

ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ

DOI: <https://doi.org/10.18599/grs.2021.4.1>

УДК

Оценка экологического состояния поверхностных вод Казани

А.М. Шакирзянов^{1}, Д.И. Петрова², О.А. Софинская²*¹Министерство экологии и природных ресурсов Республики Татарстан, Казань, Россия²Казанский (Приволжский) федеральный университет, Казань, Россия

Изучение влияния техногенеза на состояние поверхностных вод на урбанизированных территориях является одной из наиболее актуальных эколого-социальных задач. Низкое качество вод поверхностной гидросферы представляет угрозу здоровью городского населения и снижает благоприятность окружающей среды. Для обработки и анализа гидрохимических показателей поверхностных водоемов Казани за период наблюдений 2014–2020 гг. использованы общепринятые статистические показатели и методы многомерной статистики. Построение гидрохимических моделей осуществлялось с помощью программного пакета «ArcGisMap». Кластерный анализ проводился раздельно для каждого гидрологического сезона с выделением 6 групп гидрохимических компонентов относительно предельно допустимых показателей. Выявлено, что минимум техногенной нагрузки на поверхностные воды города приходится на весенний период. На основе анализа полученных результатов проведена эколого-гидрологическая оценка состояния поверхностных вод и районирование городской территории. Показано, что водные объекты Казани относятся к неблагоприятным водным объектам.

Ключевые слова: поверхностные воды, гидрохимия, кластерный анализ, ГИС, техногенез, мониторинг, Казань

Для цитирования: Шакирзянов А.М., Петрова Д.И., Софинская О.А. (2021). Оценка экологического состояния поверхностных вод Казани. *Георесурсы*, 23(4), с. 70–75. DOI: <https://doi.org/10.18599/grs.2021.4.1>

Введение

В связи с ростом городов и концентрацией населения на относительно небольшой территории в последнее время приобрели актуальность гидрологические и гидрогеологические исследования, связанные с изучением и оценкой техногенных факторов изменения состава гидросферы на промышленно-урбанизированных территориях и исследованием трансформации природной гидрооболочки в природно-техногенную и техногенную (Сунгатуллин, 2010; Сунгатуллин, Хазиев, 2009). Промышленная и транспортная деятельность (Никитин, 2011), сброс городских сточных вод (Шагидуллин, 2011) приводят к загрязнению урбозоосистемы в целом. Организация Объединенных Наций четко подчеркивает задачу: «к 2030 году улучшить качество воды за счет уменьшения загрязнения, устранения сбросов и сведение к минимуму выбросов опасных химикатов и материалов, сокращение вдвое доли необработанных сточных вод и значительного увеличения объемов рециркуляции и безопасного повторного использования во всем мире» (United Nation, 2017). Изучение химического состава поверхностных вод, позволяет оценить последствия человеческой деятельности на поверхностную гидросферу (Кондратьева 2013в; Маслов 2015).

Город Казань расположен на левобережье р. Волга (Куйбышевское водохранилище). В границах города выделяются 2 зоны по гипсометрии рельефа. Первая геоморфологическая зона представляет собой террасированную аккумулятивную волнистую равнину с абсолютными отметками 53–130 м, которая занимает

большую часть территории города на побережье Волги, Казанки и в пределах озерных котловин. Минимальные абсолютные отметки (53–56 м) приурочены к урезам рек Волга и Казанка (рис. 1). Вторая зона характеризуется абсолютными отметками до 180–196 м и представлена всхолмленной платообразной эрозионно-денудационной низкой равниной с густой сетью оврагов и балок.

Площадь Казани составляет 614,16 км², из которых 72,25 км² (8,5 %) приходится на поверхностные водоемы (реки, озера, болота). Река Казанка (левый приток р. Волга) имеет притоки: Солонка, Сухая Река, Киндерка, Нокса. К крупнейшему поверхностному водоему относится система озер Кабан, которая состоит из трех котловин: Нижний Кабан, Средний Кабан и Верхний Кабан. В настоящее время более 80 % водоснабжения г. Казань осуществляется из поверхностного источника – Волжского водозабора на берегу Куйбышевского водохранилища.

