



DOI: 10.22363/2313-2310-2024-32-4-422-430  
EDN: NINDLF  
УДК 628.2:626.8

Научная статья / Research article

## Технология очистки ливневых вод причальных сооружений перевалки древесины

С.Б. Кунденюк , В.Н. Волкова ✉

*Дальневосточный федеральный университет, Владивосток, Российская Федерация*  
✉vladavibi@bk.ru

**Аннотация.** В исследовании представлена разработанная авторами индивидуальная технология сбора и отведения поверхностного стока с сооружений портового комплекса по перевалке щепы в условиях сложившейся инфраструктуры порта. Выполнен анализ реализации проекта. Разработан инновационный коагулирующий состав, снижающий распреснение морского водоема, разработаны конструктивные решения для интенсификации работы очистных сооружений. Предложенные авторами технологические решения могут быть применены при проектировании ливневой канализации причальных сооружений и очистки стоков.

**Ключевые слова:** морской порт, перевалка щепы, поверхностный сток, аккумуляторная емкость, технология очистки, инновационный коагулирующий состав

**Вклад авторов.** Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

**История статьи:** поступила в редакцию 09.04.2024; доработана после рецензирования 10.05.2024; принята к публикации 23.08.2024.

**Заявление о конфликте интересов.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Для цитирования:** Кунденюк С.Б., Волкова В.Н. Технология очистки ливневых вод причальных сооружений перевалки древесины // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2024. Т. 32. № 4. С. 422–430. <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2024-32-4-422-430>

© Кунденюк С.Б., Волкова В.Н., 2024



This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License  
<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/legalcode>

## Intensification of storm water treatment of wood transferring wood termination facilities

Svetlana B. Kundenok<sup>ID</sup>, Vladislava N. Volkova<sup>ID</sup>✉

*Far Eastern Federal University, Vladivostok, Russian Federation*

✉vladavibi@bk.ru

**Abstract.** The study presents the individual technology developed by the authors for the collection and disposal of surface runoff from the facilities of the port complex for the transshipment of wood chips in the conditions of the existing port infrastructure. An analysis of the project implementation was carried out. An innovative coagulating composition has been developed that reduces the desalination of sea water, and design solutions have been developed to intensify the operation of treatment facilities. The technological solutions proposed by the authors can be applied in the design of storm sewerage for berth structures and wastewater treatment.

**Keywords:** sea port, transshipment of wood chips, surface runoff, storage capacity, purification technology, innovative coagulating composition

**Authors' contribution.** All authors made an equal contribution to the preparation of the publication.

**Article history:** received 09.04.2024; revised 10.05.2024; accepted 23.08.2024.

**Conflicts of interest.** The authors declare no conflicts of interest.

**For citation:** Kundenok SB, Volkova VN. Intensification of storm water treatment of wood transferring wood termination facilities. *RUDN Journal of Ecology and Life Safety*. 2024;32(4):422–430. (In Russ.) <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2024-32-4-422-430>

### Введение

В настоящее время во всем мире, в том числе и в России, остро стоят проблемы загрязнений воздуха, почвы, воды<sup>1</sup>. Поверхностные сточные воды содержат органические загрязнения, которые гнивают и служат средой развития микроорганизмов, в том числе патогенных. Стоки деревообрабатывающей промышленности, в данном случае порт-пункта по перевалке технологической щепы, представляют угрозу для окружающей среды. В целях предотвращения опасности следует предусмотреть эффективную систему ливневой канализации. Современные природоохранные требования<sup>2</sup> обязывают предприятия обеспечить сбор и очистку поверхностного стока. Места расположения выпусков очищенных поверхностных стоков в акваторию

<sup>1</sup> Свод правил СП 32.13330.2018. Дата введения 2019-06-26. Утвержден Департаментом градостроительной деятельности и архитектуры Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации (Минстрой России) приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации от 25 декабря 2018 г. № 860/пр и введен в действие с 26 июня 2019 г. (актуализированная редакция СНиП 2.04.03-85 Канализация. Наружные сети и сооружения»). 2018. 142 с.

