

О ЭКОЛОГИЧЕСКОМ СОСТОЯНИИ ВОДОЕМОВ УРБОТЕРИТОРИЙ ЮГО-ЗАПАДА БЕЛАРУСИ В ВЕСЕННИЙ ПЕРИОД 2020 Г.

*Кириченко Л. А., Волчек А. А.
Брестский государственный технический университет,
г. Брест, Республика Беларусь, e-mail: lakobrinetch@mail.ru*

В этой работе были исследованы гидрохимические и гидроморфологические характеристики городских водоемов юго-запада Беларуси в весенний период 2020 г. Гидроморфологические характеристики водоемов определяли полевыми методами и методами ГИС-картирования. Гидрохимическую оценку качества воды водоемов в весенний период проводили по 15 показателям. Для анализа качества поверхностных вод были применены многомерные статистические методы. На основе анализа гидрохимических и гидроморфологических показателей дана оценка экологического состояния водоемов урботерриторий юго-запада Беларуси в весенний период 2020 г. В ходе исследования установлены закономерности распределения морфометрических характеристик водоемов в пределах изученной территории. Анализ гидрохимических характеристик показал что качество воды городских водоемов зависит от типов антропогенного воздействия.

Ключевые слова: урботерритория; морфометрия водоема; уровень загрязнения воды.

ON THE ECOLOGICAL STATE OF WATER BODIES OF THE URBOTERRITORIES OF THE SOUTH-WEST OF BELARUS IN SPRING PERIOD 2020

*Kirichenko L. A., Volchak A. A.
Brest State Technical University,
Brest, Republic of Belarus, e-mail: lakobrinetch@mail.ru*

In this work, hydrochemical and hydromorphological characteristics of urban reservoirs of southwestern Belarus in the spring of 2020 were investigated. Hydromorphological characteristics of reservoirs were determined by field methods and GIS mapping methods. Hydrochemical assessment of water quality of reservoirs in the spring period was carried out according to 15 indicators. Multivariate statistical methods were used to analyze surface water quality. Based on the analysis of hydrochemical and hydromorphological indicators, an assessment of the ecological state of the reservoirs of the urboterritories of southwestern Belarus in the spring period of 2020 was given. During the study, patterns of distribution of morphometric characteristics of the reservoirs within the studied territory were established. The analysis of hydrochemical characteristics showed that the water quality of urban reservoirs depends on the types of anthropogenic effects.

Keywords: urboterritory; water morphometry; water pollution level.

Введение. Развитие урбанизации как правило негативно влияет на экологическое состояние водоемов, расположенных в черте города, которое

зависит от комплекса факторов, важнейшим из них является антропогенное воздействие. Антропогенное воздействие выражается в происхождении водоема, изменении его гидроморфологических характеристик, вида и источников поступления поллютантов в водоемы городов, в степени рекреационной нагрузки, в несанкционированном заборе воды и сбросе сточных вод и др. Это все усложняет определение характера экологического статуса водоема.

Согласно классификации водоемов по величине их водной поверхности, предложенной П.В. Ивановым, среди водоемов Беларуси преобладают очень малые и малые водоемы (около 90%) с максимальной глубиной до 5 м [1]. Большинство из них имеют антропогенное или природно-антропогенное происхождение. Эти водоемы не включены в государственную сеть мониторинга экологического состояния водных объектов Беларуси, характеристики их гидроморфологических параметров и экологического состояния отсутствуют, что не позволяет дать правовую оценку негативного воздействия на урбанизированные водоемы [2]. В связи с этим исследование экологического состояния городских водоемов особо актуально.

Современное изменение климата вызвало нарушение гидрологического режима не только рек, но и водоемов, в том числе и городских [3, 4]. Особенно это проявляется на юго-западе Беларуси, яркое подтверждение которого наглядно показывает весна 2020 г. характеризующаяся аномальными гидрологическими условиями: отсутствие ледостава и весеннего половодья на водных объектах произошло вследствие аномально высоких среднемесячных температур воздуха и отсутствия снежного покрова в зимний период. Сложившиеся погодные условия повлияли на экологическое состояние водных объектов. В этот период происходит наибольшая трансформация гидрологического режима водных объектов [4 – 6]. Поэтому изучение экологического статуса городских водоемов в данный период вызывает особый интерес.

Целью настоящей работы является исследование эколого-гидрохимического и гидроморфологического состояния водоемов урбанизированных территорий юго-запада Беларуси в весенний период в современных условиях.

В ходе исследования были решены следующие задачи:

1. Изучены гидроморфологические показатели водоемов урботерриторий;
2. Дана оценка гидрохимических показателей качества воды водоемов урботерриторий в весенний период;
3. Определено состояние исследуемых водоемов в весенний период и их основные экологические проблемы.