В годовом цикле колебания уровня поверхностных вод, гидравлически связанных с Куйбышевским водохранилищем, выделяется три периода, которые связаны с весенним наполнением, летне-осенним относительно стабильным положением и осенне-зимней сработкой водохранилища. Средняя продолжительность этапа весеннего наполнения 66–72 суток (в среднем – с 10 апреля по 15 июня). Средняя интенсивность роста уровня в период наполнения 16–19 см/сут., среднее повышение к концу периода – 4,9–5,6 м. Для периода летне-осенней стабилизации Куйбышевского водохранилища, продолжительностью 123 суток (с 15 июня по 15 ноября), характерно незначительное изменение уровня. К концу периода уровень обычно понижается в среднем на 0,6 м, в отдельные годы на 1,3–1,8 м. При осенне-зимней сработке уровень понижается на 4–5 м, реже до 6,8 м за 176–177 суток. Годовая амплитуда изме-

* Ответственный автор: Артур Марсельевич Шакирзянов
e-mail: artur.shakirzyanov@tatar.ru

© 2021 Коллектив авторов

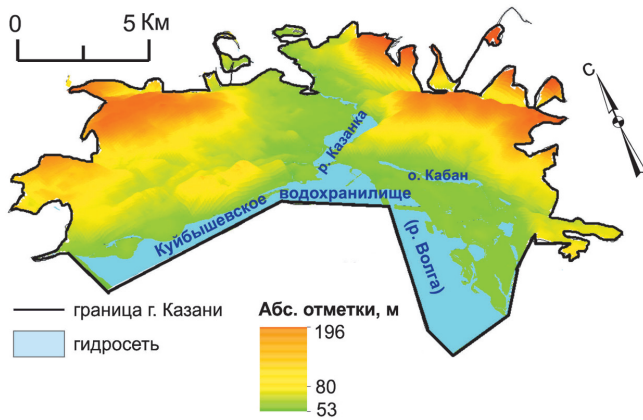


Рис. 1. Рельеф города Казани

нения уровня Куйбышевского водохранилища в среднем составляет около 6 м.

Загрязнения, поступающие в поверхностные водные объекты, связаны с разными природными причинами для определенных гидрологических циклов. Так, в период ледостава за загрязнения поверхностных вод преимущественно отвечают подземные воды; в весеннее половодье – это твердые атмосферные осадки, накапливающие загрязнители за зимние месяцы; в летне-осенний период – загрязнения, связанные с дождевыми водами, попадающими в водосборный бассейн, и, частично, разгрузка подземных вод. Кроме того, на промышленно-урбанизированных территориях важным фактором является антропогенная и техногенная деятельность в течение всего года.

Цель работы – характеристика состояния поверхностных вод г. Казани за период с 2014 по 2020 гг. с использованием методов комплексного оценочного районирования водных экосистем, многомерного статистического моделирования и ГИС-технологий.

Характеристика объекта и методы исследования

Авторами из геологических отчетов и архивных материалов собраны результаты 450 зимних (ледостав), 239 весенних и 849 летне-осенних серий химических анализов поверхностных вод (водохранилище, реки, озера, болота), выполненных в период с 2014 по 2020 гг. Анализы выполнялись по стандартным методикам в рамках программы мониторинга, осуществляемого Министерством экологии и природных ресурсов Республики Татарстан. Анализировались данные по тяжелым металлам (Cd, Pb, Co, Cu, Ni, Cr, Zn, Mn), фенолам, нефтепродуктам, содержанию растворенного кислорода, бихроматной окисляемости (ХПК), неорганическим соединениям азота (ионы аммония, нитрат-ион, нитрит-ион), фосфат-иону, хлоридам, сульфатам, взвешенным веществам.

