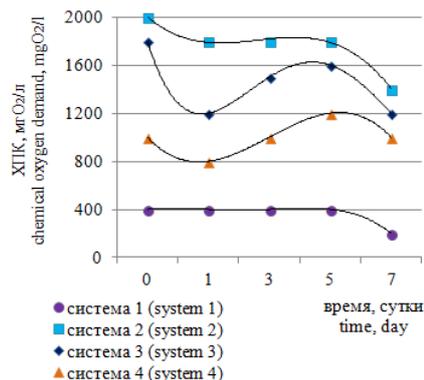


Рисунок 3. Динамика изменения показателя ХПК в исследуемых системах

Figure 3. Dynamics of changes in the chemical oxygen demand index in the studied systems

На рисунке 4 представлены микрофотографии биоценоза АИ в исследуемых системах за первые и пятые сутки проведения эксперимента.

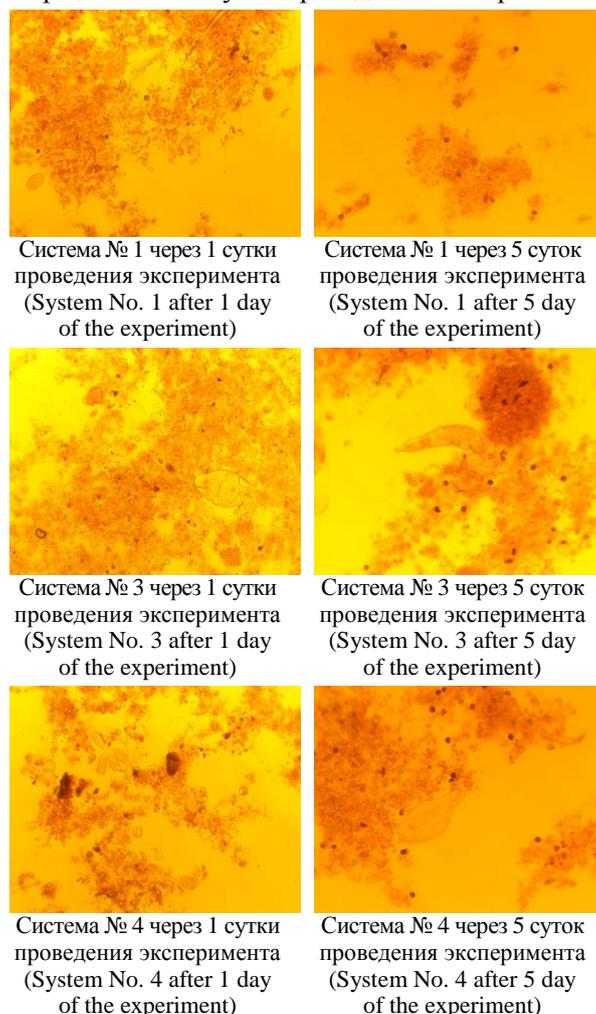


Рисунок 4. Микрофотографии биоценоза АИ (увеличение в 100 раз) в исследуемых системах

Figure 4. Microphotographs of activated sludge biocenosis (100x magnification) in the studied systems

Удовлетворительно работающий АИ, как правило, характеризуется большим разнообразием простейших, постоянным присутствием *Aspidisca*, *Vorticella*, *Epistylis*. В голодающем АИ простейшие измельчаются, становятся прозрачными, коловратки вслед за инфузориями образуют цисты [14–16]. Нитрифицирующий АИ представлен *Philodina*, *Callidina*, *Carchesium*, *Arcella*. Перегруженный АИ характеризуется малым качественным видовым разнообразием при количественном преобладании 2–3 групп, присутствуют жгутиковые, мелкие амёбы, *Litonotus*, *Podophria*, *Opercularia*, *Sphaerotilus*. При дефиците кислорода наблюдается обильное развитие *Paramecium Caudatum* [17–20].

В системах № 3 и № 4 на 5 сутки эксперимента значительно увеличилось количество раковинных бентосных амёб, что свидетельствует о повышении нагрузок по загрязняющей органике, так как при этом увеличивается количество флокулирующих бактерий и концентрация питательного органического субстрата. Также наблюдали

достаточное количество жизнеспособных коловраток и брюхоносличных червей. В системе № 1 наблюдали гибель большинства микроорганизмов ила уже на 3 сутки.

Заключение

Установлено, что введение ПВС в водно-иловую смесь в концентрациях 0,1 – 0,05 мас.% положительно влияет на ГХ и ГБ показатели неадаптированного голодающего активного ила, оказывая флокулирующий эффект и способствуя улучшению седиментационных свойств АИ, а также сохранению видового разнообразия за счет содержания питательных веществ.