Методы исследования. Объектом исследования являются типичные водоемы урботерриторий юго-запада Беларуси. В результате были отобраны городские водоемы, где возможна репрезентативная выборка: Кобрин, Жабинка, Малорита, Брест. Все они характеризуются равнинными

водосборами, природно-антропогенным происхождением, питанием за счет грунтовых вод и дренирующих мелиоративных каналов.

При планировании точек отбора городские водоемы разделены на четыре группы в зависимости от характера антропогенного воздействия: а) водоемы в районе частной жилой застройки (характеризующиеся относительно невысокой плотностью населения в пределах городской черты); б) водоемы парковой зоны с выраженной рекреационной нагрузкой; в) карьерные водоемы и г) водоемы подвергающиеся выраженному техногенному воздействию.

Гидроморфологические характеристики водоемов определяли полевыми методами и методами ГИС-картирования по следующим морфометрическим параметрам: максимальная длина (L), максимальная ширина (B), площадь водного зеркала (A), длина береговой линии (L_l). На основе этих данных рассчитывались показатель удлинённости береговой линии ($L^* = \frac{L}{B}$) и степень развития береговой линии ($S = \frac{L_l}{2\pi\sqrt{\frac{A}{\pi}}}$) [7, 8].

Отбор образцов воды, консервация и транспортировка для определения гидрохимических показателей проводились в соответствии с реестром методик химического анализа поверхностных и сточных вод Республики Беларусь. Отбор проб воды проводился с приповерхностной части водоема с глубины 0,3 – 0,5 м. Образцы транспортировали в лабораторию и хранили в холодильнике при 4°C в течение 24 часов. Анализ проб воды проводили в течение суток с момента отбора. Анализ воды по гидрохимическим показателям проводился стандартными методами

Оценка уровня эколого-гидрохимического состояния городских водоемов проводилась согласно действующих в Республике Беларусь нормативных документов [9 – 13].

Результаты и их обсуждение. Морфометрические характеристики исследуемых водоемов юго-запада Беларуси показаны в таблице. На основании этих показателей была выполнена типизация городских водоемов юго-запада Беларуси и выявлены характерные черты, присущие для урбанизированных водоемов.

Согласно принятой классификации исследуемые водоемы относятся к очень малым 43 % (площадь 0,01 – 0,1 км²), малым 28,5% (0,1 – 1,0 км²) водоемам и к водоемам с площадью водного зеркала < 0,01 км² не вошедшим в классификацию 28,5 %. Эти водоемы не входят в национальную систему мониторинга водных объектов, так как площадь их водной поверхности менее 1 км² [14]. Однако исходя из полученных данных 2/3 городских водоемов приходится на очень малые и водоемы площадью до 0,01 км².

В результате статистической обработки данных, исходя из показателя удлинённости береговой линии L^* , установлена типизация городских водоемов по видам котловин: а) водоемы, близкие к овальной форме ($L^* = 3-5$) — 1; б) водоемы, близкие к округлой форме ($L^* = 1,5-3,0$) — 2; в)

водоемы округлой формы ($L^* = 1 - 1,5$) – 9; г) водоемы, близкие к квадратной форме – 1 (пруд Вычулки).

Таблица – Гидроморфологические параметры некоторых городских водоемов юго-запада Беларуси

Водоем	Происхождение	Площадь А, км ²	мах длина L, км	мах ширина В, км	Длина береговой линии L ₁ , км	Степень развития береговой линии L*	Коэффициент удлиненности S
1	2	3	4	5	6	7	8
г. Кобрин							
пруд ул. Полесская	Природно-антропогенное	0,004	0,084	0,024	0,290	3,50	1,29
Парковый пруд	Природно-антропогенное	0,02	0,200	0,102	1,545	1,96	3,08
г. Жабинка							
пруд «Мухина яма»	Природно-антропогенное	0,002	0,064	0,039	0,250	1,64	1,58
«вдхр. «Визжар»	Природно-антропогенное	0,238	0,711	0,560	0,936	1,27	0,54
г. Малорита							
карьер ул. Дзержинская	Природно-антропогенное	0,007	0,144	0,060	0,370	2,4	1,25
Парковый пруд	Природно-антропогенное	0,016	0,170	0,123	0,512	1,38	1,14
«Военное» озеро	Природно-антропогенное	0,093	0,452	0,302	1,180	1,50	1,09
пруд «Торфболото»	Природно-антропогенное	0,286	0,784	0,493	2,45	1,59	1,29
пруд ул. Васнецова	Природно-антропогенное	0,012	0,156	0,090	0,44	1,73	1,24
карьер ул. Кирпичная	Природно-антропогенное	0,060	0,535	0,238	1,66	2,25	1,91
карьер Гершонский	Природно-антропогенное	0,201	0,692	0,319	1,86	3,72	1,17
г. Брест							
Пруд Зеркалка	Природно-антропогенное	0,046	0,286	0,201	0,812	1,42	1,07
Пруд Вычулки	Природно-антропогенное	0,234	0,706	0,602	2,120	1,17	2,24
Нижний пруд парк им. 1 Мая	Природно-антропогенное	0,003	0,080	0,053	0,222	1,51	1,14