Статистическая обработка аналитических данных проводилась с помощью программ MS Excel и STATISTICA. При обработке результатов гидрохимических анализов использовались методы базовой и многомерной статистики. Данные были разбиты на три базы согласно гидрографу, характерному для рек Татарстана, гидравлически связанных с Куйбышевским водохранилищем большую часть года: ледостав – зимняя сработка, половодье и паводок – весеннее наполнение, летне-осенняя межень – стабильный уровень. В статистических расчетах участвовали

только те показатели, которые содержали не более 20 % пропусков в базе данных. Перед расчетами производилось восстановление пропусков в данных: средними, если компонент обязателен для состава воды, и нулями, если компонент являлся загрязнителем. По критериям отсутствия превышений предельно допустимых концентраций (ПДК) осуществлялся выбор начальных точек группировки данных.

Кластерный анализ относится к методам многомерной статистики и выделяет на основе множества переменных компонентов гидрохимического анализа классы (кластеры) параметров, которые более сходны по сравнению с объектами, входящими в другие классы. Кластеризация данных проводилась в три этапа. На первом этапе данные ранжировали относительно начальной точки по евклидовым расстояниям и производили группировку с условием формирования до 40 классов; вычислялись средние значения показателей загрязнения для каждого класса. На втором этапе применялся агломеративный иерархический подход классификации методом дальнего соседа (с группировкой не более 7 классов), а также были определены общие качественные характеристики членов каждого класса по отношению к ПДК; снова вычислялись средние значения показателей загрязнения для каждого класса. Процесс кластеризации воспроизводился несколько раз для обнаружения устойчивых групп данных. На третьем этапе проводили построение графика евклидовых расстояний от выбранной начальной точки до каждого из полученных классов. Таким образом, большое число рассматриваемых параметров качества воды было выражено через меньшее число емких характеристик, удобное для визуального восприятия пространственной модели распределения показателей качества поверхностных вод Казани.

Для построения карт-моделей пространственной изменчивости показателей качества поверхностных вод г. Казань применялся программный пакет «ArcGisMap», который предоставляет широкий выбор различных методов интерполяции данных.

Результаты исследования и их обсуждение

В связи с низкой способностью к самоочищению, поверхностные воды подвержены существенному антропогенному и техногенному воздействию. Например, превышения ПДК в поверхностных водах Казани за исследованный период (2014–2020 гг.) фиксируются по ХПК и фенолам.

Значения ХПК в незагрязненных водоемах составляет 2–10 мгО₂/дм³, в слабозагрязненных – 10–30 мгО₂/дм³, в сильнозагрязненных – от 60 мгО₂/дм³ и выше (СанПиН 2.1.5.980-00). Пространственное распределение ХПК поверхностных вод для 3-х гидрологических циклов представлено на рисунке 2. Средние значения ХПК на всей исследуемой территории увеличивается от зимнего (26,6 мгО₂/дм³) к летне-осеннему периодам (39 мгО₂/дм³). Повышенные (более 60 мгО₂/дм³) значения ХПК зафиксированы в озере Верхний Кабан в зимний период. Стоит отметить, что озеро не соединено протоками со Средним и Нижним Кабаном и изолировано от промышленного техногенного воздействия. Противоречия показателей ХПК «техногенных озер» – Нижний и Средний Кабан,

где значения меньше по сравнению с озером Верхний Кабан, свидетельствуют о положительном результате природоохранных мероприятий на берегах озера в 2010 г., когда была осуществлена вырубка значительной полосы высшей водной растительности. Для р. Казанка в разные циклы отмечается широкая вариабельность значений ХПК (рис. 2).

Статистическая обработка результатов анализов поверхностных вод г. Казань выявила компоненты с превышениями ПДК. Так, более половины зимних проб

имеют превышения по аммонии, сульфатам, фенолам; в весенних и летне-осенних пробах содержатся повышенные значения сульфатов и фенолов. Особое внимание стоит уделить содержаниям фенолов (4 класс опасности) в поверхностных водах Казани, превышающих ПДК (0,001 мг/дм³). В весенний период (после снеготаяния) содержания фенолов превышают ПДК в 5 раз, в летне-осенний и зимний периоды – в 2 раза. Отмечены превышения ПДК (в 10 раз и более) для значений ХПК.