Пороговая концентрация введения ПВС в водно-иловую смесь составляет 0,15 мас.% (что соответствует значениям ХПК около 2500 мгО₂/л), более концентрированные растворы за счет высокого пенообразования и высокого значения ХПК способствуют выносу биомассы и ухудшению ГХ и ГБ показателей АИ.

Литература

- 1 Губанова М.И., Баженов Н.С., Кириш И.А., Банникова О.А. и др. Исследование пленочных материалов, полученных из модифицированных растворных систем на основе поливинилового спирта // Вестник ВГУИТ. 2023. Т. 85. № 2. С. 226–236. doi:10.20914/2310-1202-2023-2-226-236
- 2 Студеникина Л.Н., Домарева С.Ю., Голенских Ю.Е., Матвеева А.В. Особенности высоконаполненных композитов на основе различных марок поливинилового спирта // Вестник ВГУИТ. 2021. Т. 83. № 1 (87). С. 316–322. doi:10.20914/2310-1202-2021-1-316-322
- 3 Byrne D., Boeije G., Croft I., Hüttman G. et al. Biodegradability of Polyvinyl Alcohol Based Film Used for Liquid Detergent Capsules. *Biologische Abbaubarkeit der für Flüssigwaschmittelkapseln verwendeten Folie auf Polyvinylalkoholbasis. Tenside Surfactants Detergents*. 2021. V. 58. № 2. P. 88–96. doi:10.1515/tsd-2020-2326
- 4 Chiellini E., Corti A., D'Antone S., Solar R. Biodegradation of poly (vinyl alcohol) based materials // *Progress in Polymer Science*. 2003. V. 28(6). P. 963–1014. doi:10.1016/s0079-6700(02)00149-1
- 5 Julinová M., Vaňharová L., Jurca M. Water-soluble polymeric xenobiotics – Polyvinyl alcohol and polyvinylpyrrolidone – And potential solutions to environmental issues // *A brief review. Journal of Environmental Management*. 2018. V. 228. P. 213–222. doi:10.1016/j.jenvman.2018.09.010
- 6 Solaro R., Corti A., Chiellini E. Biodegradation of poly(vinyl alcohol) with different molecular weights and degree of hydrolysis // *Polym Adv Technol*. 2000. V. 11. P. 873–878. doi:10.1002/1099-1581(200008/12)
- 7 Yamatsu A., Matsumi R., Atomi H., Imanaka T. Isolation and characterization of a novel poly(vinylalcohol) – degrading bacterium, *Sphingopyxis* sp. PVA3 // *Appl Microbiol Biotechnol*. 2006. V. 72. P. 804. doi:10.1007/s00253-006-0351-4
- 8 Chiellini E., Corti A., Del Sarto G., D'Antone S. Oxo-biodegradable polymers – effect of hydrolysis degree on biodegradation behaviour of poly(vinyl alcohol) // *Polym. Degrad. Stab*. 2006. V. 91. P. 3397–3406. doi:10.1016/j.polymdegradstab.2006.05.021
- 9 Matsumura S., Kurita H., Shimokobe H. Anaerobic biodegradability of polyvinyl alcohol // *Biotechnol. Lett*. 1993. V. 15(7). P. 749–754. doi:10.1007/BF01080150
- 10 Marušincová H., Husárová L., Ržička J., Ingr M. et al. Polyvinyl alcohol biodegradation under denitrifying conditions // *International Biodeterioration & Biodegradation*. 2013. V. 84. P. 21–28. doi:10.1016/j.ibiod.2013.05.023
- 11 Алламуратова А.С., Сейтназарова О.М., Шарипова А.И., Абдикамалова А.Б. Синтетические водорастворимые полимеры и важнейшие отрасли их применения. *Universum: технические науки*. 2023. № 9–4(114). С. 47–53.
- 12 Nimesha S., Hewawasam C., Jayasanka D. J., Murakami Y. et al. Effectiveness of natural coagulants in water and wastewater treatment // *Global Journal of Environmental Science and Management*. 2022. V. 8. № 1. P. 101-116.
- 13 Bengtsson S., de Blois, M., Wilén, B. M., Gustavsson, D. Treatment of municipal wastewater with aerobic granular sludge // *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*. 2018. V. 48. № 2. P. 119-166.
- 14 Студеникина Л.Н., Дочкина Ю.Н., Шелкунова М.В., Корчагин В.И. Оценка эффективности иммобилизации активного ила на композитных материалах "полиэтилен: полисахариды". *Вестник ВГУИТ*. 2018. Т. 80. № 4 (78). С. 356–360. doi:10.20914/2310-1202-2018-4-356-360
- 15 Смирнов В.Б., Шевченко Н.П., Гуськов Д.А. Биоценоз активного ила аэротенков продленной аэрации. *Водоочистка. Водоподготовка. Водоснабжение*. 2021. № 3 (159). С. 54–63.