Распределение водоемов по степени развития береговой линии (минимальное значение $S = 1,0$, — характеризует абсолютно круглое озеро) в западной части Полесской низменности свидетельствует о том, что на исследуемой территории преобладают озера с небольшой изрезанностью

береговой линии (слабоизрезанные, S не более 1,5). Это округлые водоемы с плавной береговой линией, характеризующиеся преобладанием остаточных и техногенно-нарушенных котловин, развитых в пределах мелиоративно осушенной заболоченной Полесской низменности.

Таким образом, в черте города преобладают водоемы округлой формы. Однако основным критерием формирования формы городского водоема является степень изменения (спрямления, укрепления набережными) береговой линии. Установлено что для городских водоемов изменение береговой линии значительное ($> 5\%$), береговая линия спрямлена практически во всех водоемах, берега парковых водоемов укреплены набережными.

В естественных условиях вода водных объектов региона юго-запада Беларуси по составу характеризуется как кальциево-натриевая гидрокарбонатная [5]. На основании проведенных исследований установлено, что в водоемах районов частной застройки урботерриторий юго-запада Беларуси наблюдается незначительная разнородность в ионном составе воды, их можно охарактеризовать как кальциево-магниевые гидрокарбонат-хлоридные (рисунок 1а). В пруду по ул. Полесская г. Кобриня преобладают ионы Ca^{2+} Na^{+} и HCO_3^{-} . В пруду Мухина яма г. Жабинки вода кальциевая гидрокарбонат-хлоридная. В карьере по ул. Дзержинского г. Малориты вода натриевая гидрокарбонат-хлоридная. В воде пруда по ул. Васнецова и Пруда Зеркалка г. Бреста установлено преобладание ионов Mg^{2+} и HCO_3^{-} . Повышенное содержание Mg^{2+} и Cl^{-} в воде водоемов связано с попаданием неорганизованных стоков ливневых вод с приусадебных участков и автодорог [15, 16].

В парковых прудах г. Кобриня и г. Бреста повышенные концентрации ионов Mg^{2+} , SO_4^{2-} и Cl^{-} (рисунок 1б) связаны с попаданием в водоемы многолетних неорганизованных ливневых стоков с прилегающей «зеленой» территории парков (ежегодная подкормка растительности удобрениями) и высокой рекреационной нагрузкой (в этих парках наблюдается ежегодная высокая посещаемость людей). В Парковом пруду г. Малорита установлено наименьшее антропогенное воздействие, вода в водоеме относится к гидрокарбонатно-кальциевым с заметным присутствием хлоридов (рисунок 1б). Зафиксированное повышенное содержание Cl^{-} свидетельствует о незначительном антропогенном воздействии. Это подтверждается малой рекреационной нагрузкой на водоем (посещаемость парка низкая).

Состав воды карьерных водоемов урботерриторий неоднороден (рисунок 1с) и зависит от: проводимого ранее типа разработок, впадающих мелиоративных каналов, неорганизованных ливневых стоков с прилегающих к ним автодорог. В воде карьера по ул. Кирпичная г. Брест и пруда «Торфболото» преобладают ионы магния, HCO_3^{-} и хлорид-ионы. Вода карьера Гершонского характеризуется как кальциево-натриевая гидрокарбонат-хлоридная. Высокая концентрация Cl^{-} связана с тем, что водоем образован в результате разработки глинистого карьера, кроме того в

водоемы поступают поверхностные ливневые стоки с автодорог и прилегающей территории частного сектора [16, 17].

Ионный состав воды водоемов четвертой рассматриваемой группы напрямую зависит от типа техногенного воздействия. В водохранилище Визжар вода является кальциево-натриевой хлоридной. В Военном озере г. Малориты вода магниевая хлоридно-сульфатная. Вода в пруду Вычулки г. Бреста кальциево-натриевая гидрокарбонатная. Повышенные концентрации ионов Mg^{2+} , SO_4^{2-} и Cl^- определяют характеристику воды этих водоемов по ионному составу и подтверждают техногенное воздействие на них [15 – 17].