Для оценки степени загрязнения поверхностных вод в пределах городской черты проанализированы пробы поверхностных вод с наиболее благополучными с точки зрения качества воды объектами (фоновые территории) – это озера Ковалинское и Архиерейское в Лаишевском районе (таблица). Критический уровень загрязнения отмечен в системе озер Кабан и в старом русле р. Казанка.

Стоит отметить положительную тенденцию изменения гидрохимического состава озер Средний и Нижний Кабан в последние 8 лет. В 2013 г. было зафиксировано превышение ПДК в 2 раза по фенолам, нефтепродуктам и тяжелым металлом (Кондратьева, 2013а, б). В настоящее время превышение ПДК по фенолам зафиксировано в летне-осенний период и составляет 1,4 ПДК, а превышения по нефтепродуктам и тяжелым металлам не обнаружены.

Результаты анализов поверхностных вод разделены с помощью кластерного метода на 6 групп по гидрохимическим показателям относительно ПДК (рис. 3). К нулевой группе (центр диаграммы на рисунке 3) отнесены воды с показателями без превышений ПДК – эталонная группа. 1 группа включает воды с незначительными превышениями ПДК по аммонии, сульфатам; 2 группа объединяет воды с биогенным загрязнением (высокие значения ХПК); 3 группа – это воды с загрязнением по аммонии и фосфатам; 4 группа состоит из вод, загрязненных соединениями азота; 5 группа включает воды с превышениями ПДК по большинству компонентов, а 6 группа – это воды с высоким содержанием тяжелых металлов и фенолов (техногенное загрязнение).

Проведенная кластеризация гидрохимических данных с распределением по гидрологическим циклам позволила установить (рис. 4), что внутригодовые изменения со-

