

## ОЦЕНКА БИОГЕННОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПРИГОРОДНЫХ ВОДОЕМОВ ВИЛЕЙСКО-МИНСКОЙ ВОДНОЙ СИСТЕМЫ

М. И. Струк, С. Г. Живнач

*Институт природопользования НАН Беларусь, Минск, Беларусь*

**Аннотация.** Представлена оценка биогенного загрязнения водохранилищ Вилейско-Минской водной системы: Вилейского, Заславского, Криница, Дрозды. Рассмотрены внутренние и внешние факторы формирования качества их вод, включая гидрологические параметры самих водоемов и экологическое состояние их водосборных бассейнов. Установлено более благоприятное сочетание этих факторов для Вилейского водохранилища за счет большего объема его водной массы и высокой лесистости водосбора.

Определены уровни и сезонные особенности общей минерализации вод рассматриваемых водохранилищ и концентрации в них биогенных веществ. Выявленна максимальная минерализация для всех водоемов в зимний сезон и более высокая повторяемость биогенного загрязнения для больших водохранилищ – Заславского (37 % случаев) и Вилейского (35 %), по сравнению с малыми – Криница и Дрозды (в каждом по 22 % случаев). Показано превышение экологических норм содержания в водах водохранилищ веществ, вызывающих ихeutrofикация.

Предложены водоохранные меры по снижению поступления в водоемы биогенных веществ, включая разработку и реализацию для них бассейновых планов управления, внедрение почвозащитных технологий обработки сельскохозяйственных земель и совершенствование технологий внесения удобрений, создание и соблюдение режимов водоохранных зон.

**Ключевые слова:** водохранилище; водосборный бассейн; биогенное загрязнение; антропогенноеeutrofикация; водоохранные меры.

**Для цитирования.** Струк М. И., Живнач С. Г. Оценка биогенного загрязнения пригородных водоемов Вилейско-Минской водной системы // Природопользование. – 2023. – № 2. – С. 55–66.

## ASSESSMENT OF BIOGENIC POLLUTION OF THE SUBURBAN RESERVOIRS OF VILEYSKO-MINSKAYA WATER SYSTEM

M. I. Struk, S. G. Zhivnach

*Institute of Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus*

**Abstract.** The assessment of the biogenic pollution of the reservoirs of Vileysko-Minskaya water system: Vileyskoye, Zaslavskoye, Krinitsa, Drodzy is presented. The internal and external factors of their waters quality formation, including the hydrological parameters of the reservoirs themselves and the ecological state of their catchment basins, are considered. More favorable combination of these factors has been established for Vileiskye reservoir due to the larger volume of its water mass and the high forest cover of the catchment basins.

The levels and seasonal features of the total mineralization of the waters of the reservoirs under consideration and the concentration of nutrients in them are determined. The maximum mineralization for all reservoirs in winter season and higher repeatability of biogenic pollution for large reservoirs – Zaslavskoye (37 % of cases) and Vileyskoye (35 %), compared with small ones – Krinitsa and Drodzy (each has 22 % of cases) were identified. The excess of the environmental standards of the substances content in the waters of reservoirs that cause theireutrophication is shown.

Water protection measures are proposed to reduce the flow of biogenic substances into reservoirs, including the development and implementation of basin management plans for them, the introduction of soil protection technologies for processing agricultural land and improving fertilizer application technologies, the creation and observance of water protection zone regimes.

**Keywords:** reservoir; catchment basin; biogenic pollution; anthropogenic eutrophication; water protection measures.

**For citation.** Struk M. I., Zhivnach S. G. Assessment of biogenic pollution of the suburban reservoirs of Vileysko-Minskaya water system. *Nature Management*, 2023, no. 2, pp. 55–66.

**Введение.** Функционирование крупнейшего города сопровождается вовлечением для его нужд водных объектов, расположенных на как собственно городской, так и пригородной территории. По отношению к Минску последним принадлежит ведущая роль, в силу размещения города на водораздельной возвышенности, следствием чего является отсутствие в его пределах и ближайшем окружении достаточно больших водотоков и водоемов, способных обеспечить его водохозяйственные и рекреационные потребности.

Для удовлетворения указанных потребностей на малой р. Свислочи в городской черте, а также на реках пригородной территории были построены водохранилища. В их составе наиболее высокой интенсивностью водохозяйственного и рекреационного использования выделяются водоемы Вилейско-Минской водной системы (ВМВС). Из этих водоемов осуществляется питьевое и промышленное водоснабжение г. Минска; в созданных на их базе зонах отдыха сосредоточено почти 2/3 рекреационно-оздоровительных объектов пригородной территории и концентрируется более половины неорганизованных отдыхающих [1].

Отмеченная водная система была введена в эксплуатацию в 1976 г. Она представляет собой комплекс гидротехнических сооружений, включающий Вилейское водохранилище как водоем-донор, канал для переброски воды с пятью насосными станциями, каскад искусственных водоемов на р. Свислочи, представленный водохранилищами Заславское, Криница и Дрозды.

Эффективность выполнения водохранилищами водохозяйственной и рекреационной функций в решающей степени зависит от качества их вод. В данном отношении основной проблемой рассматриваемых водохранилищ является их антропогенное эвтрофирование, обусловленное избыточным поступлением в водоемы биогенных веществ – соединений азота и фосфора. Оно вызывает «цветение» воды в летний период в пик купального сезона, когда вода хорошо прогревается, затем происходят отмирание и разложение сине-зеленых водорослей, что сопровождается ухудшением качества воды.

Экологическому состоянию водохранилищ ВМВС уделялось внимание ранее в публикациях, посвященных оценке химического загрязнения Вилейского водохранилища [2]; водохранилища Дрозды [3], пригородных водоемов Минска [4–6]. Вместе с тем полученные оценки нуждаются в дополнении для уточнения водоохранных мер по улучшению экологического состояния водохранилищ.

Цель работы – дать оценку биогенного загрязнения водоемов ВМВС и обосновать меры по его снижению. Для ее достижения решались задачи по оценке факторов такого загрязнения, а также выявлению его интенсивности, вещественного состава и сезонных особенностей как научной основы выбора подобного рода мер.

**Объекты и методы исследования.** Объектами исследования выступили водохранилища ВМВС, расположенные на пригородной территории Минска: Вилейское, Заславское, Криница, Дрозды, а также р. Вилия с притоками Илия и Сервечь и р. Свислочь, на которых эти водохранилища построены (рис. 1).

Методическую основу исследования составило применение бассейнового подхода в сочетании с методикой гидрохимической оценки водоемов. Алгоритм исследования включил в себя последовательное выполнение таких этапов, как:

- картографирование бассейнов изучаемых водохранилищ;
- оценка факторов, влияющих на их гидрохимическое состояние;
- оценка биогенного загрязнения водных объектов и его зависимости от водосборных бассейнов;
- обоснование водоохранных мер для каждого из исследуемых водохранилищ.

Для изучаемых водохранилищ и рек, на которых они построены, определяли общую минерализацию вод, а также концентрацию четырех биогенных веществ: нитратов, нитритов, азота аммонийного, фосфора фосфатов. Принимая во внимание особую значимость проблемы антропогенного эвтрофирования водохранилищ, для выявления их подверженности данному процессу использовали две группы критериев. Первую из них составили оценочные критерии, которые опираются на показатели предельно допустимой концентрации (ПДК), установленные для водоемов рыбохозяйственного назначения, вторую – экологические критерии оценки качества водных объектов [7–9].