- 16 Брындина Л.В., Корчагина А.Ю. Влияние загрязнений сточных вод на биоценоз активного ила. Лесотехнический журнал. 2020. Т. 10. № 3 (39). С. 16–25. doi:10.34220/issn.2222–7962/2020.3/2
- 17 Wdowczyk A., Szymańska-Pulikowska A., Domańska M. Analysis of the bacterial biocenosis of activated sludge treated with leachate from municipal landfills //International Journal of Environmental Research and Public Health. 2022. V. 19. №. 3. P. 1801.
- 18 Polus M., Mucha Z., Mikosz J., Mucha M. Composition and variability of the activated sludge biocenosis in membrane biological reactors //Desalination and Water Treatment. 2022. V. 248. P. 39-48.
- 19 Белов С.Г., Акулич Т.И., Наумчик Г.О. Опыт эксплуатации сооружений очистки сточных вод: проблемы и их решение. Вестник Брестского государственного технического университета. Серия: Водохозяйственное строительство, теплоэнергетика и геоэкология. 2018. № 2 (110). С. 97–100.
- 20 Samer M. Biological and chemical wastewater treatment processes //Wastewater treatment engineering. 2015. V. 150. №. 10. P. 61250.

References

- 1 Gubanov M.I., Bazhenov N.S., Kirsh I.A., Bannikova O.A. and others. Investigation of film materials obtained from modified polyvinyl alcohol-based solution systems // Proceedings of VSUET. 2023. Vol. 85. no. 2. pp. 226-236. doi:10.20914/2310-1202-2023-2-226-236 (in Russian).
- 2 Studenikina L.N., Domareva S.Yu., Golenskikh Yu.E., Matveeva A.V. Features of highly filled composites based on various grades of polyvinyl alcohol // Proceedings of VSUET. 2021. Vol. 83. no. 1 (87). pp. 316-322. doi:10.20914/2310-1202-2021-1-316-322 (in Russian).
- 3 Byrne D., Boeije G., Croft I., Hüttman G. et al. Biodegradability of Polyvinyl Alcohol Based Film Used for Liquid Detergent Capsules. Biologische Abbaubarkeit der für Flüssigwaschmittelkapseln verwendeten Folie auf Polyvinylalkoholbasis. Tenside Surfactants Detergents. 2021. Vol. 58. no 2. pp. 88–96. doi:10.1515/tsd-2020–2326
- 4 Chiellini E., Corti A., D’Antone S., Solar, R. Biodegradation of poly (vinyl alcohol) based materials // Progress in Polymer Science. 2003. Vol. 28(6). pp. 963–1014. doi:10.1016/s0079–6700(02)00149–1
- 5 Julinová M., Vaňharová L., Jurca M. Water-soluble polymeric xenobiotics – Polyvinyl alcohol and polyvinylpyrrolidone – And potential solutions to environmental issues // A brief review. Journal of Environmental Management. 2018. Vol. 228. pp. 213–222. doi:10.1016/j.jenvman.2018.09.010
- 6 Solaro R., Corti A., Chiellini E. Biodegradation of poly(vinyl alcohol) with different molecular weights and degree of hydrolysis // Polym Adv Technol. 2000. Vol. 11. pp. 873–878. doi:10.1002/1099–1581(200008/12)
- 7 Yamatsu A., Matsumi R., Atomi H., Imanaka T. Isolation and characterization of a novel poly(vinylalcohol) – degrading bacterium, Sphingopyxis sp. PVA3 // Appl Microbiol Biotechnol. 2006. Vol. 72. pp. 804. doi:10.1007/s00253–006–0351–4
- 8 Chiellini E., Corti A., Del Sarto G., D’Antone S. Oxo-biodegradable polymers – effect of hydrolysis degree on biodegradation behaviour of poly(vinyl alcohol) // Polym. Degrad. Stab. 2006. Vol. 91. pp. 3397–3406. doi: 10.1016/j.polymdegradstab.2006.05.021
- 9 Matsumura S., Kurita H., Shimokobe H. Anaerobic biodegradability of polyvinyl alcohol // Biotechnol. Lett. 1993. Vol. 15(7). pp. 749–754. doi:10.1007/BF01080150
- 10 Marušincová H., Husárová L., Ržička J., Ingr M. et al. Polyvinyl alcohol biodegradation under denitrifying conditions // International Biodeterioration & Biodegradation. 2013. Vol. 84. pp. 21–28. doi:10.1016/J.IBIOD.2013.05.023
- 11 Allamuratova A.S., Seitnazarova O.M., Sharipova A.I., Abdikamalova A.B. Synthetic water-soluble polymers and the most important branches of their application. Universum: technical sciences. 2023. no. 9-4(114). pp. 47-53. (in Russian).
- 12 Nimesha S., Hewawasam C., Jayasanka D. J., Murakami Y. et al. Effectiveness of natural coagulants in water and wastewater treatment //Global Journal of Environmental Science and Management. 2022. Vol. 8. no. 1. pp. 101-116.
- 13 Bengtsson S., de Blois M., Wilén B. M., Gustavsson D. Treatment of municipal wastewater with aerobic granular sludge //Critical Reviews in Environmental Science and Technology. 2018. Vol. 48. no. 2. pp. 119-166.
- 14 Studenikina L.N., Dochkina J.N., Shelkunova M.V., Korchagin V.I. Evaluation of the effectiveness of immobilization of activated sludge on composite materials “polyethylene:polysaccharides”. Proceedings of VSUET. 2018. Vol. 80. no. 4 (78). pp. 356–360. doi:10.20914/2310–1202–2018–4–356–360 (in Russian).
- 15 Smirnov V.B., Shevchenko N.P., Guskov D.A. Biocenosis of activated sludge of extended aeration tanks. Water purification. Water treatment. Water supply. 2021. no. 3 (159). pp. 54–63. (in Russian).
- 16 Bryndina L.V., Korchagina A. Yu. The influence of wastewater pollution on the biocenosis of activated sludge. Forestry engineering journal. 2020. Vol. 10. no. 3 (39). pp. 16–25. doi:10.34220/issn.2222–7962/2020.3/2 (in Russian).
- 17 Wdowczyk A., Szymańska-Pulikowska A., Domańska M. Analysis of the bacterial biocenosis of activated sludge treated with leachate from municipal landfills //International Journal of Environmental Research and Public Health. 2022. Vol. 19. no. 3. pp. 1801.
- 18 Polus M., Mucha Z., Mikosz J., Mucha, M. Composition and variability of the activated sludge biocenosis in membrane biological reactors //Desalination and Water Treatment. 2022. Vol. 248. pp. 39-48.
- 19 Belov S.G., Akulich T.I., Naumchik G.O. Experience in operating wastewater treatment facilities: problems and their solutions. Bulletin of the Brest State Technical University. Series: Water management construction, heat power engineering and geoecology. 2018. no. 2 (110). pp. 97–100. (in Russian).
- 20 Samer M. Biological and chemical wastewater treatment processes //Wastewater treatment engineering. 2015. Vol. 150. no. 10. pp. 61250.