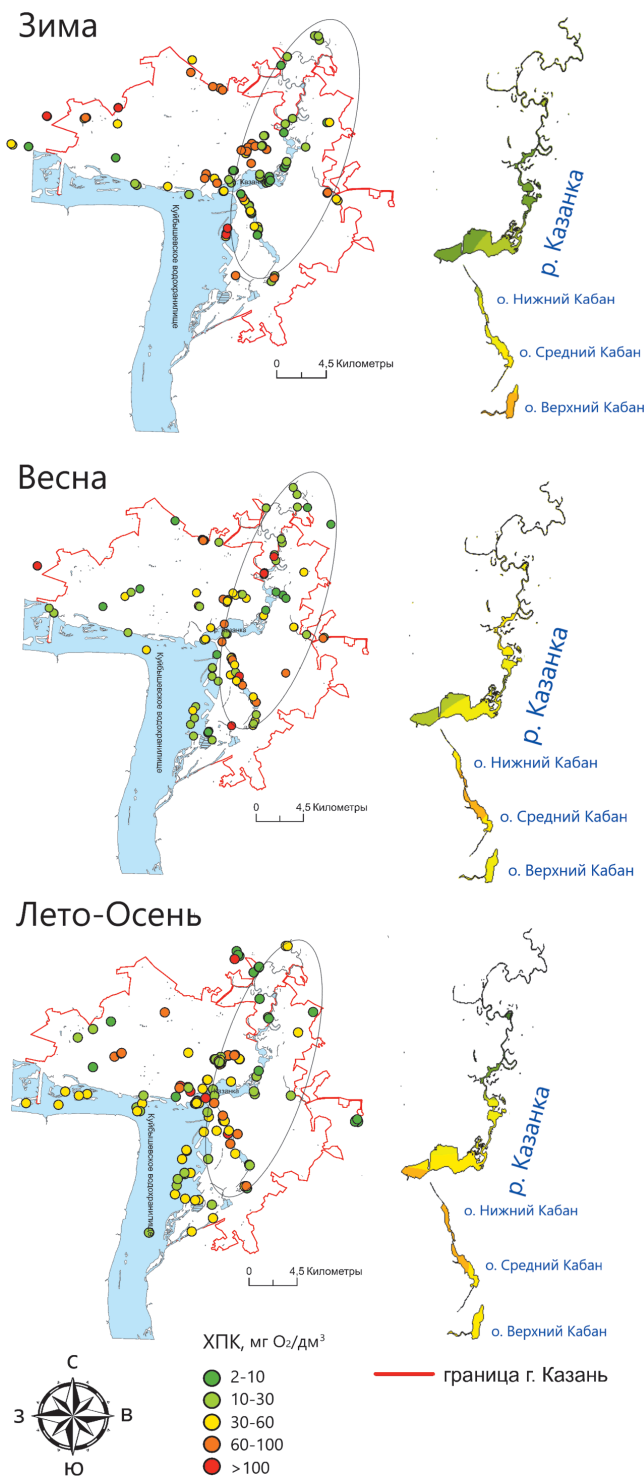


Рис. 2. Распределение ХПК в поверхностных водах. Слева – места отбора гидрохимических проб и значения ХПК справа – распределение ХПК в р. Казанка и оз. Кабан. Примечание: н.о. – не обнаружено

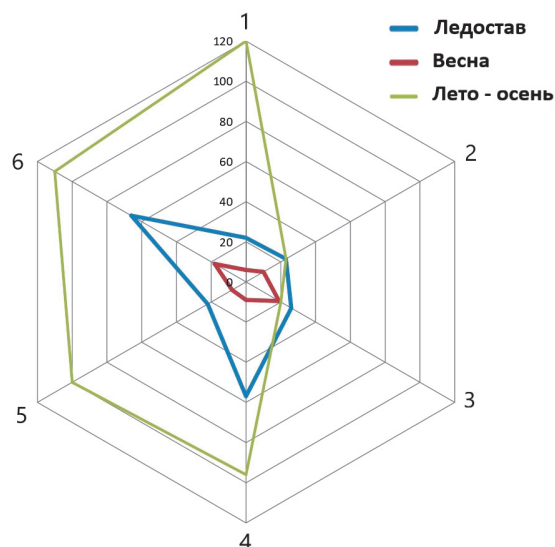


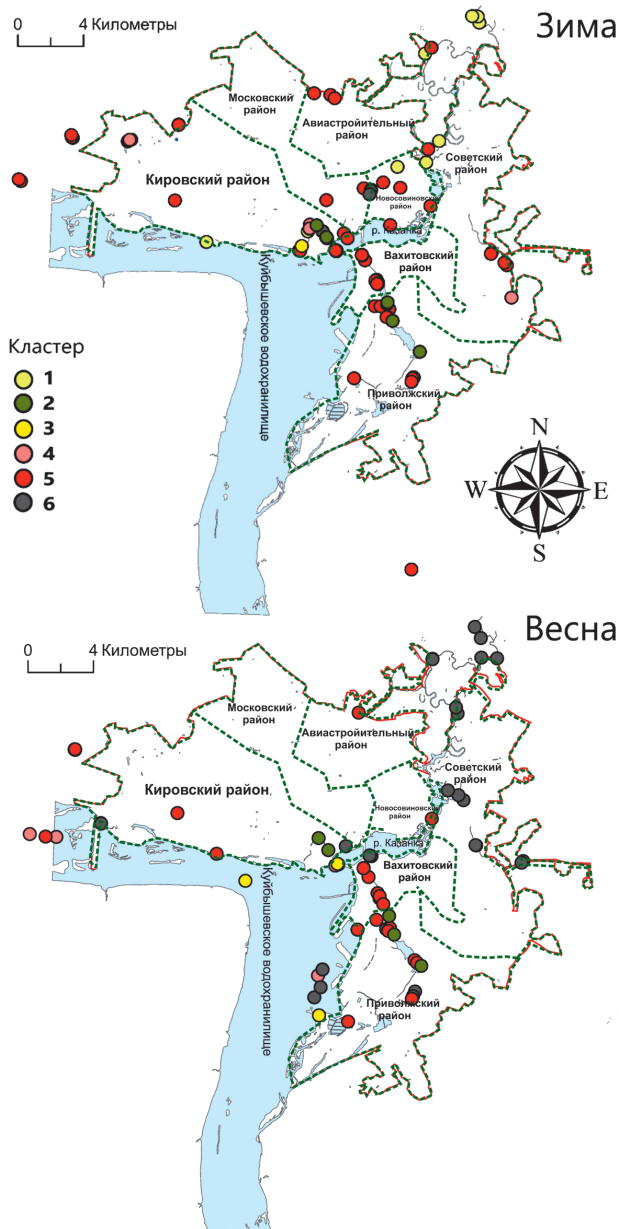
Рис. 3. Евклидово расстояние от начальной (эталонной) точки до кластеров, выделенных по иерархическому алгоритму

