

МИНИСТЕРСТВО ПРИРОДНЫХ РЕСУРСОВ И ОХРАНЫ ОКРУЖАЮЩЕЙ  
СРЕДЫ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

РЕСПУБЛИКАНСКОЕ УНИТАРНОЕ ПРЕДПРИЯТИЕ  
«ЦЕНТРАЛЬНЫЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ  
КОМПЛЕКСНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ»  
(РУП «ЦНИИКИВР»)

**СБОРНИК МАТЕРИАЛОВ МЕЖДУНАРОДНОЙ  
НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ  
«АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ЭФФЕКТИВНОГО  
И КОМПЛЕКСНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ  
ВОДНЫХ РЕСУРСОВ», ПРИУРОЧЕННОЙ  
КО ВСЕМИРНОМУ ДНЮ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ**

22–24 марта 2023 года, г. Минск

Минск

Национальная библиотека Беларуси

2023

УДК 556.182(06) + 502.51:502.17(06) + 628.3(06)  
ББК 38.761.2я431 + 26.22я431  
С23

Ответственный редактор – кандидат биологических наук О. В. Ковзунова

Технический редактор – В. Д. Бладыко

Редакционная коллегия:

- Секция 1 «Гидрология. Гидрохимия и гидробиология водных объектов. Водоохранные территории» –  
О. М. Таврыкина, к.с.х.н., доцент;  
Секция 2 «Мониторинг поверхностных и подземных вод. Государственный водный кадастр.  
Чрезвычайные ситуации на водных объектах. Моделирование» – И. А. Булак;  
Секция 3 «Условия формирования, отведение, очистка и сброс сточных вод» – Ю. В. Голод;  
Секция 4 «Охрана подземных вод при осуществлении хозяйственной деятельности» –  
Е. А. Микулич;  
Секция 5 «Водное богатство. Инвентаризация водных объектов Республики Беларусь» –  
Е. И. Громадская;  
Секция 6 «Молодежь в науке» – Д. В. Цубленок

**Сборник** материалов международной научно-практической конференции «Актуальные  
С23 вопросы эффективного и комплексного использования водных ресурсов», приуроченной  
ко Всемирному дню водных ресурсов (Минск, 22–24 марта 2023 г.) / Министерство природных  
ресурсов и охраны окружающей среды, РУП «ЦНИИКИВР» ; [отв. ред. О. В. Ковзунова]. –  
Минск : Национальная библиотека Беларуси, 2023. – 231 с., ил.  
ISBN 978-985-7293-38-4.

В сборнике освещены современные и актуальные вопросы эффективного, всестороннего и комплексного использования водных ресурсов. Издание рассчитано на работников учреждений образования, научных сотрудников, профессорско-преподавательский состав, аспирантов, докторантов, студентов высших учебных заведений и учреждений последиplomного образования, а также специалистов в области природных ресурсов и охраны окружающей среды.

Стилистика, пунктуация и орфография авторов сохранены. Автор несет ответственность за достоверность публикуемых данных.

УДК 556.182(06) + 502.51:502.17(06) + 628.3(06)  
ББК 38.761.2я431 + 26.22я431

ISBN 978-985-7293-38-4

- © Составление. Республиканское унитарное предприятие «Центральный научно-исследовательский институт комплексного использования водных ресурсов», 2023
- © Оформление. Государственное учреждение «Национальная библиотека Беларуси», 2023

## ОГЛАВЛЕНИЕ

<b>СЕКЦИЯ 1</b> Гидрология. Гидрохимия и гидробиология водных объектов. Водоохранные территории. ....	4
<b>СЕКЦИЯ 2</b> Мониторинг поверхностных и подземных вод. Государственный водный кадастр. Чрезвычайные ситуации на водных объектах. моделирование. ....	79
<b>СЕКЦИЯ 3</b> Условия формирования, отведение, очистка и сброс сточных вод. ....	115
<b>СЕКЦИЯ 4</b> Охрана подземных вод при осуществлении хозяйственной деятельности. ....	156
<b>СЕКЦИЯ 5</b> Водное богатство. Инвентаризация водных объектов Республики Беларусь. ....	185
<b>СЕКЦИЯ 6</b> Молодежь в науке .....	199

## **СЕКЦИЯ 1**

**Гидрология. Гидрохимия  
и гидробиология водных объектов.  
Водоохранные территории**



## Оценка загрязненности донных отложений Иваньковского водохранилища тяжелыми металлами

Григорьева И.Л., Чекмарева Е.А.

