

**ПОКАЗАТЕЛИ КАЧЕСТВА ВОДЫ ВДОЛЬ ПОБЕРЕЖЬЯ
РЕКИ КУБАНЬ ГОРОДА КРАСНОДАРА**

© 2024 Т.Г. Короткова, А.М. Заколюкина, С.А. Бушумов

Кубанский государственный технологический университет, г. Краснодар, Россия

Статья поступила в редакцию 19.06.2024

В статье приводятся результаты анализов проб воды вдоль побережья реки Кубань города Краснодара за четырехлетний период с 2018 г. по 2022 г. Оценка проведена по 14 показателям качества воды: хлориды, азот нитритный, азот нитратный, ионы аммония, БПК₅, ХПК, железо общее, нефтепродукты, фосфаты, сульфаты, взвешенные вещества, ОКБ, ТКБ, колифаги. На основе количественного химического и микробиологического анализов обнаружено превышение на входе в город по БПК₅, нефтепродуктам, железу и на выходе из города по БПК₅, нефтепродуктам, сульфатам, железу, аммоний-иону. Выявлено загрязнение реки ОКБ, ТКБ и колифагами. Это вызвано расположением вдоль побережья многоэтажных жилищных комплексов и селитебных территорий поселкового типа, в которых очистные сооружения не справляются с многократно возросшим стоком в связи с ростом населения вводимых в эксплуатацию жилищных комплексов. Основное загрязнение по микробиологии вносит сток со стороны Краснодара в районе Тургеневского моста. Приведены исследования по эффективности извлечения ионов аммония из модельных и реальных смесей с помощью сорбента, полученного высушиванием и прокаливанием золошлаковых отходов предприятий теплоэнергетики.

Ключевые слова: показатели качества водного объекта, река Кубань, антропогенное воздействие, сорбент, золошлаковые отходы.

DOI: 10.37313/1990-5378-2024-26-4-177-185

EDN: GAIKZR

Исследование выполнено при финансовой поддержке Кубанского научного фонда в рамках научного проекта № МФИ-20.1/57 (грант КНФ, № гос. регистрации 122101000007-2).

ВВЕДЕНИЕ

В результате увеличения численности городского населения в связи с вводом в эксплуатацию новых жилищных комплексов нагрузка на очистные сооружения городских сточных вод многократно возросла. Стремительно развивающиеся новые технологии во всех сферах деятельности широко внедряются в пищевое производство, химическую промышленность, текстильную, целлюлозно-бумажную, промышленность строительных материалов и пр., что способствует повышению загрязнения сточных вод. Изношенные очистные сооружения в большинстве городов подлежат модернизации или полной реконструкции, так как не справляются с возросшим количеством загрязнений в городских стоках. В этом случае частично очищенные стоки сбрасываются в прилегающие водные объекты: реки, озера, моря, нанося урон их эко-

системе. Данная проблема относится к глобальной не только в России, но и за рубежом.

Изучение воздействия антропогенной деятельности на водосборы рек Ленинградской области приведено в работе [1]. Отмечено, что при сбросе теплых вод ТЭС, АЭС и промышленных предприятий происходит зарастание русел рек водной растительностью и, как следствие, заболачивание. При прохождении реки Вуокса по городам Ленинградской области обнаружено превышение по биохимическому потреблению кислорода (БПК₅), марганцу, меди, что связано с развитыми пищевой, деревообрабатывающей и химической промышленностями. Загрязнение водотоков сопровождается загрязнением донных отложений, в реке Вуокса обнаружено превышение по ртути и кобальту. Сбросные воды с полей пригородных хозяйств содержат значительное количество нитратов. На степень санитарно-токсикологической вредности водотоков оказывают влияние животноводческие комплексы. Сделан вывод, что очистные сооружения не справляются с объемами поступающих стоков.

Исследованы малые водотоки реки Невы, из которых в летний период 2019–2021 гг. были отобраны пробы макрозообентоса. По результатам биоиндикации общее экологическое состояние малых рек Санкт-Петербурга (реки Черная речка, Охта, Оккервиль, Славянка, Волковка, Лубья) признано

Короткова Татьяна Германовна, доктор технических наук, доцент, профессор кафедры безопасности жизнедеятельности. E-mail: korotkova1964@mail.ru

Заколюкина Алина Маратовна, младший научный сотрудник кафедры безопасности жизнедеятельности. E-mail: zakolyukina_am@mail.ru

Бушумов Святослав Андреевич, младший научный сотрудник кафедры безопасности жизнедеятельности. E-mail: bushumov@list.ru

неудовлетворительным. В некоторых водотоках полностью отсутствовали донные беспозвоночные. Токсическое загрязнение Волковки и Славянки носило залповый характер. В эти водотоки в 2020 г. осуществлялся залповый сброс тяжелых металлов и поверхностно-активных веществ [2].

Загрязнение гидросферы промышленными и бытовыми стоками рассмотрено в обзоре [3]. Воронежское водохранилище, большая часть которого расположена в пределах города, подвергается сбросам загрязненных вод: хозяйственно-бытовых, ливневых, талых и производственных сточных вод. Загрязнение химическими элементами водохранилища связано с предприятиями АООТ «Воронежсинтезкаучук» и АООТ «Воронежшина».

Приведенный анализ показателей качества малых рек г. Твери показал превышение по предельно допустимым концентрациям (ПДК) гидрохимических и микробиологических показателей: железа, нефтепродуктов, фосфатов, термотолерантных колиформных бактерий (ТКБ) [4].