Показатели, единицы измерения	Озера Ковалинское и Архиерейское (пригороды Казани)			Озера Средний и Нижний Кабан (центр Казани)		
	Зима	Весна	Лето – осень	Зима	Весна	Лето – осень
Аммоний ион, мг/дм ³	0,24	0,15	0,05	0,47	0,5	0,36
Кислород растворенный, мгО ₂ /дм ³	15,93	13,70	13,97	4,2	19	12,68
Нефтепродукты, мг/дм ³	0,006	н.о	н.о	0,012	0,007	0,11
Нитриты + нитраты, мг/дм ³	1,05	0,08	н.о	8,4	28,9	30
Сульфаты, мг/дм ³	3,36	7,26	1,752	341	322,7	349
Фенол, мг/дм ³	0,0001	н.о	н.о	0,0007	0,0001	0,0014
Фосфат ион, мг/дм ³	0,012	0,093	н.о	0,96	0,07	0,08
ХПК, мг О ₂ /дм ³	18,1	22,0	22,4	55,5	32,7	57
Хлориды, мг/дм ³	5,28	5,74	8,60	116,1	145,5	117,96
ТМ, мг/дм ³	0,074	0,051	н.о	1,7	0,14	1,7
Количество проб	28	17	42	23	21	39

Таблица. Средние гидрохимические показатели озер по периодам

держания тяжелых металлов и фенолов на исследуемой территории достигают максимальных значений в период весеннего половодья (кластер 6). Предположительно,

данное загрязнение связано с поверхностным смывом с водосборной площади. Северная часть территории в зимний период по показателям загрязнения поверхностных вод в целом благополучна с незначительными превышениями ПДК по аммонии, сульфатам (кластер 1), указывая на влияние в этот период подземных вод. Значения ХПК выше ПДК (кластер 2), зафиксированы в летне-осенний период за счет цветения воды, а в весенний период – воды р. Казанка. На территории города отсутствуют полностью благополучные поверхностные воды.



Выводы

1. С помощью методов математической статистики и пространственного картографического анализа гидрохимической информации охарактеризовано состояние поверхностных вод г. Казани за период с 2014 по 2020 гг.
2. Значительная часть поверхностных вод содержит высокие концентрации сульфатов, что связано с геологическими особенностями территории.
3. Полностью благополучных по химическому составу поверхностных вод объектов на территории города не обнаружено. Выявлено, что минимальная техногенная

Лето-Осень

Рис. 4. Кластеры загрязнения поверхностных вод на территории г. Казань

нагрузка на поверхностные воды города приходится на весенний период. Наибольшее количество превышений ПДК фиксируется в период ледостава и весной – по фенолам, а в летне-осенний период – по фенолам, аммонии и фосфатам.

4. С помощью методов многомерной математической статистики возможна разработка количественных критериев идентификации и оценки вклада техногенного влияния на поверхностные воды промышленно-урбанизированной территории Казани с переходом к цифровому мониторингу качества гидросферы города.

Финансирование

Работа выполнена за счет субсидии, выделенной Казанскому университету для выполнения государственного задания в сфере научной деятельности (проект № 0671-2020-0048 государственного задания № 075-00216-20-05 от 04.06.2020 г. (часть II). Секция 1)).

Литература

Кондратьева Т.А., Выборнова И.Б., Исмаилова Р.Н. (2013а). Оценка экологического состояния водоемов города Казани. *Вестник Казанского технологического университета*. № 3. С. 151-155.