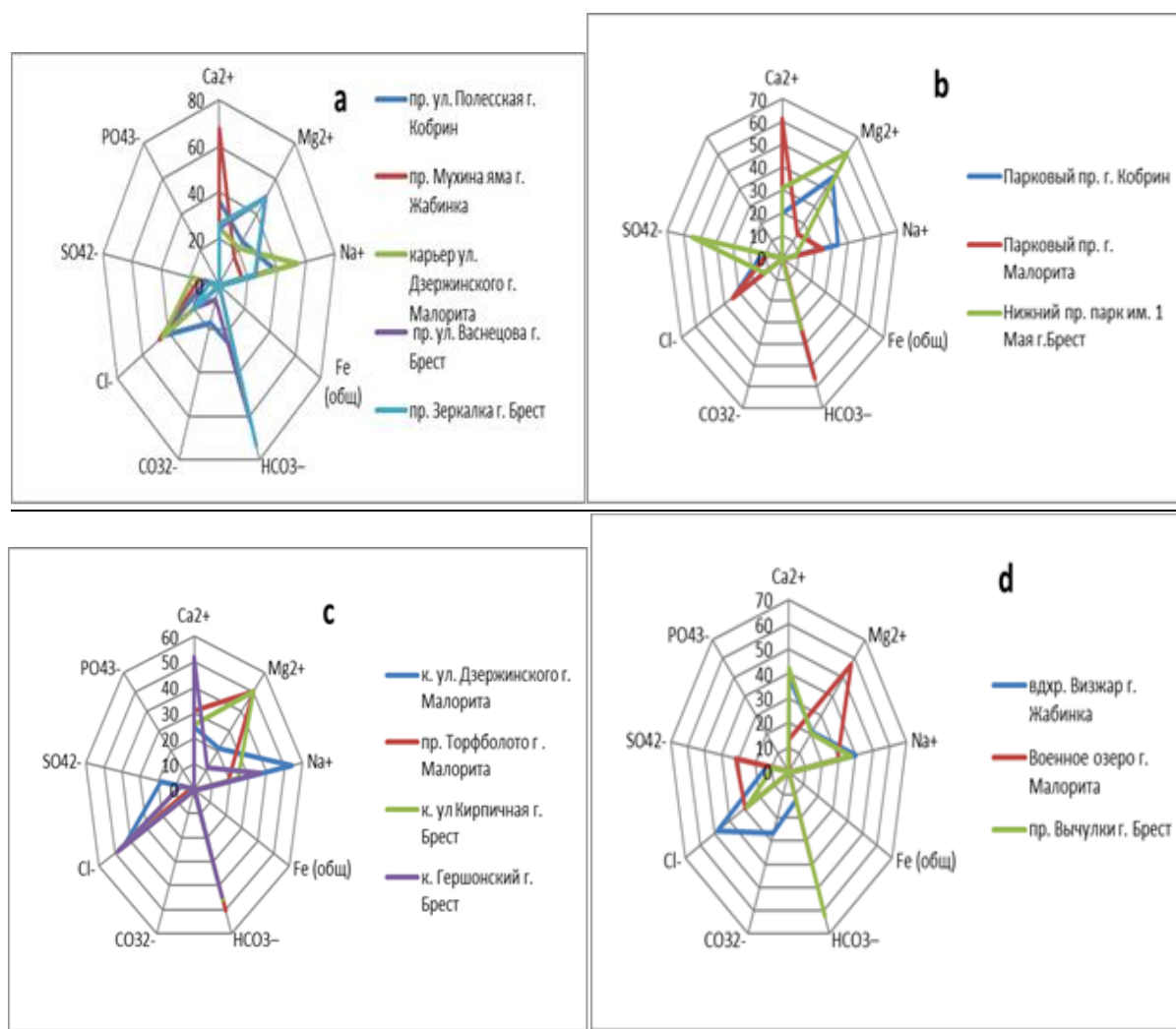


Рисунок 1 – Состав воды городских водоемов в весенний период 2020 г.: а) района частной жилой застройки; б) водоемы парковой зоны; в) карьерные водоемы; д) водоемы подвергающиеся техногенным воздействиям

В исследуемых водоемах рН, растворенный кислород, содержание ионов кальция, гидрокарбонат-ионов, хлоридов, сульфатов, фосфатов, соответствует нормам для водных объектов в черте населенных пунктов и рекреационных зон. По величине общей минерализации воды в исследуемых водоемах относятся к слабоминерализованным (рисунок 2), что характерно для исследуемого региона [3, 4]. Однако, в пруду Мухина яма г. Жабинки и

Нижнем пруду парка им. 1 Мая г. Бреста минерализация воды повышена и приближается к предельно допустимым концентрациям (ПДК 1000 мг/дм³) для поверхностных вод населенных пунктов и рекреационных зон. Это связано с повышенным содержанием в воде солей кальция и магния (рисунок 1b).