Исходные данные о концентрации в водных объектах химических веществ авторы получили в результате полевых исследований, проведенных во все сезоны года в период с 2009 по 2022 г. Водные пробы отбирали в водохранилищах, а также в реках выше и ниже водохранилищ. Всего отобрали и проанализировали 172 пробы.

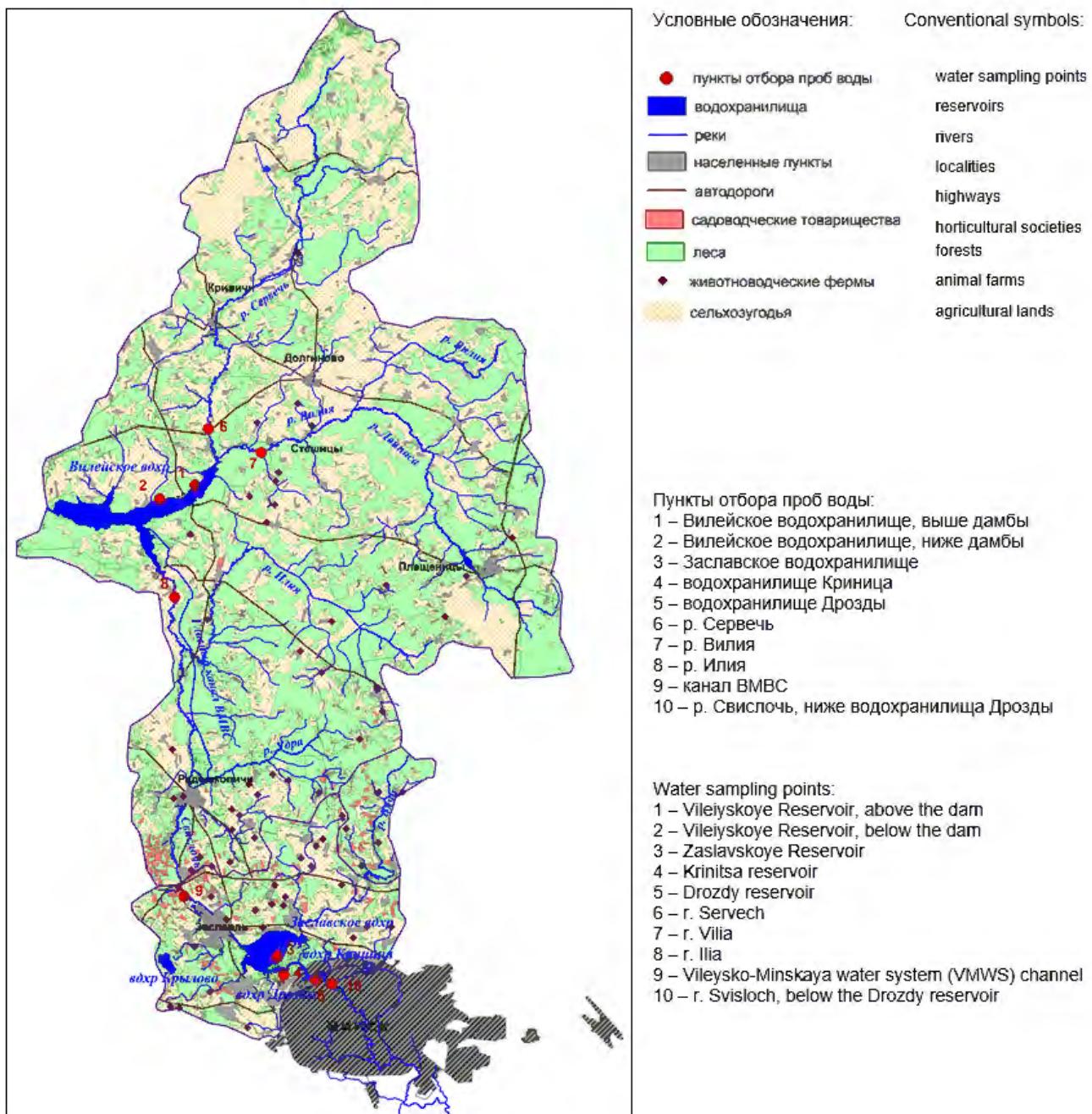


Рис. 1. Пункты отбора проб воды на водных объектах ВМВС

Fig.1. Water sampling points at the water bodies of the VMWS

### Результаты исследования.

**Факторы, оказывающие влияние на гидрохимическое состояние водоемов ВМВС.** На химический состав вод водохранилища оказывают влияние две группы факторов: внутренние и внешние. Первые из них связаны с его гидрологическими параметрами, вторые – с экологическим состоянием водосборных бассейнов.

**Внутренние факторы.** В составе рассматриваемых водохранилищ выделяются два крупных – Вileйское и Заславское и два малых – Криница и Дрозды. Вileйское водохранилище вообще является самым большим искусственным водоемом Беларуси. Его площадь составляет 63,8 км<sup>2</sup>, максимальная глубина – 13 м, длина – 27 км, ширина – 3 км. Заславское водохранилище – второй по величине искусственный водоем в стране площадью 25,6 км<sup>2</sup>. Его наибольшая глубина составляет 8,6 м, длина – 9 км, ширина – 4 км.

Водохранилища Криница и Дрозды являются продолжением Заславского водохранилища. Они характеризуются схожими параметрами. Первое из них имеет площадь 0,96 км<sup>2</sup>, наибольшую глубину – 5,2 м, длину – 2,8 км, ширину – 0,7 км. Второе – 2,1 км<sup>2</sup>, 6 м, 6 км, 0,6 км соответственно [10, 11].

Заславское водохранилище наполняется за счет водных ресурсов, поступающих из нескольких источников: во-первых, формирующей его малой реки Свислочи с притоками Вяча, Чернявка, Ратомка, Поплав; во-вторых, канала Вилейско-Минской водной системы. Вклад первого из этих источников составляет 3,2 м<sup>3</sup>/с.

Поступление водных ресурсов из канала ВМВС в р. Свислочь, согласно проекту в маловодном году 95%-ной обеспеченности летом должен был составлять 17 м<sup>3</sup>/с, зимой – 12,85 м<sup>3</sup>/с. Для этого необходимый годовой объем переброски части стока из Вилейского водохранилища в р. Свислочь определялся в 382 млн м<sup>3</sup>, или 12,1 м<sup>3</sup>/с. В начале 2000-х годов переброска стока из Вилейского водохранилища в бассейн р. Свислочи снизилась в среднем до 5,3 м<sup>3</sup>/с [12]. В последнее десятилетие, по данным УП «Минскводоканал», она уменьшилась до 3,2 м<sup>3</sup>/с [13].

К основным гидрологическим параметрам водохранилища, определяющим его устойчивость к внешним воздействиям, относятся объем воды, проточность и глубина [14, 15]. От объема воды зависит разбавляющая способность водоема, от проточности – образование застойных явлений, от глубины – температура воды, оказывающая влияние на эвтрофирование.

Рассматриваемые водохранилища имеют большие различия по своим гидрологическим параметрам (табл. 1). Максимальной величиной объема водной массы отличаются водохранилища Вилейское и Заславское, у которых он составляет 238 и 100 млн м<sup>3</sup> соответственно. С последним непосредственно связаны водохранилища Криница и Дрозды, объем которых существенно меньше – 1,8 млн м<sup>3</sup> у первого и 5,7 млн м<sup>3</sup> у второго.