Кондратьева Т.А., Исмаилова Р.Н., Волостнова О.И. (2013б). Выявление закономерностей пространственного распределения загрязнения поверхностных вод Республики Татарстан с использованием методов многомерной статистики. *Вестник Казанского технологического университета*. № 18. С. 287-292.

Кондратьева Т.А., Ю.В. Максимов, Р.Н. Исмаилова (2013в). Статистический анализ и моделирование экологических процессов в водных экосистемах на примере р. Казанка. *Вестник Казанского технологического университета*. № 21. С. 309-314.

Маслов Н.В., Мовчан Н.И., Трутнева В.А. (2015). Применение статистических методов при мониторинге содержания фенола в составе поверхностных вод озер экосистемы Кабан. *Вестник Казанского технологического университета*. № 6. С. 179-184.

Никитин О.В., Латыпова В.З., Шагидуллин Р.Р. и др. (2011). Геоэкологический мониторинг излучины реки Казанка как фактор химического загрязнения Куйбышевского водохранилища. *Георесурсы*. № 2 (38). С. 27-30.

Приказ Министерства сельского хозяйства Российской Федерации от 13.12.2016 г. №552 «Об утверждении нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативов предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения».

СанПиН 2.1.5. Водоотведение населенных мест, санитарная охрана водных объектов. Гигиенические требования к охране поверхностных вод: СанПиН 2.1.5.980-00.

СанПиН 4630-88 Санитарные правила и нормы охраны поверхностных вод от загрязнения.

Сунгатуллин Р.Х. (2010). Влияние техногенеза на формирование современных кор выветривания и водоносных ареалов. *Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология*. № 6. С. 494-502.

Сунгатуллин Р.Х., Хазиев М.И. (2009). Системный подход при изучении гидросферы на промышленно-урбанизированных территориях. *Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология*. № 1. С. 19-31.

Шагидуллин Р.Р. (2011). Система регионального государственного экоаналитического контроля субъекта Российской Федерации (на примере Республики Татарстан). Издательство Казанского университета, 336 с.

United Nation (2017). The Sustainable Development Goals Report 2017; United Nations: New York, NY, USA.

Сведения об авторах

Шакирзянов Артур Марселевич – начальник отдела экологического мониторинга Министерства экологии и природных ресурсов Республики Татарстан

Россия, 420049, Казань, ул. Павлухина 75

Петрова Дарья Ивановна – ассистент кафедры общей геологии и гидрогеологии Казанского (Приволжского) федерального университета

Россия, 420008, Казань, ул. Кремлевская, 18

Софинская Оксана Александровна – кандидат биологических наук, доцент кафедры общей геологии и гидрогеологии Казанского (Приволжского) федерального университета

Россия, 420008, Казань, ул. Кремлевская, 18

Статья поступила в редакцию 11.03.2021;

Принята к публикации 21.08.2021;

Опубликована 30.11.2021

IN ENGLISH

Assessment of the ecological state of Kazan surface waters

A.M. Shakirzyanov^{1*}, D.I. Petrova², O.A. Sofinskaya²

¹Ministry of Ecology and Natural Resources of the Republic of Tatarstan, Kazan, Russia

²Kazan (Volga Region) Federal University, Kazan, Russia

*Corresponding author: Artur M. Shakirzyanov, e-mail: artur.shakirzyanov@tatar.ru

Abstract. The study of the influence of technogenesis on the state of surface waters in urbanized areas is one of the most urgent ecological and social problems. The low quality of water in the surface hydrosphere poses a threat to the health of the urban population and reduces the favorable environment. For processing and analysis of hydrochemical indicators of surface water bodies of Kazan for the period 2014-2020 years. The generally accepted group indicators, the water pollution index, as well as the methods of multivariate statistics were used. The data were grouped using the cluster analysis method separately for each hydrological season. To build hydrochemical models, the ArcGisMap software package was used. Based on the analysis of the results obtained, an ecological and hydrological assessment of the state of surface

waters was carried out, which showed that the water bodies of Kazan are classified as unfavorable water bodies.