Для определения загрязненности воды городских водоемов рассмотрены показатели, содержание которых превысило предельно-допустимую концентрацию (ПДК) с наиболее жесткими (минимальными) значениями из совмещенных списков информационных документов Республике Беларусь по качеству поверхностных вод в черте населенных пунктов, рекреационных зон, и ПДК питьевой воды. Характеристика уровня загрязненности веществами приведена по кратности превышения ПДК [9, 18]. Исходя из результатов исследования, уровень загрязненности водоемов по показателям кратности превышения ПДК установлен как низкий и средний. Содержание загрязняющих веществ за весенний период 2020 г. в водоемах районов частной жилой застройки по кратности ПДК показано на рисунке 3.

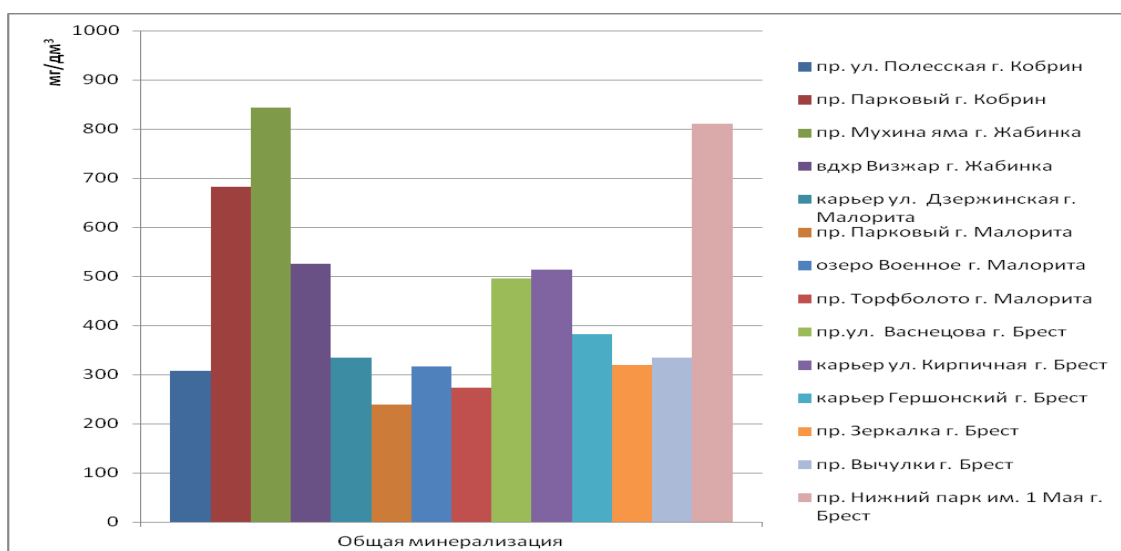


Рисунок 2 – Показатель общей минерализации водоемов юго-запада Беларуси в весенний период 2020 г.

Исходя из результатов исследования увеличение уровня загрязненности железом и фосфатами веществами установлено для пруда по ул. Полесской г. Кобрин, для пруда «Мухина яма» г. Жабинки – по жесткости, ХПК и железу общему. В прудах г. Бреста наблюдается схожая тенденция: повышенные ХПК, жесткость, Mg²⁺, Fe общ. В карьере по ул. Дзержинского вода чистая, зафиксированное превышение ПДК Fe общ в 2 раза является типичным для исследуемого региона.

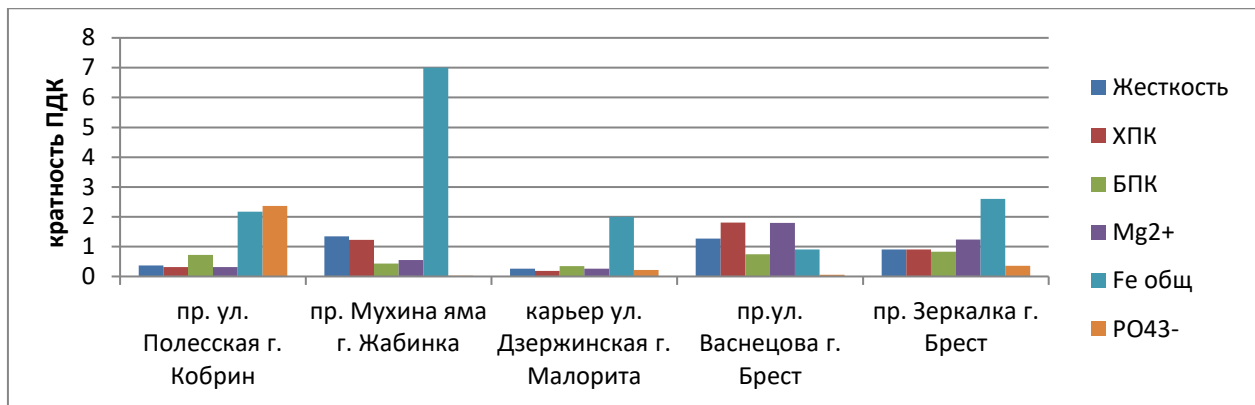


Рисунок 3 – Содержание загрязняющих веществ в водоемах районов частной жилой застройки урботерриторий юго-запада Беларуси, весна 2020 г.