**Таблица 1. Факторы формирования качества воды водохранилищ ВМВС**

**Table 1. Factors of the water quality formation of VMWS reservoirs**

Показатель	Водохранилище			
	Вилейское	Заславское	Криница	Дрозды
<i>Гидрологические параметры водохранилища</i>				
Объем воды, млн м <sup>3</sup>	238	100	1,8	5,7
Водообмен, раз за год	2	3,2	122	52
Средняя глубина, м	3,7	3,9	1,9	2,7
<i>Экологическое состояние водосборного бассейна</i>				
Площадь, км <sup>2</sup>	4120	562	610	649
Доля ландшафтов (%):				
возвышенных	23	74	74	74
равнинных	58	15	15	15
низинных	19	11	11	11
Потенциальный смыв почвы, т/га	3,0	4,3	4,3	4,3
Лесистость, %	48	29	29	29
Доля земель, %:				
сельскохозяйственных	39	45	45	45
занятых сельскими поселениями	5	14	14	14
занятых садоводческими товариществами	0,5	4	4	4

Показатель средней глубины более высокий у крупных водохранилищ – почти 4 м, у малых водохранилищ он в 1,4–2,0 раза меньше. По проточности соотношения обратные, соответствующие показатели малых водохранилищ в десятки раз превосходят таковые больших. В то же время даже присущий Вилейскому водохранилищу минимальный водообмен (2 раза в год) соответствует установленным нормам для водохранилищ рекреационного назначения [15–17].

Принимая во внимание приведенные гидрологические параметры исследуемых водохранилищ, можно определить их устойчивость к загрязнению как сравнительно высокую. Для Вилейского и Заславского водохранилищ подобную степень устойчивости обеспечивает большой объем водной массы, для водохранилищ Криница и Дрозды, которые являются по сути продолжением Заславского водохранилища, – высокая проточность.

Отмеченная устойчивость водохранилищ к загрязнению отражает лишь предпосылки его проявления. Их реальное экологическое состояние будет зависеть также от количества поступающих загрязняющих веществ и специфики происходящих в каждом из водохранилищ гидрологических, гидрохимических и гидробиологических процессов.

**Внешние факторы.** Исследуемые пригородные водохранилища построены на малых реках, что обуславливает повышенную зависимость качества их вод от экологического состояния водосборных бассейнов. Длина рек до верхнего бьефа водохранилищ Заславское, Криница, Дрозды не превышает 30 км. Применительно к Вилейскому водохранилищу, которое создано в месте слияния трех рек – Сервечи, Вилии и Илии, она повышается до 60–75 км.

Вилейское водохранилище выделяется также самой большой площадью водосборного бассейна – 4,1 тыс. км<sup>2</sup>. У водохранилищ, построенных на р. Свислочь, она меньше в 6–7 раз.

Для оценки экологического состояния водосборных бассейнов вначале рассмотрено их природно-ландшафтное строение, от которого зависит хозяйственное освоение территории, а также специфика поступления загрязняющих веществ в водные объекты; затем характер этого освоения, видовая структура земель, наличие и размещение источников загрязнения вод, а также лесистость как элемент экологической стабилизации.

Ландшафтную структуру изучаемых бассейнов формируют ландшафты трех высотных уровней: возвышенные, равнинные и низинные. В пределах водосборного бассейна Заславского водохранилища преобладают возвышенные холмисто-моренно-эрэзионные ландшафты, занимающие 3/4 территории, наибольшая доля приходится на подрод данных ландшафтов с покровом лёссовидных суглинков, которые отличаются самой высокой эрозионной опасностью.

В бассейне Вилейского водохранилища холмисто-моренно-эрэзионные ландшафты занимают только шестую часть территории. Для него в наибольшей мере характерны вторично-моренные ландшафты (около 2/3 территории). При этом бассейны каждой из формирующихся данное водохранилище рек имеют свои особенности.

Для бассейнов рек Вилии и Сервечи отмечается схожая ландшафтная структура, с наибольшей долей вторично-моренных ландшафтов (более половины территории). В бассейне р. Двины примерно равные доли территории (около 1/3) приходятся на вторично-моренные и камово-моренно-эрэзионные ландшафты. В бассейне р. Илии преобладают холмисто-моренно-эрэзионные ландшафты (половина территории).

Опираясь на ландшафтную структуру водосборных бассейнов, можно определить основные потенциальные каналы поступления загрязняющих веществ в водные объекты. Для бассейнов с высокой долей возвышенных ландшафтов, которые характеризуются высокой интенсивностью почвенной эрозии, но большей степенью защищенности грунтовых вод, приоритетным каналом такого рода выступит поверхностный сток. Для бассейнов с преобладанием низинных ландшафтов, характеризующихся слабой подверженностью эрозии и низкой защищенностью грунтовых вод – подземный сток. Для бассейнов, занятых в основном равнинными ландшафтами, где сочетаются умеренная эрозионная опасность и такая же защищенность грунтовых вод, – оба названных канала.

Принимая во внимание приведенные особенности ландшафтной структуры водосборных бассейнов рассматриваемых водохранилищ, можно заключить, что для водохранилищ Заславское, Криница, Дрозды основным потенциальным каналом загрязнения вод выступит поверхностный сток. Для Вилейского водохранилища загрязняющее значение поверхностного и подземного стока будет примерно равнозначным.

Величина поступления загрязняющих веществ с поверхностным стоком в водоемы будет зависеть от интенсивности эрозионных процессов. Для ее определения выполнены расчеты потенциального выноса почв с территории водосборов и доли эрозионных форм в их пределах (табл. 2).

**Таблица 2. Интенсивность эрозионных процессов на территории водосборных бассейнов рек и водохранилищ ВМВС**

**Table 2. Intensity of erosion processes in the drainage basins of rivers and reservoirs of the VMWS**

Бассейны рек и водохранилищ	Возможный вынос почвы с водосбора, т/га	Доля эрозионных форм, %
Вилейское вдхр., в том числе:		
р. Вилия	3,0	2,3
р. Илия	3,8	2,2
р. Двины	6,9	2,6
р. Сервечь	5,3	1,3
Заславское вдхр. (включая вдхр. Криница, Дрозды)	2,3	2,4
	4,3	3,0

Возможный смыв почвы, а также доля эрозионных форм в бассейне Заславского водохранилища составляют 4,3 т/га и 3,0 % соответственно, что выше аналогичных показателей бассейна Вилейского водохранилища в 1,4 и 1,3 раза. Внутри последнего разница в интенсивности потенциального выноса почв между его составными частями довольно велика: в бассейне р. Илии она достигает максимального значения – 6,9 т/га, что в 3 раза выше, нежели в бассейне р. Сервечь.

В пределах рассматриваемых водосборных бассейнов наибольшие площади занимают сельскохозяйственные земли и леса (см. рис. 1). Их совместная доля превышает 70 %. При этом в бассейне Заславского водохранилища площадь сельскохозяйственных земель превышает таковую лесов, у Вилейского водохранилища – наоборот.

Характерной особенностью бассейнов, которые расположены ближе к городу, является их высокая занятость населенными пунктами и садоводческими товариществами. Суммарная доля таковых в бассейне Заславского водохранилища составляет 18 %, у более отдаленного бассейна Вилейского водохранилища она в 2,3 раза ниже – 8 %.

Животноводческие объекты на территории водосборных бассейнов представлены, главным образом, фермами крупного рогатого скота. Плотность животноводческих ферм зависит от степени сельскохозяйственного освоения бассейнов. Более высокое ее значение приходится на бассейн Заславского водохранилища – 5 объектов на 100 км<sup>2</sup>, низкое – на бассейн Вилейского водохранилища – 1 объект на 100 км<sup>2</sup>.

Сельскохозяйственные земли вместе с землями населенных пунктов отражают уровень антропогенного преобразования бассейнов. Леса, наоборот, характеризуют их естественный водорегулирующий и водоохраный потенциал. Исследуемые водохранилища характеризуются высоким (Вилейское) и средним (Заславское, Криница, Дрозды) значением этого потенциала.