Keywords: surface water, hydrochemistry, cluster analysis, GIS, technogenesis, monitoring, Kazan

Acknowledgments

This work was funded by a subsidy allocated to Kazan Federal University for the state assignment in the sphere of scientific activities (Project № 0671-2020-0048 of State Assignment № 075-00216-20-05 of 04.06.2020 (Part II Section 1)).

Recommended citation: Shakirzyanov A.M., Petrova D.I., Sofinskaya O.A. (2021). Assessment of the ecological

state of Kazan surface waters. *Georesursy = Georesources*, 23(4), pp. 70–78. DOI: <https://doi.org/10.18599/grs.2021.4.1>

References

- Kondratyeva T.A., Ismailova R.N., Volostnova O.I. (2013b). Revealing the patterns of spatial distribution of surface water pollution in the Republic of Tatarstan using the methods of multivariate statistics. *Bulletin of Kazan Technological University*. No. 18. P. 287-292.
- Kondratyeva T.A., Maksimov Yu.V., Ismailova R.N. (2013c) Statistical analysis and modeling of ecological processes in aquatic ecosystems on the example of the river. Kazanka. *Bulletin of Kazan Technical University*. No. 21. pp. 309–314.
- Kondratyeva T.A., Vybornova I.B., Ismailova R.N. (2013a). Assessment of the ecological state of water bodies of the city of Kazan. *Bulletin of Kazan Technological University*. No. 3. P. 151-155.
- Maslov N.V., Movchan N.I., Trutneva V.A. (2015) Application of statistical methods for monitoring phenol content in the surface waters of lakes in the Kaban ecosystem. *Bulletin of Kazan Technological University*. No. 6. Pp. 179-184.
- Nikitin O.V. et al. (2011) Geoecological monitoring of the bend of the Kazanka river as a factor of chemical pollution of the Kuibyshev reservoir. *Georesources*. No. 2 (38). P. 27-30
- Order of the Ministry of Agriculture of the Russian Federation of 13.12.2016 No. 552 "On approval of water quality standards for water bodies of fishery significance, including standards for maximum permissible concentrations of harmful substances in the waters of water bodies for fishery significance."
- Sanitary rules and regulations. 2.1.5. Water disposal of populated areas, sanitary protection of water bodies. Hygienic requirements for the protection of surface waters: SanPiN 2.1.5.980-00 (approved by the Chief State Sanitary Doctor of the Russian Federation on June 22, 2000)
- Sanitary rules and regulations. 4630-88 Sanitary rules and norms for the protection of surface waters from pollution
- Shagidullin R. R. (2011) The system of regional state ecoanalytical control of the constituent entity of the Russian Federation (on the example of the Republic of Tatarstan). Kazan: Publishing house of Kazan University. 336 p.
- Sungatullin R. Kh. (2010) Influence of technogenesis on the formation of modern weathering crusts and aquifers. *Geoecology. Engineering geology. Hydrogeology. Geocryology*. No. 6. S. 494-502.
- Sungatullin R. Kh., Khaziev MI (2009) A systematic approach to the study of the hydrosphere in industrial-urbanized territories. *Geoecology. Engineering geology. Hydrogeology. Geocryology*. No. 1. S. 19-31.
- United Nation (2017). The Sustainable Development Goals Report 2017; United Nations: New York, NY, USA.
- Zhmur N.S. (2003) Technological and biochemical processes of waste water treatment at constructions with aeration tanks. Moscow: AQUAROS, 507 p.

About the Authors

Artur M. Shakirzyanov – Head of the environmental monitoring department of the Ministry of ecology and natural Resources of the Republic of Tatarstan
75 Pavlyukhina st, Kazan, 420049, Russian Federation

Daria I. Petrova – Assistant of the Department of General Geology and Hydrogeology of Kazan Federal University
18 Kremlin st., Kazan, 420008, Russian Federation

Oksana A. Sofinskaya – Cand. Sci. (Biological), Associate Professor of the Department of General Geology and Hydrogeology of Kazan Federal University
18 Kremlin st., Kazan, 420008, Russian Federation

*Manuscript received 11 March 2020;
Accepted 21 August 2021; Published 30 November 2021*