Загрязнение нефтепродуктами рек Омской и Тюменской областей, Ханты-Мансийского и Ямало-Ненецкого автономных округов связано с близостью месторождений и трубопроводов углеводородного сырья [5].

Проведенный нами анализ состояния рек России на основе государственных докладов Министерств природных ресурсов и экологии Российской Федерации [6] показал ежегодный рост загрязняющих веществ в водных объектах. Экспериментальные исследования показателей качества реки Кубань в черте города Краснодара в 2018 году выявили превышение по ПДК нефтепродуктов, БПК₅, железа, фосфатов, ТКБ, общих колиформных бактерий (ОКБ) и колифагов [7].

Цель данной работы – определение показателей качества реки Кубань вдоль побережья города Краснодара на основе количественного химического и микробиологического анализов.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

Анализы проб воды выполнены с 2018 г. по 2022 г. в аккредитованной в национальной системе аккредитации аналитической лаборатории ООО «Аналитическая лаборатория Кубани» (г. Краснодар) при использовании методик и методов контроля выполнения измерений по утвержденным РФ методикам по 14 показателям загрязняющих веществ: хлориды РД 52.24.361-2008; азот нитритный РД 52.24.381-2006; азот нитратный РД 52.24.528-2012; ионы аммония ПНД Ф 14.1:2:4.262-10; БПК₅ РД 52.24.420-2006; ХПК ПНД Ф 14.1:2:3.100-97; железо общее РД 52.24.358-2006; нефтепродукты РД 52.24.476-2007; фосфаты РД 52.24.382-2006; сульфаты РД 52.24.405-2005; взвешенные вещества ПНД Ф 14.1:2:4.254-09; ОКБ МУК 4.2.1884-04; ТКБ МУК 4.2.1884-04; колифаги МУК 4.2.1884-04.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Карта исследований мест отбора проб (рисунк 1), методика отбора проб воды и характеристика методов анализа приведены нами в работе [7]. Вдоль побережья реки Кубань в черте г. Краснодара выбрано 10 точек по направлению течения реки: 1 – вход в г. Краснодар; 2 – поселок Прикубанский, 3 – поселки Козет и Новый; 4 – после нефтеперерабатывающего завода АО «КНПЗ-КЭН» (Краснодарский нефтеперерабатывающий завод – Краснодарэконейфть); 5 – 500 метров выше по течению от стока в реку Кубань; 6 – сток в реку Кубань в районе Тургеневского моста; 7 – 500 метров после стока; 8, 9 – дачные участки и аул Старобжегокай; 10 – выход из города.

В таблицах 1 и 2 приведены результаты количественного химического и микробиологического анализов за 2022 г. На рисунке 2 приведены показатели загрязняющих веществ с 2018 г. по 2022 г.

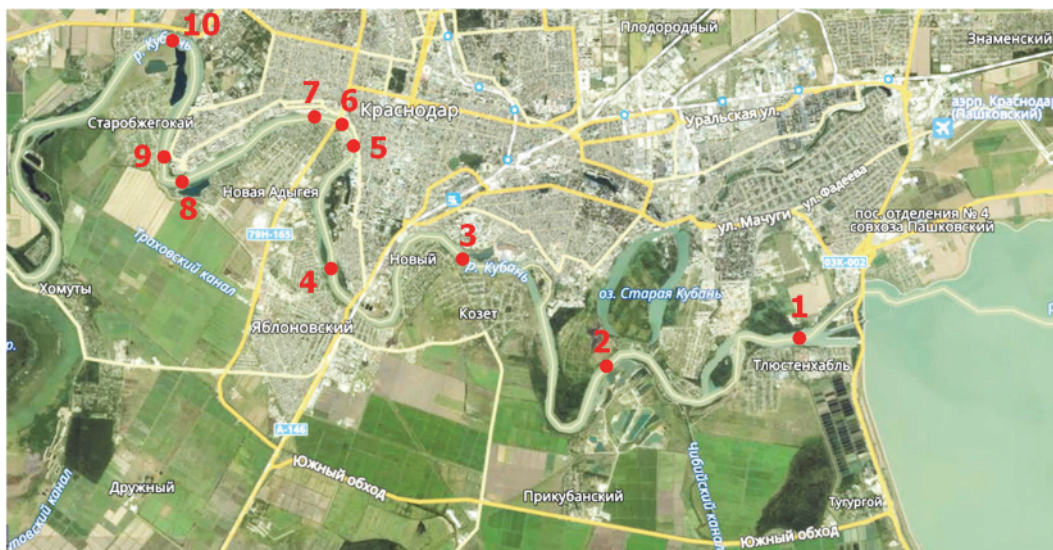


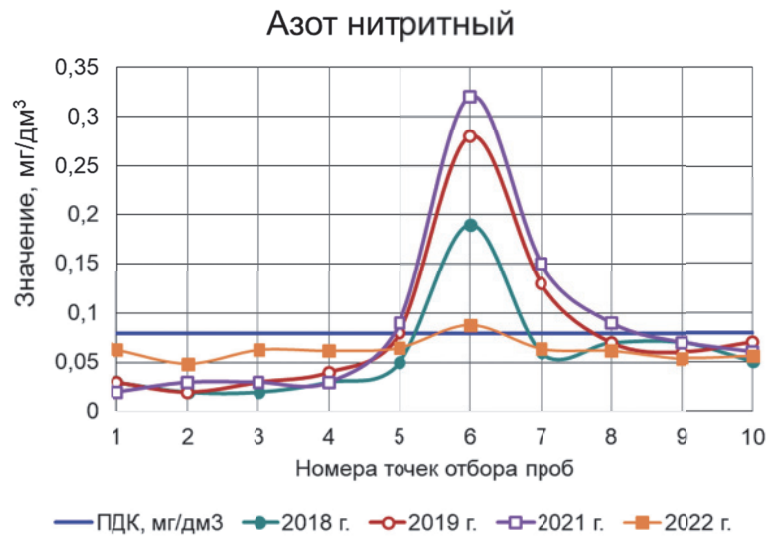
Рис. 1. Карта отбора проб [7]

Таблица 1 – Количественный химический анализ (2022 г.)