Загрязнение воды по величине кратности превышения ПДК зафиксировано по жесткости, Mg²⁺ и железу общему для большинства парковых водоемов (рисунок 4). Наблюдается незначительное превышение ПДК в воде паркового пруда г. Малориты по ХПК, БПК, железу общему.

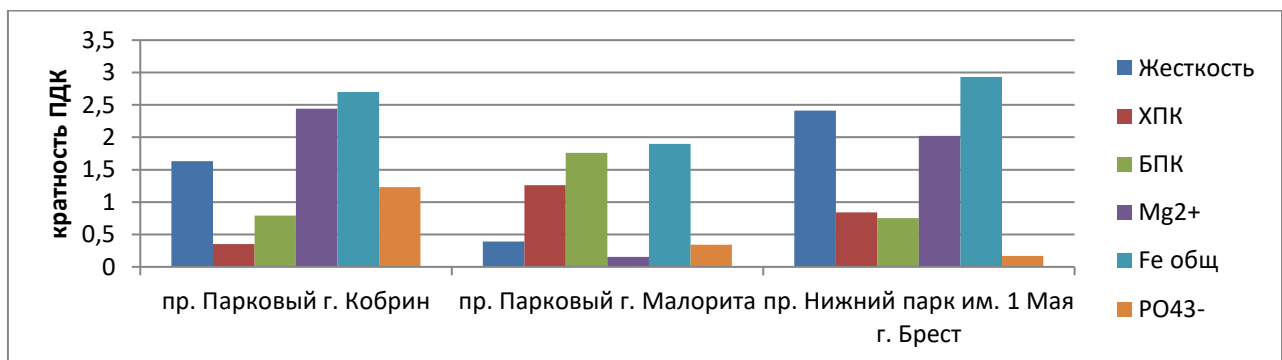


Рисунок 4 – Содержание загрязняющих веществ в парковых прудах урботерриторий юго-запада Беларуси, весна 2020 г.

Содержание загрязняющих веществ за весенний период 2020 г. в карьерных водоемах урбанизированных территорий по кратности ПДК показано на рисунке 5. Во всех водоемах наблюдается тенденция повышенного содержания железа общего. В карьере по ул. Дзержинская г. Малориты содержание веществ по остальным показателям не превышает ПДК, вода в водоеме чистая. В воде Торфболота выявлено превышение нормативов по ХПК и БПК. Это свидетельствует о загрязнении воды легкоокисляемыми органическими и неорганическими веществами [15 – 17, 19]. В обводненных карьерах г. Бреста вода жесткая, наблюдается превышение ПДК в 1,1 – 1,5 раза. Жесткость воды в этих водоемах прямопропорциональна концентрации ионов Mg²⁺ (рисунок 5). Повышение концентраций Mg²⁺ связано с ненормируемым сбросом поверхностных ливневых вод с прилегающей территории.

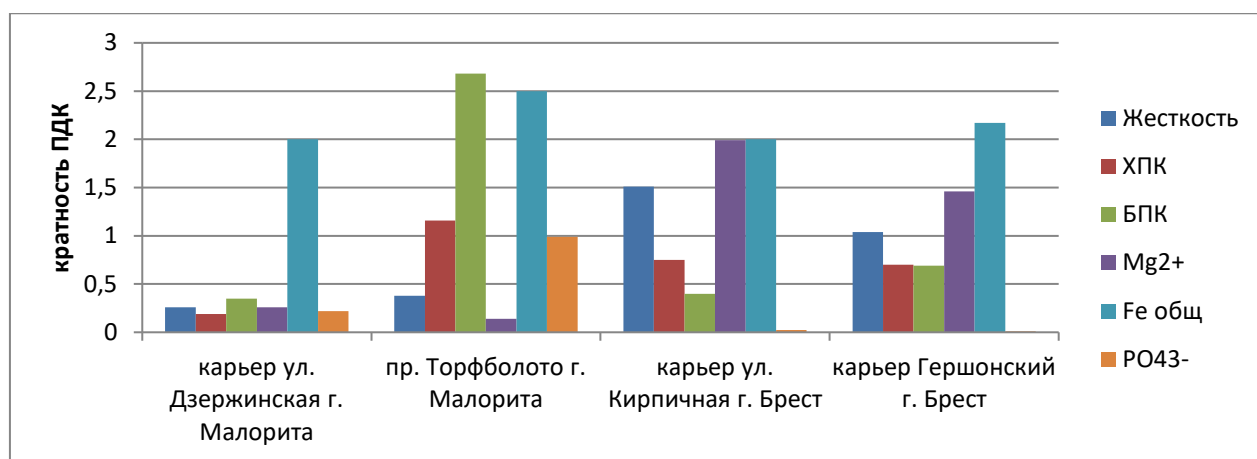


Рисунок 5 – Содержание загрязняющих веществ в карьерных водоемах урботерриторий юго-запада Беларуси, весна 2020 г.