Опираясь на рассмотренные особенности ландшафтной структуры, видов земель, проявления эрозионных процессов, размещения источников загрязнения вод в водосборных бассейнах пригородных водохранилищ, можно разделить их по потенциальной опасности такого загрязнения. В меньшей степени она будет проявляться у бассейна Вилейского водохранилища за счет высокой лесистости и низкой доли сельскохозяйственного освоения и застройки. Более высокой опасностью загрязнения будут характеризоваться бассейны водохранилищ, расположенных на р. Свислочи, – Заславского, Криница и Дрозды. Они отличаются сравнительно низкими показателями лесистости и высокими – застройки, сельскохозяйственного освоения и эрозионной опасности.

Совместный учет приведенного экологического состояния водосборных бассейнов и представленных выше гидрологических свойств самих пригородных водохранилищ дает основание для оценки предпосылок формирования качества вод. Более благоприятными они будут у Вилейского водохранилища, которое отличается сочетанием высокой лесистости водосбора и такого же объема водной массы. Менее благоприятными – у водохранилищ Заславское и связанных с ним водохранилищ Криница и Дрозды, где показатели лесистости бассейнов и объема водной массы ниже.

**Оценка биогенного загрязнения водоемов ВМВС.** Для определения влияния водосборного бассейна на гидрохимическое состояние водохранилища рассмотрена минерализации воды в трех створах, расположенных в такой последовательности: «река выше водохранилища – водохранилище – река ниже водохранилища». Самое высокое значение соответствующего показателя получено в р. Свислочь выше водохранилища и самое низкое – в водохранилищах Заславское, Криница, Дрозды (рис. 2, а). Подобное его распределение свидетельствует о том, что отмеченное влияние бассейна является решающим. Кроме того, в нем также находит отражение своеобразная опресняющая роль водохранилища. Для оценки вклада речных вод в поступление химических веществ для Вилейского водохранилища тоже отбирались пробы из наполняющих его рек – Вилии, Илии, Сервичи. Минерализация рек и самого водохранилища оказались примерно на одном уровне (рис. 2, б).

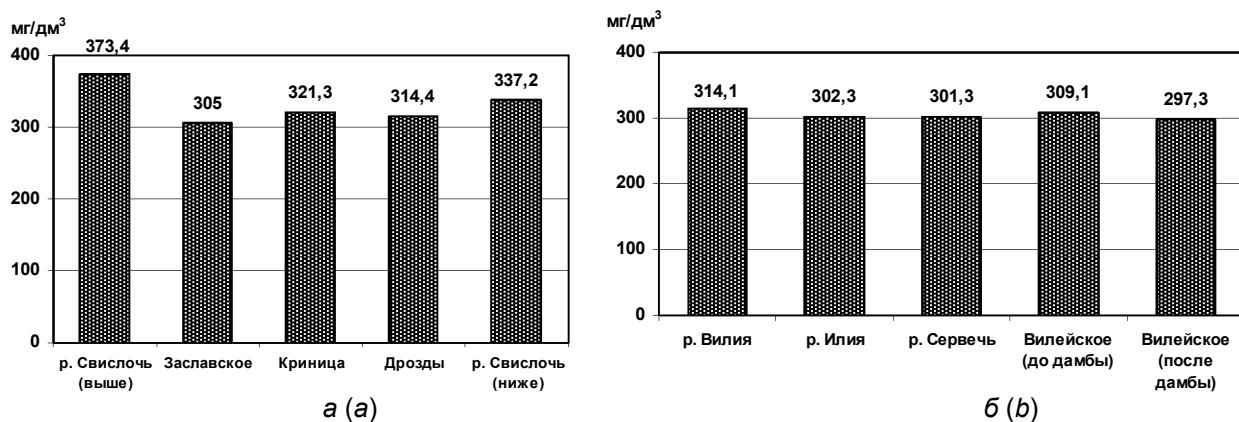


Рис. 2. Среднегодовая минерализация вод водохранилищ Заславское, Криница, Дрозды, реки Свислочь (а) и Вилейского водохранилища и связанных с ним рек (б)

Fig. 2. Average annual mineralization of the waters of the Zaslavskoye, Krinitsa, Drozdy reservoirs, the Svisloch River (a) and the Viley Reservoir and associated rivers (b)

В сезонном распределении минерализации воды в водохранилищах прослеживается внутригодовая динамика от наибольшей ее величины зимой до наименьшей – летом (Заславское, Криница, Дрозды) и весной в период снеготаяния (Вилейское) (рис. 3). Более высокая минерализация в зимний период соответствует гидрохимическому режиму озер Беларуси [18]. Для Вилейского водохранилища отбор проб осуществлялся из двух его частей – выше и ниже разделяющей водохранилище дамбы, что соответствует разным гидрологическим зонам районирования Вилейского водохранилища по условиям седиментации [2, 15]. За период с 2009 по 2022 г. в среднем минерализация вод водохранилища была несколько выше в верхней его части, до дамбы (см. рис. 3).

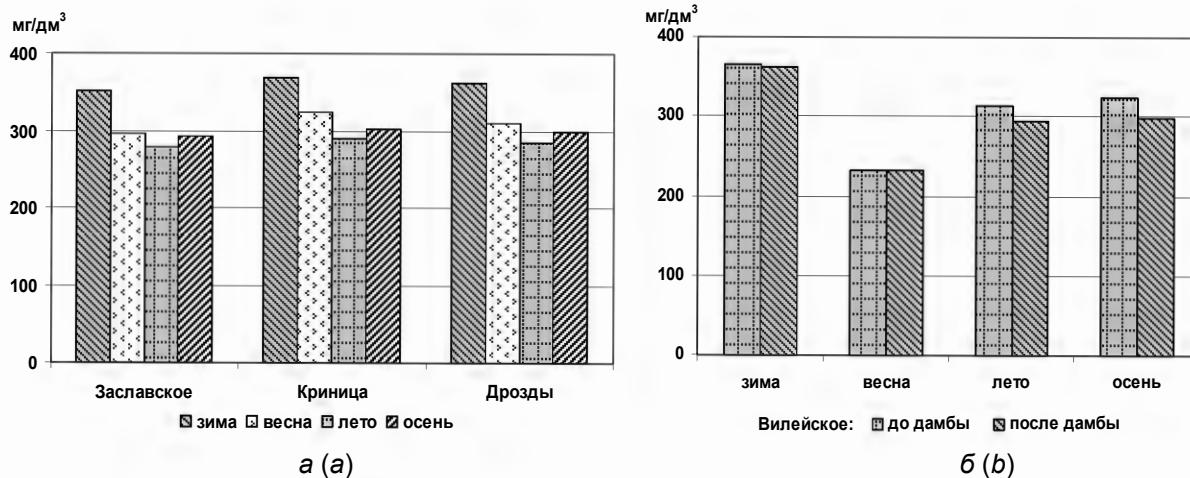


Рис. 3. Среднегодовая минерализация вод водохранилищ Заславское, Криница, Дрозды (а) и Вилейское (б) по сезонам года

Fig. 3. Average annual mineralization of waters of the Zaslavskoye, Krinitsa, Drozdy (a) and Viley skoye (b) reservoirs by season

Для оценки биогенного загрязнения рек и водохранилищ выполнены расчеты среднегодовых концентраций каждого из биогенных веществ по всем трем створам. Кроме того, определялась также частота случаев превышения ПДК.