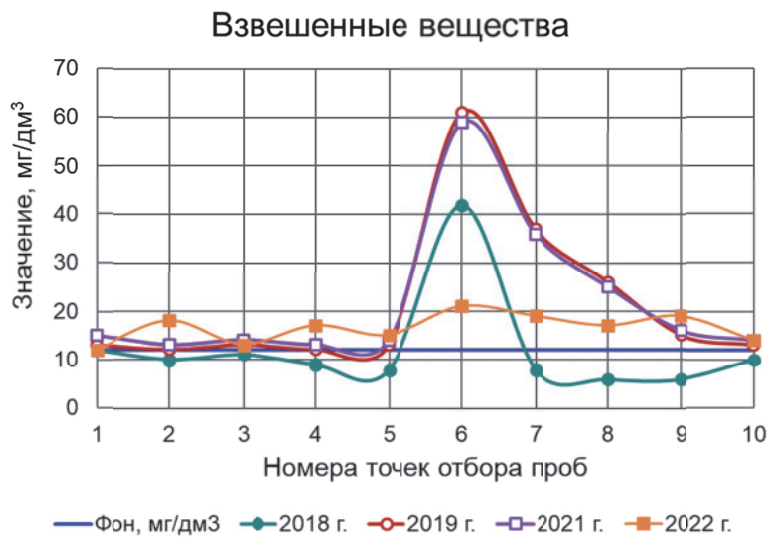
Показатель	Единица измерения	Результат исследований ± погрешность (расширенная неопределенность), P=0,95										
		ПДК	точка №1	точка №2	точка №3	точка №4	точка №5	точка №6	точка №7	точка №8	точка №9	точка №10
Хлориды	мг/дм ³	300	16±2	15±2	18±2	15±2	31±4	52±7	28±4	18±2	15±2	16±2
Аммоний-ион	мг/дм ³	0,5	0,66±0,20	0,60±0,19	0,69±0,21	0,62±0,19	0,86±0,26	1,8±0,5	0,71±0,21	0,68±0,20	0,52±0,16	0,54±0,16
Азот нитритный	мг/дм ³	0,08	0,063±0,013	0,049±0,010	0,063±0,013	0,062±0,012	0,065±0,013	0,088±0,018	0,064±0,013	0,062±0,012	0,054±0,011	0,056±0,011
Азот нитратный	мг/дм ³	9	1,43±0,26	1,46±0,26	1,41±0,25	1,65±0,30	1,58±0,28	2,2±0,7	2,03±0,37	1,92±0,35	1,39±0,25	2,6±0,5
Биохимическое потребление кислорода (БПК ₅)	мгО ₂ /дм ³	2	1,4±0,5	2,0±0,8	1,2±0,5	1,4±0,5	3,9±0,6	111±14	69±9	40±4	32±4	18±2
Химическое потребление кислорода (ХПК)	мгО ₂ /дм ³	30	9,4±2,8	10,4±2,1	13,5±2,7	9,4±2,8	36±7	158±24	81±17	34±6	13,5±2,7	8,8±2,6
Железо общее	мг/дм ³	0,1	0,75±0,11	0,41±0,10	0,59±0,09	0,71±0,11	0,65±0,10	0,45±0,11	0,49±0,12	0,50±0,12	0,52±0,08	0,52±0,08
Нефтепродукты	мг/дм ³	0,05	0,19±0,06	0,22±0,07	0,16±0,05	0,075±0,031	0,21±0,07	0,16±0,05	0,13±0,04	0,051±0,021	менее 0,05	менее 0,05
Фосфаты	мг/дм ³	0,05	0,133±0,021	0,116±0,019	0,138±0,022	0,166±0,027	0,216±0,035	0,36±0,06	0,205±0,033	0,183±0,029	0,130±0,021	0,180±0,029
Сульфаты	мг/дм ³	100	42±8	40±8	39±8	51±8	40±8	52±8	47±9	36±7	35±7	43±9
Взвешенные вещества	мг/дм ³	не более 0,75 к фону	12±1	18±2	13±2	17±2	15±2	21±3	19±2	17±2	19±2	14±2

Таблица 2 – Микробиологический анализ (2022 г.)