<sup>2</sup> Водный кодекс Российской Федерации от 03.06.2006 № 74-ФЗ (ред. от 30.12.2023) Принят Государственной Думой 12 апреля 2006 года. Одобрен Советом Федерации 26 мая 2006 года. 53 с.

судоходных морских объектов необходимо проектировать в соответствии с СП 350.1326000.2018<sup>3</sup> и согласовывать с органами местного управления, морского флота и надзорными организациями<sup>4</sup>.

Основными загрязняющими компонентами поверхностного стока сели-тебных территорий являются взвешенные вещества, нефтепродукты и БПК [3], а к специфическим загрязнениям с площадки перевалки технологический щепы относятся вещества, вымываемые из древесины, которые попадают в категорию фенолов. Для очистки таких вод применяются механические, реагентные, электрохимические [4–6], а для глубокой доочистки ионообмен-ные и сорбционные методы, в том числе с использованием современных модифицированных и нанокompозитных материалов [7; 8].

В данном исследовании выполнен анализ эксплуатации разработанной авторами индивидуальной технологии сбора и очистки поверхностного стока причальных сооружений. Площадка расположена на техногеннообразован-ной территории порта с развитой сетью коммуникаций, в границах существу-ющей санитарно-защитной зоне предприятия. Поверхность причала забето-нирована и используется для погрузки-разгрузки морских судов, высота над уровнем моря ~ 2,0 м.

В практике проектирования в большинстве случаев применяются насос-ные станции и очистные сооружения заглубленного типа заводского испол-нения из полиэтилена или стеклопластика, которые монтируются к железобе-тонным плитам. Если такие сооружения размещаются в обводненном грунте, необходимо выполнить расчет на всплытие с целью предупреждения их выталкивания и предусмотреть специальные мероприятия при проведении работ, что ведет к удорожанию стоимости строительства.

**Цель исследования** – разработка реагентного способа обработки вод с использованием природных материалов: морской воды, глинозема, известкового молока – и его конструктивное исполнение, обеспечивающее снижение нагрузки загрязняющих веществ на сорбционные фильтры при минимальных строительных и эксплуатационных затратах.

---

<sup>3</sup> Свод правил. Нормы технологического проектирования морских портов. СП 350.1326000.2018. Дата введения 2018-09-01. Утвержден приказом Министерства транспорта Российской Федерации (Минтранс России) от 1 марта 2018 г. № 75 и введен в действие с 1 сентября 2018 г. 2018, 231 с.; Санитарные правила и нормы СанПиН 2.1.3684-21 Сани-тарно-эпидемиологические требования к содержанию территорий городских и сельских поселений, к водным объектам, питьевой воде и питьевому водоснабжению, атмосферному воздуху, почвам, жилым помещениям, эксплуатации производственных, общественных помещений, организации и проведению санитарно-противоэпидемических (профилактиче-ских) мероприятий. 2021. 65 с.

<sup>4</sup> Постановление Главного государственного санитарного врача РФ от 28 января 2021 г. № 3 «Об утверждении санитарных правил и норм СанПиН 2.1.3684-21 „Санитарно-эпидемиологи-ческие требования к содержанию территорий городских и сельских поселений, к водным объектам, питьевой воде и питьевому водоснабжению, атмосферному воздуху, почвам, жилым помещениям, эксплуатации производственных, общественных помещений, организации и про-ведению санитарно-противоэпидемических (профилактических) мероприятий“». 2021. 75 с.