Сведения об авторах

Любовь Н. Студеникина к.т.н., доцент, кафедра промышленной экологии и техносферной безопасности, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, lovov-churkina@ya.ru

<https://orcid.org/0000-0001-6613-4974>

Владимир И. Корчагин студент, кафедра промышленной экологии и техносферной безопасности, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, kvi-vgta@rambler.ru

<https://orcid.org/0000-0001-7212-1627>

Ангелика А. Савина студент, кафедра промышленной экологии и техносферной безопасности, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, angelikasavina05@gmail.com

Татьяна Р. Поваляева студент, кафедра промышленной экологии и техносферной безопасности, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, tanuapovaluaeva_2003@mail.ru

Александр А. Мельников студент, кафедра промышленной экологии и техносферной безопасности, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, melnikov.shura@inbox.ru

Вклад авторов

Все авторы в равной степени принимали участие в написании рукописи и несут ответственность за плагиат

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Information about authors

Lyubov N. Studenikina Cand. Sci. (Engin.), assistant professor, Department of Industrial Ecology and Technosphere Safety, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, lovov-churkina@ya.ru

<https://orcid.org/0000-0001-6613-4974>

Viadimir I. Korchagin professor, Department of Industrial Ecology and Technosphere Safety, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, kvi-vgta@rambler.ru

<https://orcid.org/0000-0001-7212-1627>

Angelika A. Savina Student, Voronezh State University of Engineering Technologies, Department of Industrial Ecology and Technosphere Safety, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, angelikasavina05@gmail.com

Tatiana R. Povaljatva student, Department of Industrial Ecology and Technosphere Safety, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, tanuapovaluaeva_2003@mail.ru

Alexandr A. Melnikov student Department of Industrial Ecology and Technosphere Safety, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19, Voronezh, 394036, Russia, melnikov.shura@inbox.ru

Contribution

All authors are equally involved in the writing of the manuscript and are responsible for plagiarism

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

| | | |
|-----------------------------|---------------------------------------|------------------------------------|
| Поступила 22/10/2024 | После редакции 15/11/2024 | Принята в печать 25/11/2024 |
| Received 22/10/2024 | Accepted in revised 15/11/2024 | Accepted 25/11/2024 |