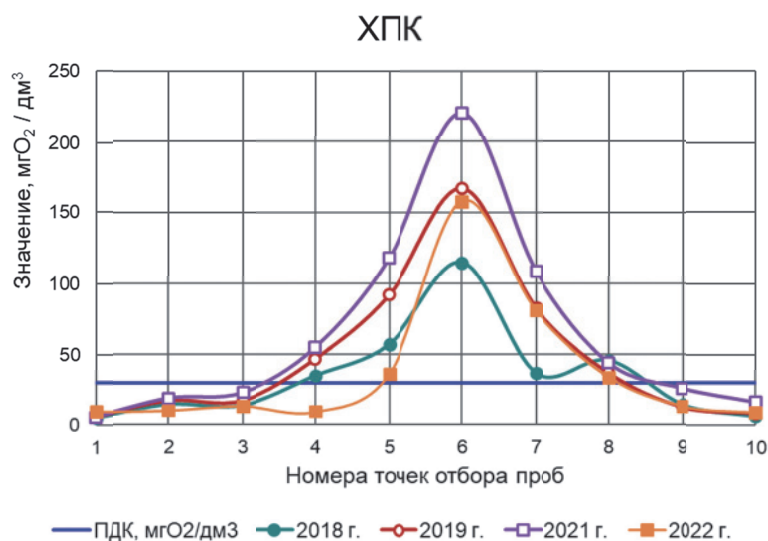
Показатель	Единица измерения	Результат исследований										
		ПДК, не более	точка №1	точка №2	точка №3	точка №4	точка №5	точка №6	точка №7	точка №8	точка №9	точка №10
Общие колиформные бактерии (ОКБ)	КОЕ/100 мл	1000	60	90	270	120	7,3·10 ⁵	1,4·10 ⁷	4,6·10 ⁵	9,0·10 ⁴	210	350
Термотолерантные колиформные бактерии (ТКБ)	КОЕ/100 мл	100	50	70	220	90	4,4·10 ⁵	9,9·10 ⁶	3,8·10 ⁵	6,8·10 ⁴	180	290
Колифаги	БОЕ/100 мл	10	не обнаружены	не обнаружены	не обнаружены	не обнаружены	48	9300	480	32	не обнаружены	5



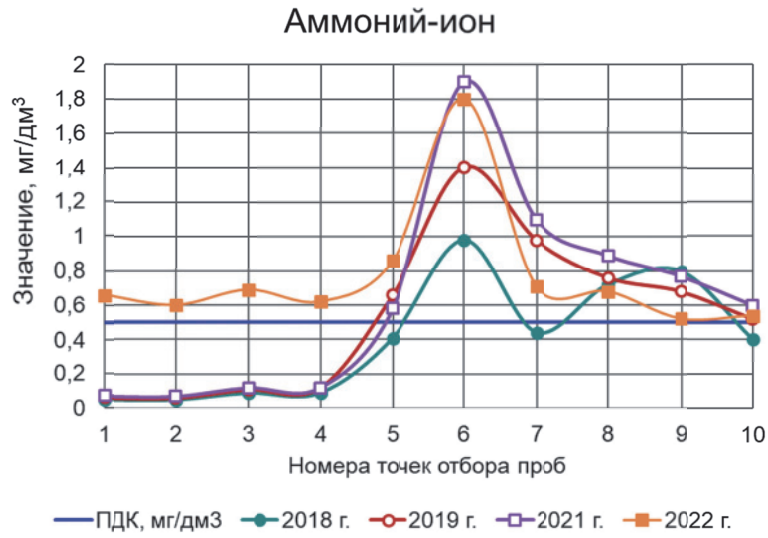
а)



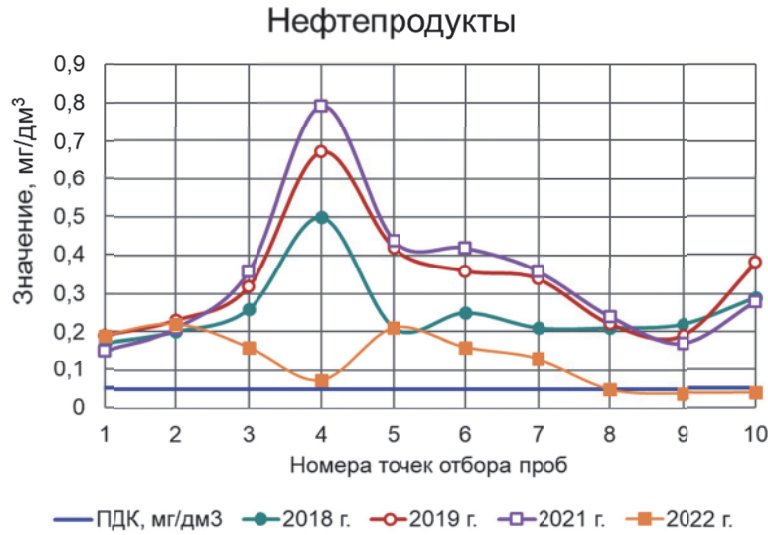
б)



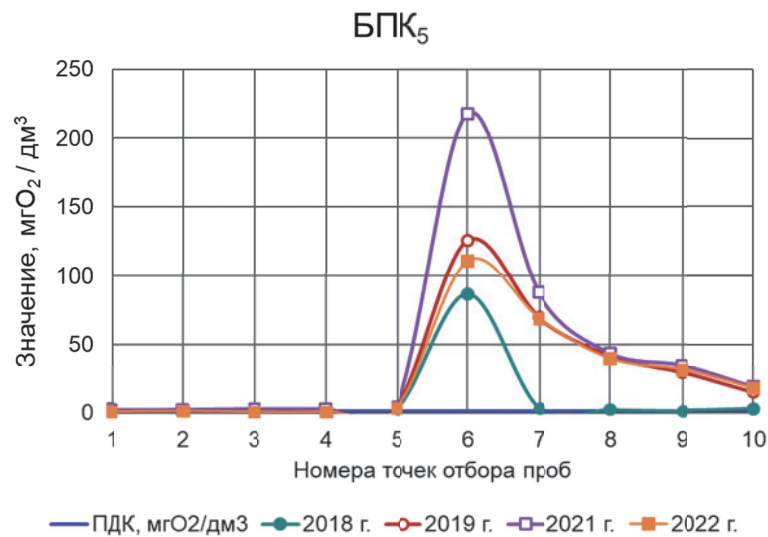
в)