## Материалы и методы

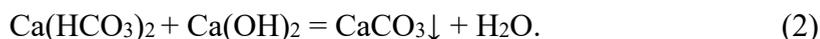
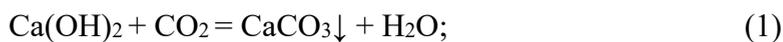
Физико-химический метод для очистки поверхностных вод применяется достаточно редко в связи с тем, что сооружения обработки вод преимущественно проточного типа и размещаются ниже уровня земли. А для размещения реагентного хозяйства необходим павильон. Высокой эффективностью удаления загрязняющих веществ обладает гидроксид магния и смешанные реагенты, в состав которых дополнительно включены кальций и калий [9; 10]. Известен реагентный метод использования морской воды, в состав которой входит значительное количество ионов магния и кальция в качестве коагулянта. Например, в способе очистки сточных вод [11] к сточным водам предприятий пищевой промышленности добавляется 25–35 % морской воды и производится обработка воды в электрофлотаторе. Для очистки сточных вод мокрой окорки древесины применяются соли алюминия, позволяющие снизить показатели загрязнений на 80–90 % [12]. Комбинированный метод очистки фенолсодержащих сточных вод, в основе которого лежит применение электрокоагуляционной обработки в постоянном электрическом поле и сорбции фенола на бентоните с концентрацией 0,1 %, временем отстаивания 3 ч, является наиболее эффективным при удалении фенолов.

Для решения поставленных задач выполнены теоретические и экспериментальные исследования коагуляции на натуральных сточных водах в лабораторных условиях по стандартным методикам с построением классической кривой Смолуховского.

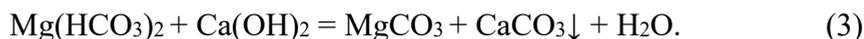
## Результаты и их обсуждение

При гидролизе глинозема образуется гидроксид алюминия, а выделяющаяся серная или соляная кислота нейтрализуется находящейся в сточной воде двууглекислой солью. При образовании гидроксида ион металла проходит через серию промежуточных соединений в результате реакции его с гидроксильными ионами и полимеризации. В зависимости от значения pH воды и ее ионного состава при гидролизе сульфата алюминия возможно образование монокомплексов:  $[Al(OH)^{2+}]$ ,  $[Al_2(OH)_2^{4+}]$ ,  $[Al(OH)_3]$ ,  $[Al_6(OH)_15^{3+}]$ ,  $[Al_8(OH)_{20}^{4+}]$ ,  $[Al(OH)_4]$  и продуктов их полимеризации.

Ионы кальция и магния из растворов осаждаются преимущественно содово-известковым и реже содово-каустическим методами. При добавлении к воде известкового молока на первом этапе происходит связывание растворенной в воде углекислоты, далее – устранение карбонатной жесткости:



Оптимальное значение pH для выпадения  $CaCO_3$  в осадок составляет 8,5–9,0. Сложнее обеспечить выделение бикарбоната магния  $Mg(HCO_3)_2$ . При значении  $pH < 10$  происходит реакция



Образующаяся соль  $\text{MgCO}_3$  обладает сравнительно высокой растворимостью. Чтобы обеспечить ее выделение, добавляют известь, повышая pH до 10,3–10,5. В процессе известкования протекают химические реакции с образованием труднорастворимых соединений  $\text{CaCO}_3$  и  $\text{Mg}(\text{OH})_2$ . В нашем случае помимо ионов металлов в сток вводится сульфат-ион  $\text{SO}_4^{2-}$  морской воды и коагулята глинозема, который при известковании вступает в реакцию с ионами кальция при  $\text{pH} = 8,5\text{--}13$  с образованием двухводного гипса  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ , выпадающего в виде осадка. Эти соединения имеют в основном положительный заряд и легко адсорбируются на поверхности отрицательно заряженных коллоидных частиц, а золи гидроокиси металлов, преимущественно магния, кальция и алюминия, в момент формирования флокул способны притягивать к себе специфическое загрязнение – фенолят-ион  $\text{C}_6\text{H}_5\text{O}$ , вымываемое из древесины.

В нашем случае выпуск сточных вод располагается в причальной стенке морской акватории и ограничения по содержанию хлоридов стоках отсутствовали. В качестве основных коагулянтов использовались ионы магния и кальция морской воды. В качестве катализатора снижения порога их коагуляции с pH 11–12 до 9,6–9,8 применялся сульфат алюминия.

Как видно из таблицы, группы загрязнений в различных фазово-дисперсных состояниях присутствовали в поверхностном стоке. Это связано с тем, что в порту осуществляется перевалка различного рода пиленой древесины, круглого леса и технологической щепы. Для каждого вида продукции существуют специализированные причалы. Основными загрязняющими компонентами поверхностного стока порта являются взвешенные вещества и нефтепродукты. Также присутствуют фенолы и специфические вещества, вымываемые из древесины, которые попадают в категорию БПК.