В водохранилищах Заславское, Криница, Дрозды среднегодовых концентраций биогенных веществ выше ПДК не выявлено. Так, содержание нитритов ниже 0,08 mg/dm<sup>3</sup> (ПДК), азота аммонийного – ниже 0,39, нитратов – ниже 40, фосфора фосфатов – ниже 0,066 mg/dm<sup>3</sup> (рис. 4). По всем веществам они находятся на схожем уровне.

В то же время по содержанию различных веществ в реке выше и ниже водохранилища отмечаются различия. Если по азоту аммонийному и нитратам оно является более высоким в реке выше водохранилища, что аналогично распределению показателя общей минерализации, то по нитритам и фосфору фосфатов наоборот более высокие значения фиксируются в реке ниже водохранилища. В последнем случае опресняющая роль водохранилища не прослеживается.

Концентрация биогенных элементов в воде Вилейского водохранилища и рек, его питающих, находится на том же уровне, что и для остальных пригородных водохранилищ. По среднегодовому содержанию большинства биогенных элементов Вилейское водохранилище характеризуется более низкими концентрациями по сравнению с остальными водохранилищами: концентрация нитритов составляет 0,053 mg/dm<sup>3</sup>, азота аммонийного – 0,25, фосфора фосфатов – 0,013 mg/dm<sup>3</sup>. Исключение составляют нитраты, их содержание в нем достигает 6,4 mg/dm<sup>3</sup>, что в 1,2 раза выше.

Для определения влияния подземных вод, питающих водохранилище, на его гидрохимическое состояние отбирались пробы воды из двух колодцев вблизи Вилейского водохранилища, находящихся на различном гипсометрическом уровне и удалении от водоема (60 м и 180 м). Установлено, что общая минерализация вод колодцев в среднем в 1,6 раза выше, чем вод водохранилища (рис. 5). Для обоих колодцев выявлено существенное нитратное загрязнение (максимальное зафиксированное – 9,8 ПДК), которое значительно (в 5–7 раз) снизилось за период наблюдений, что может быть обусловлено изменениями условий ведения хозяйства на прилегающих территориях – прекращением содержания животных в личных подсобных хозяйствах.

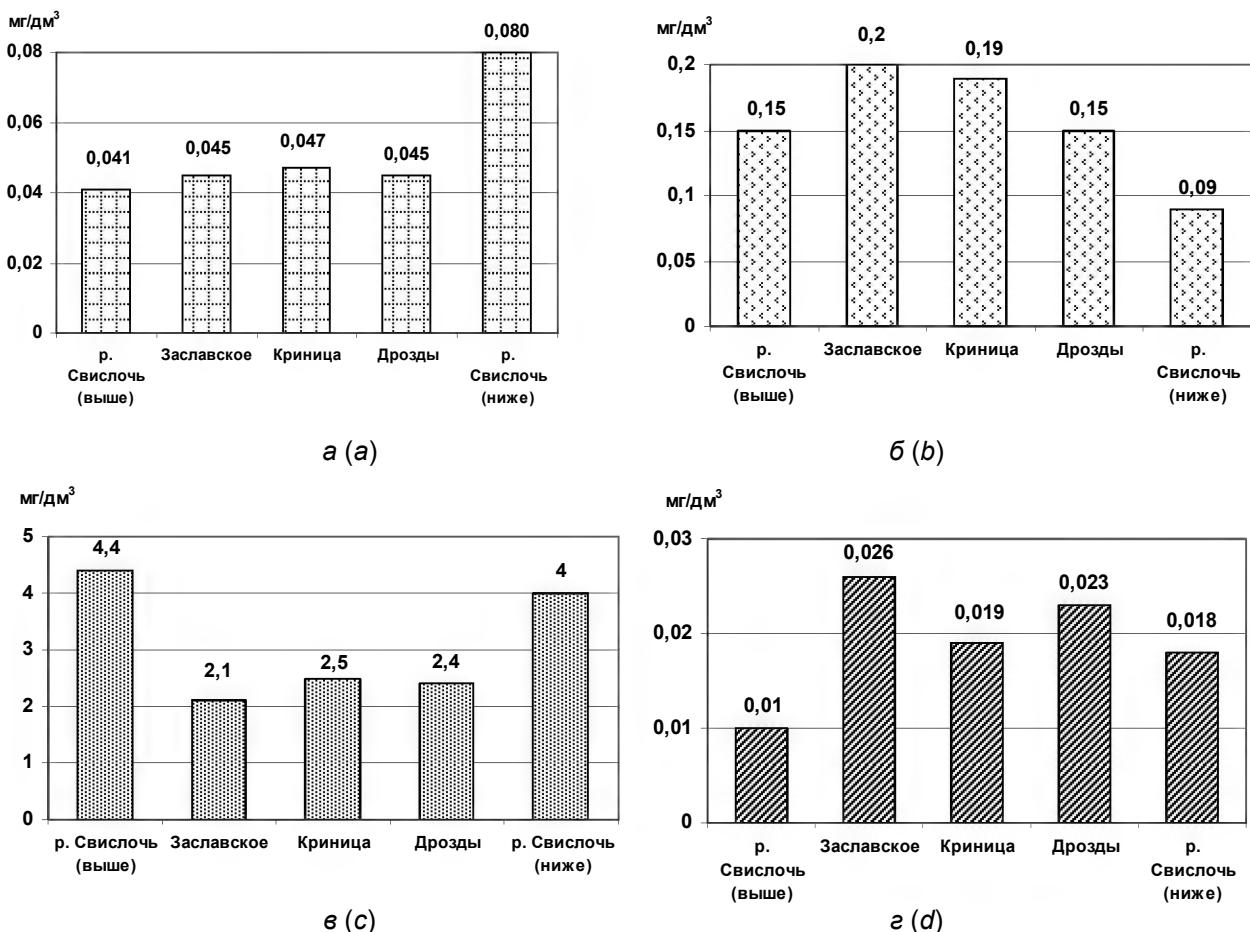


Рис. 4. Среднегодовые концентрации нитритов (а), аммонийного азота (б) и нитратов (в) и фосфора фосфатов (г) в воде водохранилищ Заславское, Криница, Дрозды и в р. Свислочи

Fig. 4. Average annual concentrations of nitrites (a), ammonium nitrogen (b) and nitrates (c) and phosphorus phosphates (d) in the water of the Zaslavskoye, Krinitsa, Drozdy reservoirs and in the river Svisloch

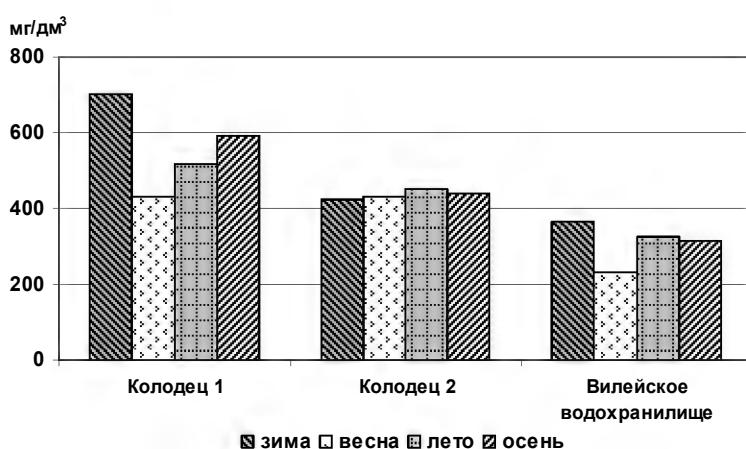


Рис. 5. Среднегодовая минерализация вод Вилейского водохранилища и расположенных вблизи водохранилища колодцев,  $\text{mg}/\text{dm}^3$

Fig. 5. Average annual mineralization of the waters of the Vileyiske reservoir and wells located near the reservoir,  $\text{mg}/\text{dm}^3$

За период наблюдений в воде всех водоемов периодически фиксировались разовые превышения ПДК по азоту аммонийному, азоту нитритному, фосфору фосфатов (рис. 6). Их повторяемость была более высокой у крупных водоемов. Общая доля отобранных проб с превышением ПДК по всем веществам составила 37 % для Заславского и 34 % для Вилейского водохранилища, что соответственно в 1,9 и 1,4 раза больше, нежели у водохранилищ Криница и Дрозды (по 22 % в каждом).