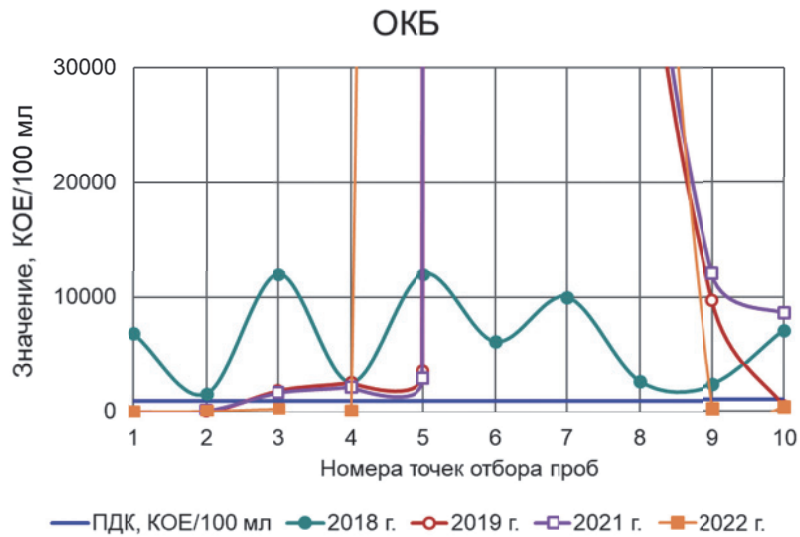
г)



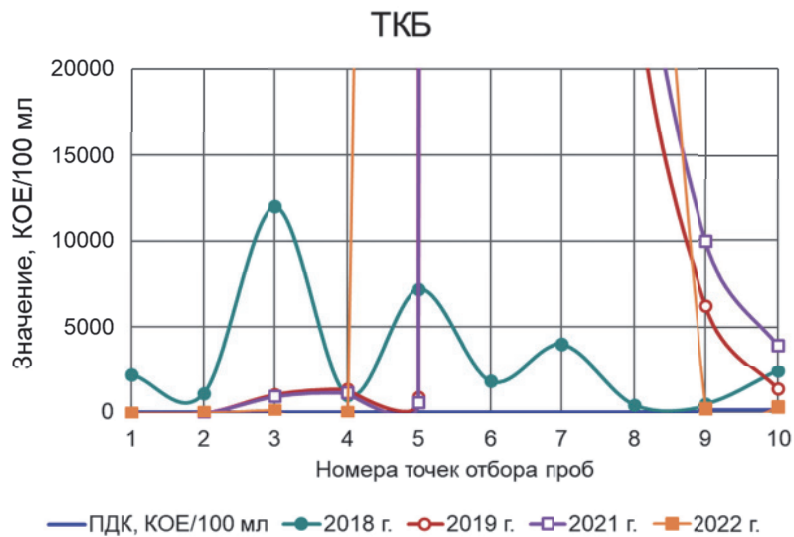
д)



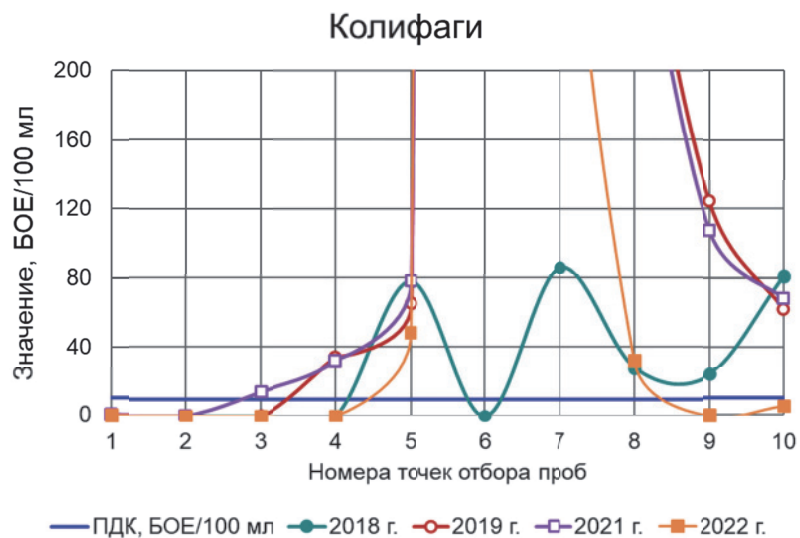
е)



ж)



з)



и)

Рис. 2. Содержание загрязняющих веществ вдоль побережья реки Кубань в черте города Краснодара с 2018 г. по 2022 г.