Проведен ряд лабораторных экспериментов с различным процентным содержанием содержания магния кальция и алюминия в композитном составе. Выявлено что оптимальное количество морской воды составляет 15 %, а доза сульфата алюминия по активному веществу – 32 мг/л. При pH 9,6–9,8 и избыточной щелочности 2 ммоль/л алюминий полностью выпадает в осадок, магний практически весь, а кальций частично, в зависимости от количества сульфат-ионов в растворе. После протекания коагуляции pH снижается до 0,5–0,8 единиц.

На основе экспериментальных данных и [18] гидролиз, полимеризация и адсорбция протекают чрезвычайно быстро (до 1 с), далее происходит агрегация дестабилизированных частиц с образованием пространственной структуры, где на первом этапе происходит разрыв под собственным весом с образованием крупных хлопьев и затем процесс седиментации. Разработано инновационное конструктивное решение узла реагентной обработки (см. рис.), который включает три ввода реагента диффузор-конфузорной конструкции с последующим смешением с потоком воды и камеру коагуляции

с загрузкой пенополистирольными кубиками. Так как скорость осаждения коагулированных хлопьев выше, чем необработанного стока, реконструкция отстойника с тонкослойными модулями не требуется.

#### Исследование загрязняющих веществ

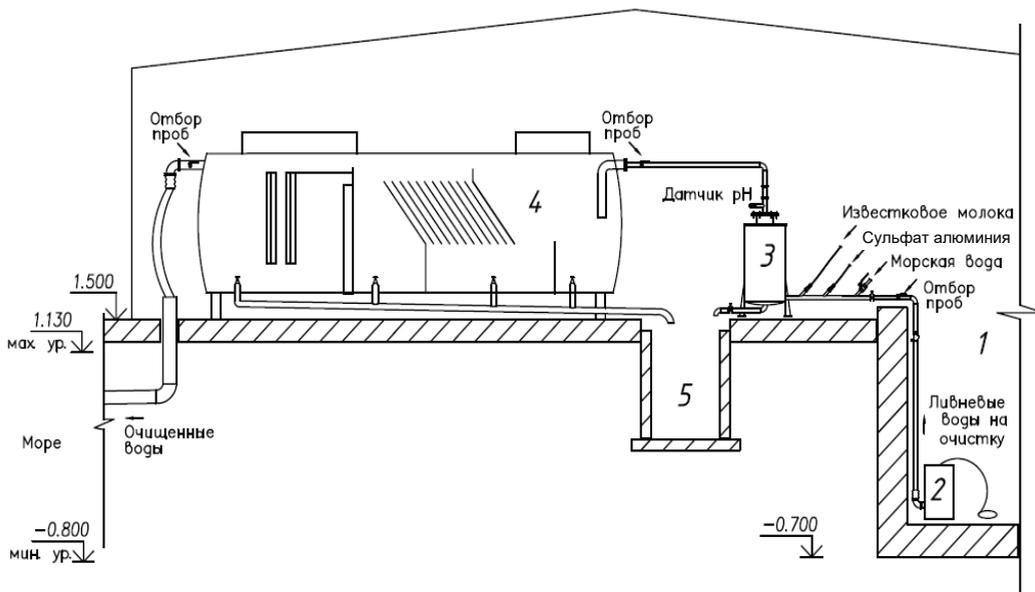
№	Наименование загрязняющего вещества	Исходная концентрация загрязняющего вещества, мг/л	Концентрации загрязнений, поступающие на доочистку		Снижение нагрузки на сорбционные фильтры, %
			Существующая схема очистки, мг/л	После реагентной обработки, мг/л	
1	Взвешенные вещества	1168,65	231	15	99
2	Нефтепродукты	15,65	8,54	2,4	85
3	БПК <sub>20</sub>	46,96	38,44	5,14	89
4	Азот аммонийный	2,65	3,25	0,01	100
5	Фосфаты (P)	1,088	5,21	0,01	99
6	Фенолы	0,06	0,02	0	100

Источник: составлено С.Б. Кунденюк и В.Н. Волковой.