Воды водоемов с выраженным техногенным влиянием характеризуются превышением ПДК по нескольким показателям (рисунок 6). Как и в других водоемах наблюдается тенденция повышенного содержания железа общего в 2 – 5,5 раз.

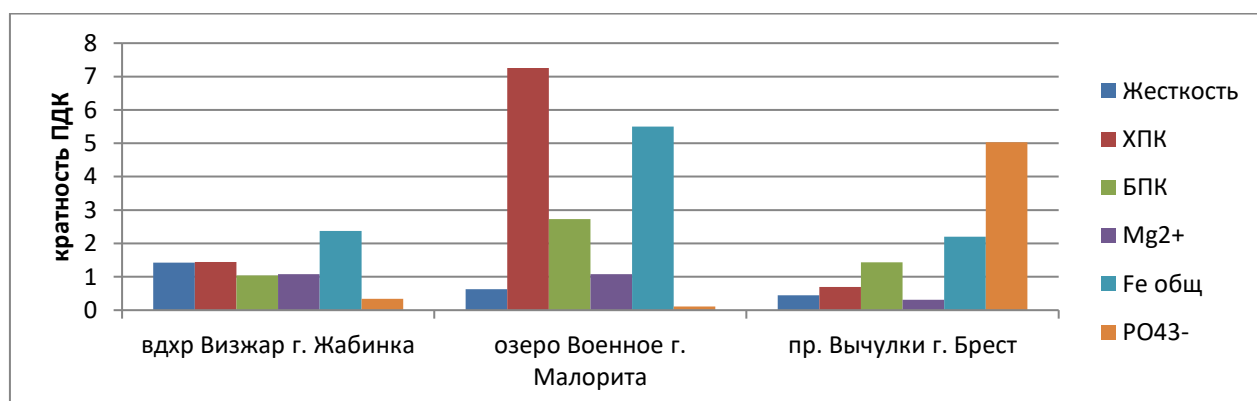


Рисунок 6 – Содержание загрязняющих веществ в водоемах урботерриторий с выраженным техногенным влиянием, весна 2020 г.

В «водохранилище» Визжар г. Жабинки кратность превышения ПДК загрязняющих веществ незначительная (1,1 – 1,5 раза), однако это превышение наблюдается по 5-ти показателям: ХПК, БПК₅, содержание ионов Mg²⁺, жесткости и железу общему. Это связано с присутствием в воде недоочищенных промышленных сточных вод ОАО «Жабинковский сахарный завод». Вода Военного озера г. Малориты загрязнена легкоокисляемыми органическими веществами, по БПК₅ показатель ПДК превышен в 2,7 раза, а по ХПК – в 7,3 раза. Это свидетельствует о эвтрофикации данного водоема. В пруду Вычулки г. Бреста установлено устойчивое превышение ПДК фосфатов в 5 раз. Это загрязнение связано с попаданием в водоем неорганизованных поверхностных сточных и ливневых вод с прилегающей территории тепличного комбината «Берестье».

Заключение. Проведенные гидроэкологические исследования позволяют сделать следующие выводы:

1. Исходя из анализа гидроморфологических показателей проведена типизация городских водоемов по площади водной поверхности. Установлено преобладание очень малых и очень маленьких водоемов природно-антропогенного происхождения на рассматриваемой урботерритории. Выявлено преобладание урбанизированных водоемов округлой формы. Однако установлено, что форма водоема полностью зависит от антропогенного воздействия.

2. Воды урбанизированных водоемов юго-запада Беларуси слабоминерализованы, однако повышенное солесодержание выявлено для водоемов Паркового пруда г. Кобрин, пруда «Мухина яма» г. Жабинки и Нижнего пруда парка им. 1 Мая г. Бреста. Эти водоемы характеризуются высоким содержанием соединений кальция и магния и, как следствие, повышенной жесткостью.

3. Исходя из гидрохимических показателей в весенний период 2020 г. уровень загрязнения большинства исследуемых водоемов низкий, кроме водоемов подверженным техногенным воздействиям – для этих водоемов уровень загрязнения установлен как средний. Уровень загрязнения вдхр Визжар г. Жабинки зависит от сбрасываемых промышленных сточных вод ОАО «Жабинковский сахарный завод»; уровень загрязнения «Военного» озера г. Малориты зависит от сбрасываемых сточных вод Хлебозавода Малоритского РайПО и ОАО «Малоритский консервно-овощесушильный комбинат»; пруда «Вычулки» г. Бреста – от попадающих в водоем поверхностных сточных и ливневых вод ОАО «Тепличный комбинат «Берестье».