Институт водных проблем РАН, Иваньковская НИС, г. Коонаково, Россия  
irina\_grigorieva@list.ru

**Резюме.** Проведена оценка загрязненности донных отложений Иваньковского водохранилища водорастворимыми формами железа, марганца, меди, цинка, свинца, хрома с использованием индекса геоаккумуляции Мюллера ( $I_{geo}$ ), суммарного показателя загрязнения Саета ( $Zn$ ), коэффициента концентрации химического элемента ( $Kc$ ) и коэффициента донной аккумуляции ( $KДА$ ). Рассчитаны фоновые концентрации, получены формулы геохимических ассоциаций для наиболее загрязненных участков водохранилища. Проведено сравнение уровня загрязненности донных отложений в 2016–2019 гг. и в середине 90-х годов прошлого столетия.

### Pollution assessment of the bottom sediments with heavy metals in the Ivankovo reservoir

Grigoryeva I., Chekmareva E.

**Summary.** Pollution was assessed in the bottom sediments by soluble in water forms of iron, manganese, copper, zinc, lead, chromium in the Ivankovo reservoir and then they used the index of geoaccumulation of the Muller classification ( $I_{geo}$ ), the index pollution of the Saeta classification, the coefficient chemical element concentration ( $Cc$ ) and the coefficient of bottom accumulation (CBA). Background concentrations were calculated and formulas of geochemical associations were obtained for polluted reservoir sites. We compared the level of pollution of bottom sediments in 2016–2019 and in the middle of 1990s of the XX century.

#### Введение

Донные отложения (ДО) – многокомпонентные образования, скапливающиеся на дне водоемов и водотоков в результате осаждения взвешенных частиц из толщи воды, абразионных процессов, отмирания водных организмов. Являются важной составной частью экосистемы водохранилищ и при определенных условиях могут быть источником вторичного загрязнения воды. Одними из наиболее токсичных загрязнителей донных отложений являются тяжелые металлы.

Цель исследований – количественная оценка загрязненности ДО Иваньковского водохранилища тяжелыми металлами.

Объект исследования – донные отложения Иваньковского водохранилища, первой ступени Волжско-Камского каскада водохранилищ и одного из основных источников питьевого водоснабжения Москвы. Водоохранилище является крупным водоемом долинного типа с коэффициентом водообмена около  $10 \text{ год}^{-1}$  осуществляющим сезонное регулирование стока. Водоохранилище мелководно, площадь акватории с глубинами до 2 м составляет около 50% от площади водного зеркала при НПУ (124 м абс.).

#### Материалы и методы исследования

Исследование загрязненности ДО проводили в 2016–2019 гг., точки отбора представлены на рисунке 1. Отбор и хранение проб ДО проводили в соответствии с требованиями ГОСТ 17.1.5.01–80, РД 52.24.609–2013. Пробы высушивали до воздушно-сухого состояния, проводили анализ по аттестованным методикам в химической лаборатории ИВНИС ИВП РАН (аттестат аккредитации RA.RU.21АН96). Водорастворимые формы тяжелых металлов (медь, цинк, свинец, хром, марганец) определяли на атомно-абсорбционном спектрофотометре AA-6800F (производитель корпорация SHIMADZU, Япония).

Оценку химического состава ДО проводили с использованием: количественного индекса геоаккумуляции Мюллера ( $I_{geo}$ ) [8], суммарного показателя загрязнения Саета Ю.Е. ( $Zc$ ) [7], коэффициента концентрации химического элемента ( $Kc$ ) [2], характеризующий интенсивность техногенной аномалии (отношение содержания элемента в ДО относительно его фонового содержания), коэффициента донной аккумуляции ( $KДА$ ) [6], коэффициента среднего

накопления химических элементов  $R_x$  (как вариант коэффициента накопления Моксхэма) [3]. Использовалась формула геохимической ассоциации, которая характеризует качественный состав и структуру возможной геохимической аномалии, ее записывают с использованием коэффициента концентрации химического элемента ( $K_c$ ). В геохимическую ассоциацию включаются элементы со значением  $K_c \geq 1.5$  (то есть, где концентрация элемента в 1.5 раза превышает фон).