#### Study of pollutants

No.	Name of the pollutant	Initial concentration of the contaminant, mg/l	Concentrations of pollutants entering the aftertreatment		Reducing the load on sorption filters, %
			The existing purification scheme, mg/l	After reagent treatment, mg/l	
1	Suspended solids	1168.65	231	15	99
2	Petroleum products	15.65	8.54	2.4	85
3	BOD <sub>20</sub>	46.96	38.44	5.14	89
4	Ammonium nitrogen	2.65	3.25	0.01	100
5	Phosphates (P)	1.088	5.21	0.01	99
6	Phenols	0.06	0.02	0	100

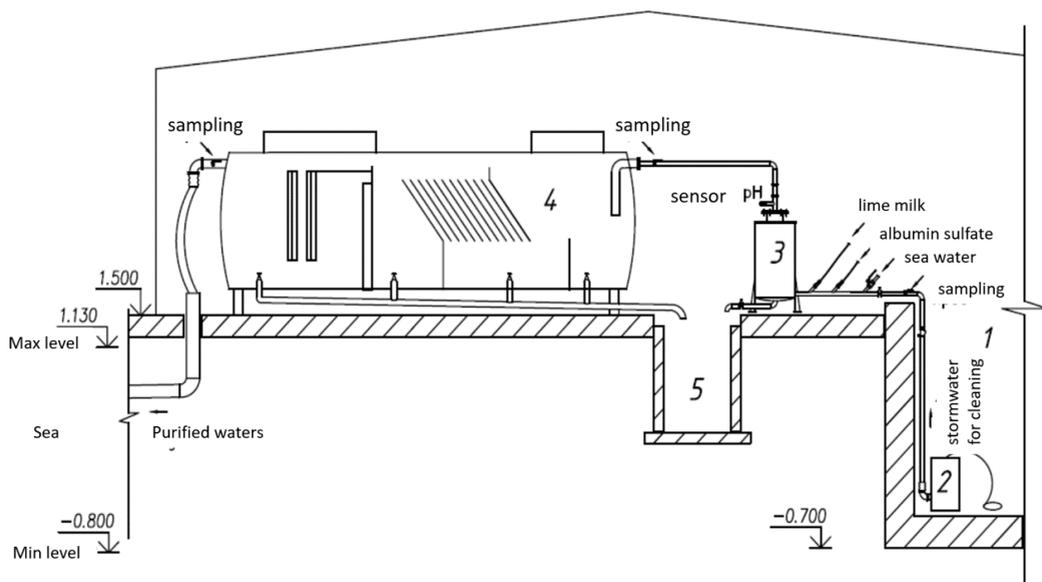
Source: compiled by S.B. Kundenok and V.N. Volkova.



#### Модернизация очистных сооружений:

- 1 – аккумулярующая емкость; 2 – погружной насос; 3 – камера коагуляции;  
4 – очистные сооружения; 5 – приемный колодец осадка

Источник: составлено С.Б. Кунденюк.



### Modernization of wastewater treatment plants

1 – storage capacity; 2 – submersible pump; 3 – coagulation chamber;  
4 – treatment facilities; 5 – sediment receiving well

Source: compiled by S.B. Kundenok.

## Заключение

Анализируя механизм протекания коагуляции: а именно формирование хлопьев одномоментно во всем объеме с образованием пространственной взаимосвязанной структуры из флокул, в состав которых входят ионы магния и кальция, связанные с ионом алюминия, можно сделать вывод, что реакция диссоциации сульфата алюминия является катализатором коагуляции магния и кальция при более низких значениях pH, чем в чистых растворах. Теоретически и экспериментально подтверждена высокая эффективность разработанной авторами технологии очистки вод на основе природных коагулянтов, что позволяет рекомендовать данное технологическое решение для широкого применения при разработке проектов и строительства новых и реконструкции существующих очистных сооружений. Использование морской воды для объектов, расположенных на морском побережье, не только уменьшает расход коагулянта, но и снижает распреснение водоемов.