Если оценивать показатели загрязняющих веществ на входе и выходе из г. Краснодара, то за наблюдаемый период с 2018 г. по 2022 г. на прежнем уровне сохранились показатели по хлоридам, взвешенным веществам и ХПК. Не превышают ПДК, но выросли показатели по азоту нитритному и азоту нитратному. Значительно выросли и превышают ПДК такие показатели как аммоний ион (в 10 раз), БПК₅ (в 1,5–6 раз), нефтепродукты (в 1,8 раза), сульфаты (в 1,5 раза), железо общее (в 1,2–1,4 раз). Превышены показатели ОКБ, ТКБ и колифаги, что свидетельствует о загрязнении воды патогенными микроорганизмами и связано с постоянным сбросом канализационных стоков. Некоторый спад микробиологических показателей выявлен в 2022 г. Наличие нефтепродуктов связано с расположением нефтеперерабатывающего завода на побережье р. Кубань около Яблоновского моста, соединяющего г. Краснодар и Р. Адыгею. Загрязнение реки ОКБ, ТКБ и колифагами вызвано расположением вдоль побережья многоэтажных жилищных комплексов и селитебных территорий поселкового типа, в которых очистные сооружения находятся в неудовлетворительном состоянии.

Основное загрязнение по микробиологии вносит сток со стороны г. Краснодара около Тургеневского моста (точка № 6) [7]. В районе стока на Кубанской набережной стоит не выветривающийся сильный запах канализации.

Одним из загрязняющих веществ являются ионы аммония, наличие которых в сточных водах в концентрациях, значительно превышающих ПДК, характеризует загрязнение бытовыми сточными водами. Нами разработан сорбент из золошлаковых отходов (ЗШО) предприятий теплоэнергетики, полученный путем высушивания ЗШО и прокаливания при 600 °С в течение 30 мин. Проведенные эксперимен-

тальные исследования прокаленного сорбента по извлечению ионов аммония из модельных водных растворов [8] и сточных вод, отобранных из стока около Тургеневского моста [9], показали способность сорбента к адсорбции загрязняющего вещества.

На рисунке 3 приведено влияние начальной концентрации ионов аммония в модельном растворе C_0 на эффективность их извлечения E из раствора. Были приготовлены 3 серии водных растворов с содержанием ионов аммония 5, 20, 50 и 100 мг/дм³ и проведена статическая сорбция при дозах сорбента 1, 2 и 5 г на 50 см³ раствора. Продолжительность сорбции составляла 180 мин, частота вращения магнитной мешалки 200 об/мин, температура 25±2 °С, рН 7. Методика проведения экспериментальных исследований и параметры сорбции при дозе прокаленного сорбента 1 г изложены нами в работе [8]. Выявлено, что с ростом C_0 значение E возрастает при малых концентрациях ионов аммония в растворе, затем снижается. Повышение дозы сорбента приводит к росту E . Максимум эффективности извлечения располагается при $C_0 = 20$ мг/дм³.

Данная закономерность получена также в работах зарубежных авторов [10, 11], где приведены исследования при малых концентрациях ионов аммония в растворе.

Для проверки эффективности извлечения ионов аммония из реальных сточных вод были отобраны пробы из стока, расположенного около Тургеневского моста и проведена статическая сорбция при дозах сорбента 0,5, 1, 2, 3 и 5 г на 50 см³ раствора. Параметры статических условий приняты такими же, как и для модельных смесей. Продолжительность сорбции составляла 180 мин, частота вращения магнитной мешалки 200 об/мин, температура 25±2 °С, рН 7. Концентрация ионов аммония в стоке составила 21 мг/дм³. На рисунке 4 приведены кривые сравнения эффек-

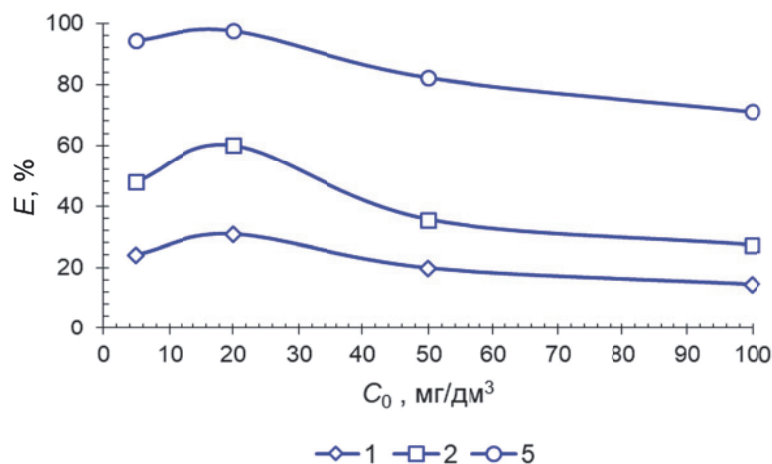


Рис. 3. Зависимость эффективности извлечения ионов аммония из модельных смесей от начальной концентрации ионов аммония в растворе, мг/дм³ (цифрами приведена доза сорбента в г на 50 см³ раствора)