Библиографические ссылки

1. Власов, Б.П. Природно-хозяйственная классификация озер Беларуси / Б.П. Власов // Выбранные научные работы БДУ, Минск – 2001 – С. 315 – 332.
2. Кириченко, Л.А. Проблемы мониторинга малых водных объектов урбанизированных территорий / Л.А. Кириченко // Мелиорация и сельское строительство. Поиск молодежи: Сборник научных трудов студентов, магистрантов, аспирантов и соискателей. Белорусская государственная сельскохозяйственная академия : под ред. Р. А. Другомилова. – Горки: РПЦ «Печатник», 2019. – С. 67–68.
3. Коронкевич, Н. И. Экстремальные гидрологические ситуации / Отв. ред. Н.И. Коронкевич, Е.А. Барабанова, И.С. Зайцева – М.: Медиа-ПРЕСС, 2010. – 464 с.
4. Floods on the Territory of Polesie. / A.A. Volchak [et al.] // *Procedia Engineering*, 2016. – Vol. 162. – PP. 91–97.
5. Водные ресурсы Беларуси и их прогноз с учетом изменения климата = Water resources of Belarus and their forecast with account of climate change / А. А. Волчек [и др.]. – Брест: Альтернатива, 2017. – 239 с.
6. Szumińska, D. Changes in Hydromorphological Conditions in an Endorheic Lake Influenced by Climate and Increasing Water Consumption, and Potential Effects on Water Quality. / D. Szumińska; S. Czapiewski, J. Goszczyński // *Water*, 2020. – №12. – P. 1348.

7. Малоземова, О.В. Морфометрическая характеристика озер в различных ландшафтах востока Ленинградской области / О.В. Малоземова // Изв. РГПУ им. А.И. Герцена. Сер. Естествознание, 2012. – № 114 – С. 112–121.
8. Морфометрические параметры разнотипных озер севера якутии / Р.М. Городничев [и др.] // Успехи современного естествознания. – 2020. – № 1. – С. 18–25; URL:
9. Санитарные правила и нормы 10-124 РБ 99 "Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества".
10. Санитарные правила и нормы 2.1.2.12-33-2005 «Гигиенические требования к охране поверхностных вод от загрязнения», утвержденные постановлением Главного государственного санитарного врача Республики Беларусь от 28 ноября 2005 г. № 198.
11. ТКП 17.06-17-2018 (33140) Комплексная оценка экологического риска и расчет норм допустимых рекреационных нагрузок на водоемы в зонах отдыха Беларуси.
12. Санитарные нормы и правила «Требования к содержанию поверхностных водных объектов при их рекреационном использовании»; Гигиенический норматив «Допустимые значения показателей безопасности воды поверхностных водных объектов для рекреационного использования», утвержденные Постановлением Министерства здравоохранения Республики Беларусь от 5 декабря 2016 г. № 122.
13. Гигиенические нормативы 2.1.5.10-21-2003 «Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования», утвержденные постановлением Главного государственного санитарного врача Республики Беларусь от 12 декабря 2003 г. № 163.
14. Кириченко, Л.А. Состояние экологического статуса водоемов бассейна реки Западный Буг / Л.А. Кириченко // Вестн. Брестского государств. технич. ун-та. Сер.: Водохозяйственное строительство, теплоэнергетика и геоэкология. – 2019. – № 2 (115). – С. 78–81.
15. Бульская, И. В. Сток с урбанизированных территорий и его очистка / И.В. Бульская, А.А. Волчек // Вестн. Брестского государств. технич. ун-та. Сер.: Водохозяйственное строительство, теплоэнергетика и геоэкология. – 2013. – № 2. – С. 88–92.
16. Rashid I. Impact of anthropogenic activities on water quality of Lidder River in Kashmir Himalayas. / I. Rashid, S.A. Romshoo // Environ Monit Assess. 2013. – 185(6). – PP. 4705-4719.
17. Leslie D.L. Variations in Dissolved Nitrate, Chloride, and Sulfate in Precipitation, Reservoir, and Tap Waters, Columbus, Ohio. / D.L. Leslie, W.B. Lyons // Int. J. Environ Res. Public Health, 2018. – 15(8). – P. 1752.
18. РД 52.24.643-2002 Методические указания: Метод комплексной оценки по гидрохимическим показателям // РОСГИДРОМЕТ. – Ростов на Дону, 2002. – 55 с.
19. Эколого-гидрохимическое состояние водоемов урботерриторий юго-запада Беларуси в зимний период / Л.А. Кириченко и др. // Вестн. Брестского государств. технич. ун-та. Сер.: Водохозяйственное строительство, теплоэнергетика и геоэкология. – 2020. – № 2. – С. 80–82.