## Список литературы

- [1] Брянская Ю.В., Тен А.Э., Джумагулова Н.Т., Громов Г.Н. Гидравлические характеристики и расчет инновационных систем отвода поверхностных сточных вод // Водоснабжение и санитарная техника. 2021. № 2. С. 46–52. <https://doi.org/10.35776/VST.2021.02.05>
- [2] Тен А.Э. Повышение эффективности функционирования открытой системы сбора и отвода поверхностных сточных вод: автореферат дис. ... канд. техн. наук: 2.1.4. М., 2022. 25 с.

- [3] Прожорина Т.И., Якунина Н.И., Нагих Т.В. Исследование влияния поверхностного стока с селитебных территорий на загрязнение Воронежского водохранилища // Вестник ВГУ. Серия: География. Геоэкология. 2018. № 2. С. 115–120.
- [4] Галиева Ю.Р., Сурис А.Л. Исследование процесса очистки ливневых сточных вод от нефтепродуктов // Известия МГТУ «МАМИ». Серия 4. Химическое машиностроение и инженерная экология. 2013. Т. 4. № 1 (15). С. 67–72.
- [5] Москвичева А.В., Пухов М.В., Москвичева Е.В., Доскина Э.П., Игнаткина Д.О., Трегубов А.Ю. Практические аспекты электрохимической очистки фенолсодержащих сточных вод // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2018. № 51 (70). С. 150–159. EDN: YSGUDM
- [6] Кравченко Н.Н. Физико-химические исследования электрокоагуляционно-сорбционной очистки фенол содержащих сточных вод: автореферат дис. ... канд. техн. наук. 25.00.36 / Тюмен. гос. нефтегаз. ун-т. Тюмень, 2005. 22 с.
- [7] Sahraei R., Sekhavat Pour Z., Ghaemy M. Novel magnetic bio-sorbent hydrogel beads based on modified gum tragacanth/graphene oxide: Removal of heavy metals and dyes from water // Journal of Cleaner Production. 2017. Vol. 142. P. 2973–2984. DOI:10.1016/j.jclepro.2016.10.170
- [8] Markandeya, Dhiman N, Shukla S.P., Kisku G.C. Statistical optimization of process parameters for removal of dyes from wastewater on chitosan cenospheres nanocomposite using response surface methodology // Journal of Cleaner Production. 2017. Vol. 49. P. 597–606. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.02.078>
- [9] Патент № 1286534 СССР, МПК C02F1/52. Способ очистки животноводческих сточных вод: № 3915317/30–26; заявл. 25.06.1985; опубл. 30.01.1987 / Чернышев В.О., Котов В.В., Пронина Е.В.; заявитель и патентообладатель: Воронежский сельскохозяйственный институт им. К.Д. Глинки.
- [10] Патент № 2263078С1 РФ, МПК C02F1/52. Способ очистки сточных вод целлюлозно-бумажного производства: № 2004101915/15; заявл. 21.01.2004; опубл. 27.10.2005 / Гольфман Е.Д., Воронцов К.Б.; заявитель и патентообладатель: АГТУ (RU).
- [11] Патент РФ № 2440931С2, МПК C02F 1/465. Способ очистки сточных вод: № 2010100722/05; заявл. 11.01.2010; опубл. 27.01.2012 / Шапкин Н.П., Жамская Н.Н., Хальченко И.Г., Каткова С.А., Апанасенко О.А., Попынов Е.К.; заявитель и патентообладатель: Дальрыбвтуз (RU).
- [12] Байбородин А.М. Локальная очистка сточных вод целлюлозно-бумажных предприятий методом коагуляции: автореферат ... канд. техн. наук: 05.21.03. Архангельск, 2014. 20 с.