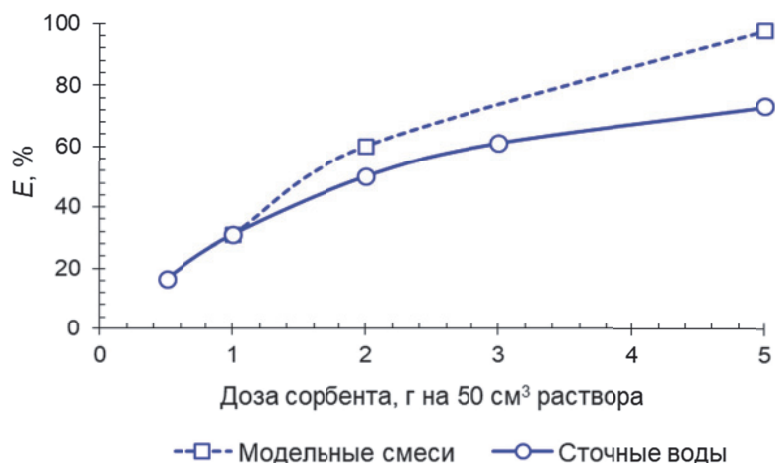


Рис. 4. Зависимость эффективности извлечения ионов аммония от дозы сорбента

тивности извлечения ионов аммония в зависимости от дозы сорбента для модельных смесей и реальной сточной воды. Кривая модельных смесей приведена при начальной концентрации ионов аммония в растворе 20 мг/дм³. Снижение эффективности извлечения ионов аммония для реальной сточной воды с ростом дозы сорбента свидетельствует о влиянии различных загрязняющих веществ на сорбцию ионов аммония прокаленным сорбентом. Чем меньше доза сорбента, тем это влияние слабее, что можно объяснить снижением взаимодействия (столкновений) между ионами аммония и частицами сорбента при статической сорбции.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенные экспериментальные исследования с 2018 г. по 2022 г. показателей качества воды р. Кубань выявили антропогенное влияние прибрежных предприятий и жилищных комплексов на водный объект. Повышенное значение ОКБ, ТКБ и колифагов связано с неудовлетворительной очисткой ливневых и бытовых сточных вод. Очистные сооружения не справляются с возросшей нагрузкой и подлежат модернизации, либо полной реконструкции. Проведенные исследования по извлечению ионов аммония из модельных смесей и реальных сточных вод показали применимость сорбента, полученного прокаливанием золошлаковых отходов предприятий теплоэнергетики.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Родионов, В.З. Влияние антропогенной деятельности на экологическое состояние рек Ленинградской области / В.З. Родионов, А.М. Дрегуло, А.В. Кудрявцев // Вода и экология: проблемы и решения. – 2019. – № 4 (80). – С. 96–108. doi: 10.23968/2305-3488.2019.24.4.96-108
2. Петров, Д.С. Оценка экологического состояния малых водотоков Санкт-Петербурга по показателям зообентоса в 2019–2021 гг. / Д.С. Петров,

- А.М. Якушева // Вестник Санкт-Петербургского университета. Науки о Земле. – 2022. № 67 (3). – С. 529–544. <https://doi.org/10.21638/spbu07.2022.308>
3. Бугреева, М.Н. Особенности загрязнения гидросферы промышленными и бытовыми стоками / М.Н. Бугреева, А.Е. Спиридонов, Т.Ю. Минакова // Вестн. Воронеж. ун-та. Геология. – 2003. – № 2. – С. 218–224.
4. Цыганов, А.А. Загрязнение поверхностных вод города Твери / А.А. Цыганов // Вестник ТвГУ. Серия «География и Геоэкология». – 2019. – № 1 (25). – С. 14–22.
5. Мезенцева, О.В. Загрязнение западносибирских рек нефтепродуктами за период 2000–2017 гг. / О.В. Мезенцева, Н.П. Волковская, В.П. Захарова, В.В. Гурьянова // Успехи современного естествознания. – 2018. – № 12. – С. 175–181.
6. Короткова, Т.Г. Анализ состояния рек России / Т.Г. Короткова, А.М. Заколюкина // Научные труды КубГТУ. – 2018. – № 11. – С. 49–60.
7. Короткова, Т.Г. Анализ состояния реки Кубань в черте города Краснодара на основе частного отбора проб поверхностных природных вод / Т.Г. Короткова, А.М. Заколюкина, С.А. Бушумов // Успехи современного естествознания. – 2019. – № 3. – С. 62–69.
8. Короткова, Т.Г. Исследование адсорбционного равновесия в системе ионы аммония–прокаленный сорбент из золошлаковых отходов теплоэнергетики / Т.Г. Короткова, А.М. Заколюкина, С.А. Бушумов // Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология. 2023. Т. 13. № 2. С. 291–303. DOI:<https://doi.org/10.21285/2227-2925-2023-13-2-291-303>.
9. Короткова, Т.Г. Применение прокаленного сорбента из золошлаковых отходов предприятий теплоэнергетики для очистки сточных вод / Т.Г. Короткова, А.М. Заколюкина, В.И. Демин // Химия в интересах устойчивого развития. – 2024. – Т. 32. – № 2. – С. 248–254. – DOI: 10.15372/KhUR2024554 EDN: RNVCKR.
10. Runtti, H., Sundhararasu, E., Pesonen, J., Tuomikoski, S., Hu, T., Lassi, U., Kangas, T. Removal of Ammonium Ions from Aqueous Solutions Using Alkali-Activated Alcalcime as Sorbent. ChemEngineering 2023, 7, 5. <https://doi.org/10.3390/chemengineering7010005>.
11. Zhao, Y., Luan, H., Yang, B., Li, Z., Song, M., Li, B., Tang, X. Adsorption of Low-Concentration Ammonia Nitrogen from Water on Alkali-Modified Coal Fly Ash: Characterization and Mechanism. Water 2023, 15, 956. <https://doi.org/10.3390/w15050956>.