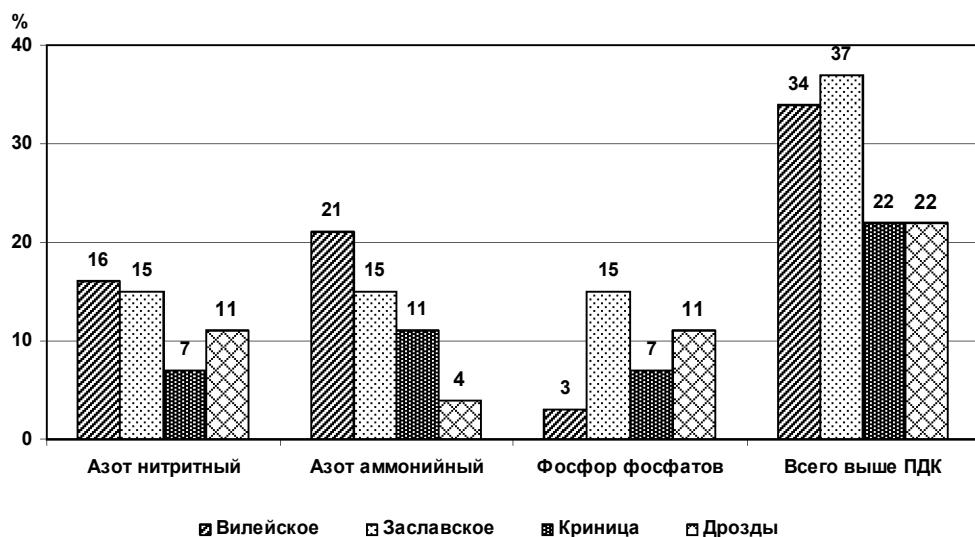


Рис. 6. Частота превышения ПДК биогенных элементов в воде водохранилищ ВМВС, %

**Fig. 6. Frequency of exceeding the maximum permissible concentration of nutrients in the water of VMWS reservoirs, %**

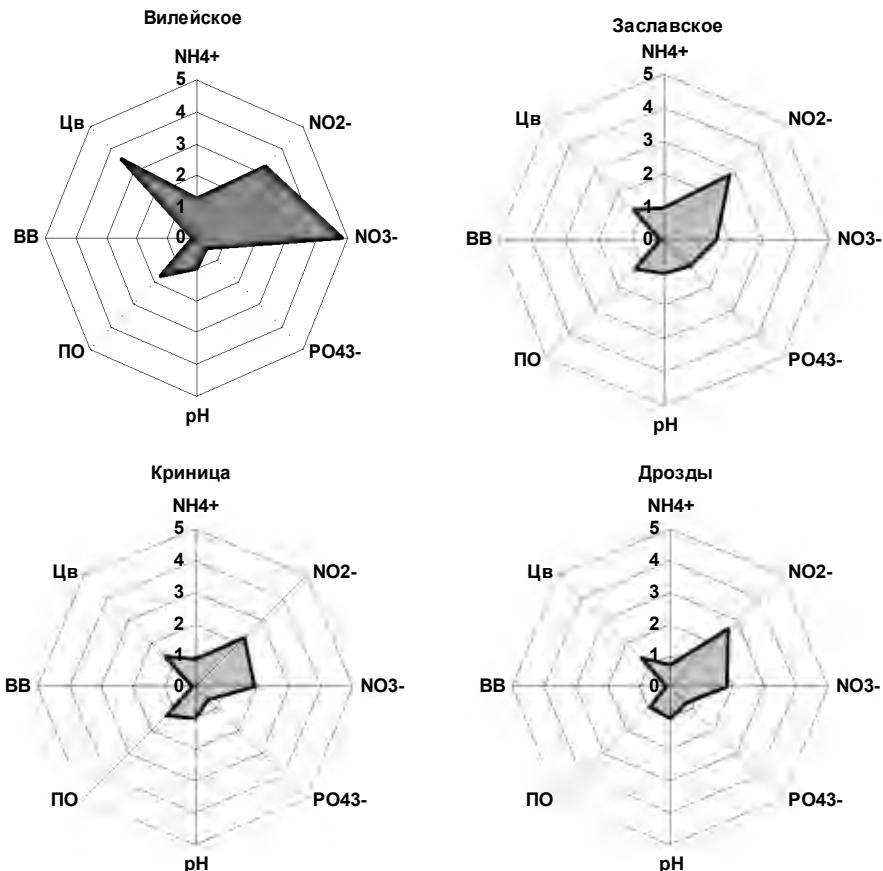
В вещественном составе загрязнения максимальный уровень превышения норм отмечался для фосфора фосфатов – 3 ПДК (Заславское водохранилище). Для азота нитритного он составил 1,9 ПДК (водохранилища Вилейское и Криница), азота аммонийного – 1,4 ПДК (Вилейское водохранилище).

Для определения подверженности водоема эвтрофированию недостаточно ограничиться только рыбохозяйственным критерием, а следует использовать также экологический критерий, устанавливающий пороговые значения, при соблюдении которых процесс эвтрофирования не получает развития. Численные значения концентраций в воде биогенных веществ в данном случае являются более низкими. Кроме того, в состав экологических показателей помимо биогенных веществ входит также уровень кислотности (рН), перманганатная окисляемость, цветность воды, взвешенные вещества.

Выполнено сопоставление допустимых величин экологических показателей с численными значениями концентрации указанных веществ в исследуемых водохранилищах. Определено превышение экологических норм для всех водохранилищ по нитритам и нитратам. По нитритам значение выше нормы в 3,2 раза фиксируется для Вилейского водохранилища, в 2,8 раза – для Заславского, в 2,2 раза – для Криница, в 2,6 раза – для водохранилища Дрозды. По нитратам – в 4,8 раза для Вилейского водохранилища, в 1,6 раза – для Заславского, в 1,9 раза – для водохранилищ Криница и Дрозды (рис. 7).

По фосфору фосфатов превышение в 1,2 раза наблюдается для Заславского водохранилища. Показатель цветности превышен в воде Вилейского водохранилища в 3,5 раза. Превышения по показателю перманганатной окисляемости в 1,2 раза отмечается также для водохранилищ Вилейское, Заславское и Криница. Значения показателей уровня кислотности и концентрации взвешенных веществ близки к экологическим нормативам.

Приведенные превышения экологических норм концентрации в водах всех рассматриваемых водохранилищ биогенных и иных значимых для эвтрофирования веществ свидетельствуют об их подверженности данному явлению, что периодически приводит к «цветению» воды. Выполненные натурные наблюдения показали, что оно отмечалось повсеместно во второй половине июля примерно в 60 % случаев.