## References

- [1] Bryanskaya YuV, Ten AE, Dzhumagulova NT, Gromov GN. Hydraulic characteristics and calculation of innovative surface wastewater drainage systems. *Water supply and plumbing*. 2021; 2:46–52. <https://doi.org/10.35776/VST.2021.02.05>
- [2] Ten AE. *Improving the efficiency of an open system for collecting and discharging surface wastewater* (Abstract of the dissertation). Moscow; 2022. 25 p.
- [3] Prozhorina TI, Yakunina NI, Nagikh TV. Investigation of the effect of surface runoff from built-up areas on pollution of the Voronezh reservoir. *Bulletin of the VSU, series: Geography. Geoecology*. 2018; 2:115–120.
- [4] Galieva YuR, Suris AL. Investigation of the process of purification of stormwater wastewater from petroleum products. *Izvestia MGTU MAMI*. 2013;4(1):67–72.

- [5] Moskvicheva AV, Pukhov MV, Moskvicheva EV, Doskina EP, Ignatkina DO, Tregubov AYU. Practical aspects of electrochemical purification of phenol-containing wastewater. *Bulletin of the Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Construction and Architecture*. 2018; 51:150–159. EDN: YSGUDM
- [6] Kravchenko N.N. Physico-chemical studies of electrocoagulation and sorption purification of phenolic wastewater. (Abstract of the dissertation). Tyumen; 2005. 22 p.
- [7] Sahraei R, Sekhavat Pour Z, Ghaemy M. Novel magnetic bio-sorbent hydrogel beads based on modified gum tragacanth/graphene oxide: Removal of heavy metals and dyes from water. *Journal of Cleaner Production*. 2017;142:2973–2984. DOI:10.1016/j.jclepro.2016.10.170
- [8] Markandeya, Diman N, Shukla SP, Kiska GK. Statistical optimization of the parameters of the process of removing dyes from wastewater on nanocomposites of chitosan cenospheres using the response surface technique. *The journal of environmentally friendly production*. 2017;149:597–606. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.02.078>
- [9] Chernyshev VO, Kotov VV, Pronina EV. *Method of wastewater treatment of animal husbandry*. USSR Patent N 1286534, IPC C02F1/52; applicant and patent holder: Voronezh Agricultural Institute named after K.D. Glinka. 3915317/30–26; application. 06/25/1985; publ. 30.01.1987.
- [10] Golfnan ED, Vorontsov KB. *Method of wastewater treatment of pulp and paper production*. Patent of the Russian Federation N 2263078C1, IPC C02F1/52; applicant and patent holder: AGTU (RU). 2004101915/15; application. 01/21/2004; published on 10/27/2005.
- [11] Shapkin NP, Zhamskaya NN, Khalchenko IG, Katkova SA, Apanasenko OA, Pypinov EK. *The method of wastewater treatment*. Patent of the Russian Federation N 2440931C2, IPC C02F 1/465; applicant and patent holder: Dalrybvtuz (RU). 2010100722/05; application dated 11.01.2010; publ. 27.01.2012.
- [12] Bayborodin AM. *Local wastewater treatment of pulp and paper enterprises by coagulation method* (Abstract of the dissertation). Arkhangel'sk; 2014. 24 p.

### Сведения об авторах:

Кунденюк Светлана Борисовна, старший преподаватель, Политехнический институт, Дальневосточный федеральный университет, Российская Федерация, 690922, Россия, г. Владивосток, о. Русский, пос. Аякс 10. ORCID: 0000-0002-2118-2718. E-mail: 14sveta65@mail.ru

Волкова Владислава Николаевна, кандидат технических наук, старший преподаватель, Политехнический институт, Дальневосточный федеральный университет, Российская Федерация, 690922, Россия, г. Владивосток, о. Русский, пос. Аякс 10. ORCID: 0000-0001-9078-9858. E-mail: vladavibi@bk.ru

### Bio notes:

Svetlana B. Kundenok, Senior Lecturer, technic Institute, Far Eastern Federal University, PolyRussky Island, village Ajax 10, Vladivostok, 690922, Russian Federation. ORCID: 0000-0002-2118-2718. E-mail: 14sveta65@mail.ru

Vladislava N. Volkova, PhD in Technical Sciences, Senior Lecturer, Polytechnic Institute, Far Eastern Federal University, Russky Island, village Ajax 10, Vladivostok, 690922, Russian Federation. ORCID: 0000-0001-9078-9858. E-mail: vladavibi@bk.ru