WATER QUALITY INDICATORS ALONG THE COAST OF THE KUBAN RIVER IN THE CITY OF KRASNODAR

© 2024 T.G. Korotkova, A.M. Zakolyukina, S.A. Bushumov

Kuban State Technological University, Krasnodar, Russia

The article presents the results of analyzes of water samples along the coast of the Kuban River in the city of Krasnodar over a four-year period from 2018 to 2022. The assessment was carried out based on 14 water quality indicators: chlorides, nitrite nitrogen, nitrate nitrogen, ammonium ions, BOD₅, COD, total iron, petroleum products, phosphates, sulfates, suspended substances, CCB, TCB, coliphages. Based on quantitative chemical and microbiological analyses, an excess was detected at the entrance to the city for BOD₅, petroleum products, iron and at the exit from the city for BOD₅, petroleum products, sulfates, iron, ammonium ion. The river was found to be polluted by CCB, TCB and coliphages. This is caused by the along the coast of multi-storey housing complexes and residential areas of the village type, in which local treatment facilities cannot cope with the multiply increased runoff due to the growth of the population in the housing complexes being put into operation. The main microbiological pollution comes from runoff from Krasnodar in the area of the Turgenevsky Bridge. Research is presented on the efficiency of extracting ammonium ions from model and real mixtures using a sorbent obtained by drying and calcining ash and slag waste from thermal power industry enterprises.

Keywords: water body quality indicators, Kuban River, anthropogenic impact, sorbent, ash-and-slag waste.

DOI: 10.37313/1990-5378-2024-26-4-177-185

EDN: GAIKZR

REFERENCES

1. *Rodionov, V.Z.* Vliyaniye antropogennoj deyatel'nosti na ekologicheskoe sostoyaniye rek Leningradskoj oblasti / V.Z. Rodionov, A.M. Dregulo, A.V. Kudryavcev // Voda i ekologiya: problemy i resheniya. – 2019. – № 4 (80). – S. 96–108. doi: 10.23968/2305-3488.2019.24.4.96-108
2. *Petrov, D.S.* Ocenka ekologicheskogo sostoyaniya malyh vodotokov Sankt-Peterburga po pokazatelyam zoobentosa v 2019–2021 gg. / D.S. Petrov, A.M. Yakusheva // Vestnik Sankt-Peterburgskogo universiteta. Nauki o Zemle. – 2022. № 67 (3). – S. 529–544. <https://doi.org/10.21638/spbu07.2022.308>
3. *Bugreeva, M.N.* Osobennosti zagryazneniya gidrosfery promyshlennymi i bytovymi stokami / M.N. Bugreeva, A.E. Spiridonov, T.YU. Minakova // Vestn. Voronezh. un-ta. Geologiya. – 2003. – № 2. – S. 218–224.
4. *Cyganov, A.A.* Zagryaznenie poverhnostnyh vod goroda Tveri / A.A. Cyganov // Vestnik TvGU. Seriya «Geografiya i Geoekologiya». – 2019. – № 1 (25). – S. 14–22.
5. *Mezenceva, O.V.* Zagryaznenie zapadnosibirskih rek nefteproduktami za period 2000–2017 gg. / O.V. Mezenceva, N.P. Volkovskaya, V.P. Zaharova, V.V. Gur'yanova // Uspekhi sovremen-nogo estestvoznaniya. – 2018. – № 12. – S. 175–181.
6. *Korotkova, T.G.* Analiz sostoyaniya rek Rossii / T.G. Korotkova, A.M. Zakolyukina // Nauchnye trudy KubGTU. – 2018. – № 11. – S. 49–60.
7. *Korotkova, T.G.* Analiz sostoyaniya reki Kuban' v cherte goroda Krasnodara na osnove chastnogo otbora prob poverhnostnyh prirodnyh vod / T.G. Korotkova, A.M. Zakolyukina, S.A. Bushumov // Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya. – 2019. – № 3. – S. 62–69.
8. *Korotkova, T.G.* Issledovanie adsorbcionnogo ravnovesiya v sisteme iony ammoniya–prokalennyj sorbent iz zoloshlakovyh othodov teploenergetiki / T.G. Korotkova, A.M. Zakolyukina, S.A. Bushumov // Izvestiya vuzov. Prikladnaya himiya i biotekhnologiya. – 2023. – T. 13. – № 2. – S. 291–303. – DOI: <https://doi.org/10.21285/2227-2925-2023-13-2-291-303>.
9. *Korotkova, T.G.* Primenenie prokalennogo sorbenta iz zoloshlakovyh othodov predpriyatij teploenergetiki dlya ochistki stochnyh vod / T.G. Korotkova, A.M. Zakolyukina, V.I. Demin // Himiya v interesah ustojchivogo razvitiya. – 2024. – T. 32. – № 2. – S. 248–254 DOI: 10.15372/KhUR2024554 EDN: RNVCKR.
10. *Runtti, H., Sundhararasu, E., Pesonen, J., Tuomikoski, S., Hu, T., Lassi, U., Kangas, T.* Removal of Ammonium Ions from Aqueous Solutions Using Alkali-Activated Analcime as Sorbent. *ChemEngineering* 2023, 7, 5. <https://doi.org/10.3390/chemengineering7010005>.
11. *Zhao, Y., Luan, H., Yang, B., Li, Z., Song, M., Li, B., Tang, X.* Adsorption of Low-Concentration Ammonia Nitrogen from Water on Alkali-Modified Coal Fly Ash: Characterization and Mechanism. *Water* 2023, 15, 956. <https://doi.org/10.3390/w15050956>.

Tatyana Korotkova, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Professor of the Department of Life Safety.

E-mail: korotkova1964@mail.ru

Alina Zakolyukina, Junior Researcher at the Department of Life Safety. E-mail: zakolyukina_am@mail.ru

Svyatoslav Bushumov, Junior Researcher at the Department of Life Safety. E-mail: bushumov@list.ru