**Рис. 7. Превышение экологических норм концентрации биогенных веществ в воде водохранилищ ВМВС:**  
Цв – цветность; ВВ – взвешенные вещества; ПО – перманганатная окисляемость

**Fig. 7. Exceeding environmental standards for the concentration of nutrients in the water of reservoirs VMWS:**  
Tsv – color; SS – suspended solids; PO – permanganate oxidation

**Водоохраные меры.** С учетом подверженности водоемов ВМВС антропогенному эвтрофированию, основное направление водоохраных мер для них следует ориентировать на снижение поступления в эти водоемы биогенных веществ с водосборов. Содержание данных мер должно включать:

- 1) разработку и реализацию целевых бассейновых планов управления водными ресурсами рассматриваемых водохранилищ, что создаст предпосылки для системного решения проблемы их загрязнения;
- 2) применение почвозащитных технологий обработки сельскохозяйственных земель, обеспечивающих уменьшение почвенной эрозии и создание барьеров в ложбинах стока для предотвращения попадания продуктов эрозии в водотоки и водоемы (наиболее значимо для Заславского водохранилища и бассейна р. Ильи);
- 3) улучшение технологий применения удобрений, вносимых на сельскохозяйственные земли для их максимально полного усвоения растениями и минимизации поверхностного смыва и поступления в грунтовые воды;
- 4) установление водоохраных зон для водохранилищ и рек, на которых они построены и соблюдение режимов их использования;
- 5) обеспечение должного санитарного состояния населенных пунктов, расположенных в водоохранных зонах водохранилищ и рек, на которых они построены, с целью предотвращения смыва с их территории загрязняющих веществ, уделяя особое внимание поселениям, где размещены животноводческие фермы:
  - в бассейне водохранилищ Заславское, Криница, Дрозды – поселений Аронова Слобода, Векшицы, Вишневка, Дехновка, Захаричи, Ляховщина, Малые Гаяны, Мацки, Семково, Соломоречье;
  - в бассейне Вилейского водохранилища – поселений Волоки, Дубровка, Калачи, Козлевщина, Козлы, Пухляки, Совденевичи, Соколовка, Щербины, Якубовичи.

**Выводы.**

1. По сочетанию внутренних и внешних факторов формирования качества вод пригородных водохранилищ Вилейско-Минской водной системы, связанных с их гидрологическими параметрами и экологическим состоянием водосборных бассейнов, более благоприятными предпосылками обладает Вилейское водохранилище, благодаря большому объему водной массы и высокой лесистости водосбора.

2. Основным источником загрязнения водоемов выступает сельское хозяйство, влияние которого усиливается для водохранилищ Заславское, Криница, Дрозды за счет высокой эрозионной опасности их водосборных бассейнов, занятых преимущественно возвышенными ландшафтами.

3. В вещественном составе загрязняющих веществ превышения ПДК имеют место по азоту аммонийному, азоту нитритному и фосфору фосфатов; более высокой повторяемостью биогенного загрязнения (34–37 % случаев) выделяются крупные водохранилища – Заславское и Вилейское, по сравнению с малыми – Криница и Дрозды (каждое по 22 % случаев).

4. Уровни концентрации веществ, вызывающих антропогенное эвтрофирование водоемов повсеместно выше санитарных норм, что способствует его развитию и ухудшению качества вод.

5. Для снижения биогенного загрязнения водоемов приоритетное значение имеют водоохранные меры по предотвращению почвенной эрозии, внедрению экологически оптимальных технологий применения удобрений в сельском хозяйстве, созданию защитных барьеров на путях миграции загрязняющих веществ, соблюдению режимов водоохранных зон.

**Список использованных источников**

1. Струк, М. И. Бассейновый критерий организации природного каркаса пригородной территории (на примере Минска) / М. И. Струк, С. Г. Живнач // Природопользование. – 2021. – № 1. – С. 62–72.
2. Широков, В. М. Вилейское водохранилище / В. М. Широков, П. С. Лопух. – Минск : Университетское, 1989. – 80 с.
3. Логинова, Е. В. Эколо-географическая оценка состояния поверхностных вод Минской городской агломерации : автореф. дис. ... канд. геогр. наук : 11.00.11 / Е. В. Логинова. – Минск, 1999. – 21 с.
4. Струк, М. И. Оценка химического загрязнения пригородных водоемов Вилейско-Минской водной системы / М. И. Струк, О. В. Кадацкая // Прикладная лимнология : сб. науч. ст. / БГУ ; под общ. ред. П. С. Лопуха. – Минск : БГУ, 2000. – Вып. 2. – С. 128–134.
5. Струк, М. И. Геоэкологическая оценка пригородных водохранилищ Минска / М. И. Струк, С. Г. Живнач, Г. М. Бокая // Природопользование. – Минск, 2013. – Вып. 23. – С. 115–124.
6. Жукинский, В. Н. Методологические основы экологической классификации качества поверхностных вод суши / В. Н. Жукинский, О. П. Оксюк // Гидробиологический журнал. – 1983. – Т. 19, № 2. – С. 59–67.
7. Принципы и опыт построения экологической классификации качества поверхностных вод суши / В. Н. Жукинский [и др.] // Гидробиологический журнал. – 1981. – Т. 17. – С. 38–49.
8. Водные объекты Республики Беларусь [Электронный ресурс] : справочник / Министерство природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь, РУП ЦНИИКИВР. – Минск, 2010. – Режим доступа: [http://www.cricuwr.by/static/INVENT\\_VO/FrontPage.htm](http://www.cricuwr.by/static/INVENT_VO/FrontPage.htm). – Дата доступа: 25.03.2023.
9. О некоторых вопросах нормирования качества воды рыбохозяйственных водных объектов : постановление Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Респ. Беларусь и Министерства здравоохранения Респ. Беларусь, 8 мая 2007 г., № 42/43. – Режим доступа: <https://pravo.by/document/?guid=3961&p0=W20716491>. – Дата доступа: 25.03.2023.
10. Блакітны скарб Беларусі. Рэкі, азёры, вадасховішчы, турысцкі патэнцыял водных аб'ектаў. – Мінск : Беларуская энцыклапедыя, 2007. – 477 с.
11. Энцыклапедыя прыроды Беларусі. – Мінск : Беларуская Савецкая энцыклапедыя імя Петруся Броўкі, 1983. – 574 с.
12. Михневич, Э. И. Роль водообмена в улучшении экологического состояния водохранилищ водной системы г. Минска / Э. И. Михневич // Материалы III Международного водного форума, 2–3 октября. – Минск, 2008. – С. 279–280.
13. Вилейско-Минская водная система [Электронный ресурс] / УП «Минскводоканал». – Минск, 2023. – Режим доступа: <https://minskvodokanal.by/about/activities/vileika-minsk-water-system/>. – Дата доступа: 25.09.2023.
14. Авакян, А. Б. Водохранилища / А. Б. Авакян, В. П. Салтанкин, В. А. Шарапов. – М. : Мысль, 1987. – 323 с.
15. Лопух, П. С. Гидрология водохранилищ / П. С. Лопух. – Минск, 2013. – 342 с.
16. Охрана природы. Гидросфера. Классификация водных объектов [Электронный ресурс] : ГОСТ 17.1.1.02-77 : утв. и введ. постановлением Государственного комитета стандартов Совета Министров СССР, 4 февр. 1977 г., № 299. – Режим доступа: <https://rostest.info/gost/001.013.060/gost-17.1.1.02-77/>. – Дата доступа: 25.03.2023.
17. Типовые правила эксплуатации водохранилищ [Электронный ресурс] : РД 33-32-08-87 : утв. приказом Министерства мелиорации и водного хозяйства СССР, 6 апр. 1987 г., № 141. – Введ. 01.10.1987. – Режим доступа: <https://library-full.nadzor-info.ru/doc/10766/>. – Дата доступа: 25.03.2023.
18. Власов, Б. П. Антропогенная трансформация озер Беларуси: геоэкологическое состояние, изменения и прогноз / Б. П. Власов. – Минск, 2004. – 207 с.

## References

1. Struk M. I., Zhivnach S. G. *Bassejnovyj kriterij organizacii prirodnogo karkasa prigorodnoj territorii (na primere Minska)* [Basin criterion for organization of the natural frame of a suburban area (on the example of Minsk)]. *Prirodopol'zovanie = Nature Management*, 2021, no. 1, pp. 62–72. (in Russian)
2. Shirokov V. M., Lopuh P. S. *Vilejskoe vodoohranilishche* [Vileyanskoye reservoir]. Minsk, 1989, 80 p. (in Russian)
3. Loginova E. V. *Ekologo-geograficheskaja ocenka sostoyaniya poverhnostnyh vod Minskoy gorodskoj aglomeracii : avtoref. dis. kand. geogr. nauk* [Ecological-geographical assessment of the state of surface waters in the Minsk urban agglomeration. Dr. biol. sci. diss.]. Minsk, 1999, 21 p. (in Russian)
4. Struk M. I., Kadackaya O. V. *Ocenka himicheskogo zagruzneniya prigorodnyh vodoemov Vilejsko-Minskoy vodnoj sistemy* [Assessment of chemical pollution of suburban water bodies of the Vileyansk-Minsk water system]. *Prikladnaya limnologiya = Applied Limnology*. Minsk, 2000, pp. 128–134. (in Russian)
5. Struk M. I., Zhivnach S. G., Bokaya G. M. *Geoekologicheskaja ocenka prigorodnyh vodoohranilishch Minska* [Geo-ecological assessment of suburban reservoirs of Minsk]. *Prirodopol'zovanie = Nature Management*, 2013, issue 23, pp. 115–124. (in Russian)
6. Zhukinskij V. N., Oksiyuk O. P. *Metodologicheskie osnovy ekologicheskoy klassifikacii kachestva poverhnostnyh vod sushi* [Methodological basis for the ecological classification of the quality of terrestrial surface waters]. *Gidrobiologicheskij zhurnal = Hydrobiological Journal*. Kiev, 1983, issue 19, no. 2, pp. 59–67. (in Russian)
7. Zhukinskij V. N., Oksiyuk O. P., Olenik G. N., Kosheleva S. I. *Principy i opyt postroenija ekologicheskoy klassifikacii kachestva poverhnostnyh vod sushi* [Principles and experience of constructing an ecological classification of the quality of land surface waters]. *Gidrobiologicheskij zhurnal = Hydrobiological Journal*. Kiev, 1981, pp. 38–49. (in Russian)
8. *Vodnye ob'yekty Respubliki Belarus : spravochnik*. [Water bodies of the Republic of Belarus]. Ministerstvo prirodnih resursov i ohrany okrughayushchey sredy Respubliki Belarus. RUP CNIIKIVR [Ministry of Natural Resources and Environmental Protection of the Republic of Belarus. RUE 'Central Research Institute for the Integrated Use of Water Resources']. Available at: [http://www.cricuwr.by/static/INVENT\\_VO/FrontPage.htm](http://www.cricuwr.by/static/INVENT_VO/FrontPage.htm) (accessed 25 March 2023) (in Russian)
9. *O nekotoryh voprosah normirovaniya kachestva vody rybohozyajstvennyh vodnyh objektov* [On some issues of standardizing the water quality of fishery water bodies]. Postanovlenie Ministerstva prirodnih resursov i ohrany okrughayushchej sredy Respubliki Belarus i Ministerstva zdraovoohraneniya Respubliki Belarus, 8 Maya 2007, № 42/43 [Resolution of the Ministry of Natural Resources and Environmental Protection of the Republic of Belarus and the Ministry of Health of the Republic of Belarus, 8 May 2007, no. 42/43]. Available at: <https://pravo.by/document/?guid=3961&p0=W20716491> (accessed 25 March 2023) (in Russian)
10. *Blakitny skarb Belarusi. Reki, azyory, vadaskhovichy, turyscki patencyyal vodnyh ob'ektau* [Blue treasure of Belarus. Rivers, lakes, reservoirs, tourist potential of water objects]. Minsk, 2007, 477 p. (in Belarusian)
11. *Encyklopediya pryrody Belarusi* [Encyclopedia of nature of Belarus]. Minsk, 1983, 574 p. (in Belarusian)
12. Mihnevich E. I. *Rol' vodoobmena v uluchshenii ekologicheskogo sostoyaniya vodoohranilishch vodnoj sistemy*. Minska [The role of water exchange in improving the ecological condition of reservoirs in the Minsk water system]. Minsk, 208, pp. 279–280. (in Russian)
13. *Vilejsko-Minskaja vodnaja sistema* [Vileyansk-Minsk water system]. UP "Minskvodokanal". Available at: <https://minskvodokanal.by/about/activities/vileika-minsk-water-system/> (accessed 25 September 2023) (in Russian)
14. Avakyan A. B., Saltankin V. P., Shrapov V. A. *Vodoohranilishcha* [Reservoirs]. Moscow, 1987, 323 p. (in Russian)
15. Lopuh P. S. *Gidrologiya vodoohranilishch* [Hydrology of reservoirs]. Minsk, 2013, 342 p. (in Russian)
16. GOST 17.1.1.02-77. *Ohrana prirody. Gidrosfera. Klassifikacija vodnyh ob'ektorov* [State Standard 17.1.1.02-77. Protection of Nature. Hydrosphere. Classification of water bodies]. Utr. i vved. Postanovleniem Gosudarstvennogo komiteta standartov Soveta Ministrov SSSR, 4 fevr. 1977 g., № 299 [Approved and introduced. Resolution of the State Standards Committee of the Council of Ministers of the USSR, 4 February 1977, no. 299]. Available at: <https://rostest.info/gost/001.013.060/gost-17.1.1.02-77> (accessed 25 March 2023) (in Russian)
17. RD 33-32-08-87. *Tipovye pravila ekspluatacii vodoohranilishch* [RD 33-32-08-87. Standard rules for the operation of reservoirs]. Utr. prikazom Ministerstva melioracii i vodnogo hozyajstva SSSR, 6 Apr. 1987 g., № 141 [Approved by Order of the Ministry of Land Reclamation and Water Resources of the USSR, 6 April 1987, no. 141]. (in Russian)
18. Vlasov B. P. *Antropogennaya transformaciya ozer Belarusi: geoekologicheskoe sostoyanie, izmeneniya i prognoz* [Anthropogenic transformation of lakes in Belarus: geoecological condition, changes and forecast]. Minsk, 2004, 207 p. (in Russian)

### Информация об авторах

**Струк Михаил Игоревич** – кандидат географических наук, ведущий научный сотрудник, доцент, Институт природопользования НАН Беларусь (ул. Ф. Скорины, 10, 220076, г. Минск, Беларусь). E-mail: Struk-17@mail.ru

**Живнач Светлана Геннадьевна** – научный сотрудник, Институт природопользования НАН Беларусь (ул. Ф. Скорины, 10, 220076, г. Минск, Беларусь). E-mail: zhyunach@gmail.com

### Information about the authors

**Mikhail I. Struk** – Ph. D. (Geography), Leading Researcher, Institute of Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus (10, F. Skoriny Str., 220076, Minsk, Belarus). E-mail: Struk-17@mail.ru

**Svetlana G. Zhivnach** – Researcher, Institute of Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus (10, F. Skoriny Str., 220076, Minsk, Belarus). E-mail: zhyunach@gmail.com