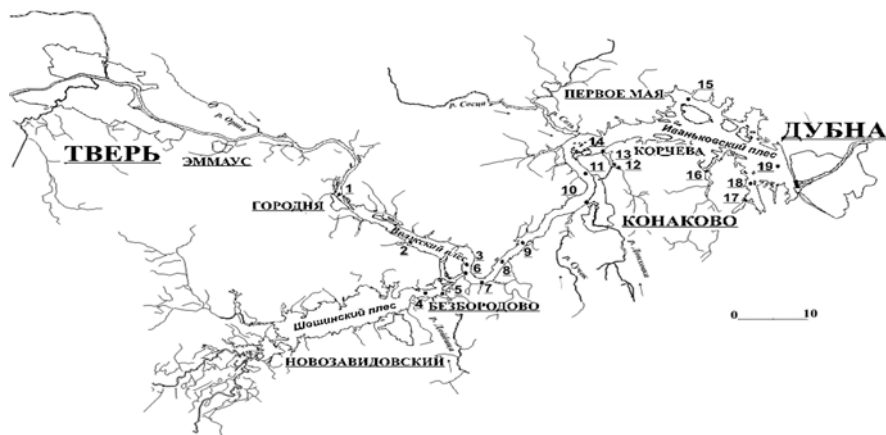


Рисунок 1 – Схема отбора проб донных отложений и проб воды Ивановского водохранилища в 2018–2019 гг.

Точки отбора: 1 – с. Городня, 2 – п. Ст. Мелково, 3 – о. Низовка, 4 – Шошинский плес/д. Безбородово, 5 – устье р. Дойбица, 6 – устье Шошинского плеса, 7 – устье р. Терехова, 8 – «Дунькина гора», 9 – д. Плоски, 10 – устье р. Донховка, 11 – ниже г. Конаково/ЛЭП, 12 – Мошковичский залив/выше очистных сооружений г. Конаково, 13 – Мошковичский залив/очистные сооружения г. Конаково, 14 – устье Моковичского залива, 15 – устье Перетрусовского залива, 16 – устье Федоровского залива, 17 – устье Коровинского залива, 18 – устье Домкинского залива, 19 – верхний бьеф Ивановской ГЭС

#### Анализ результатов

Фоновую концентрацию ( $C_f$ ) ДО для Ивановского водохранилища в целом и отдельно Мошковичского залива (таблица 1) определяли по каждому химическому элементу, она представляла собой минимальное содержание элемента в водохранилище в отобранной партии проб за летний сезон.

Таблица 1 – Фоновые концентрации  $C_f$  (мг/кг) элементов в пробах ДО за 2019 г.

№	Место отбора	Fe <sub>общ.</sub>	Cu	Pb	Zn	Cr	Mn
1	Иваньковское вдхр.	129.16	0.70	0.14	2.08	0.16	1.91
2	Мошковичский залив	2.10	2.72	5	2.14	4	871

Уровень загрязнения донных отложений подвижными формами донных отложений по значению индекса  $I_{geo}$  в Ивановском водохранилище изменяется от «незагрязненного» (0) до «чрезмерно загрязненного» (6) по концентрациям меди, «незагрязненного» (0) до «умеренно загрязненного» (2) по концентрациям марганца, свинца и цинка, от «незагрязненного» (0) до «сильно загрязненного» (4) по концентрациям хрома.

Для водохранилища характерны участки с удовлетворительным (благоприятным) экологическим состоянием водной экосистемы. По концентрациям меди «чрезмерно загрязненный» участок (зона бедствия) отмечен в верхнем бьефе Ивановской ГЭС, «сильно загрязненный участок» у г. Конаково, участки с неблагоприятным состоянием (зона «кризиса») отмечены у п. Старое Мелково, Дунькина Гора, д. Свердлово, д. Плоски, устье р. Донховка, выше Мошковичского залива, в заливах Омутнинский и Перетрусовский и районе слияния Коровинского и Домкинского заливов. «Сильно загрязненный» (зона кризиса) участок для концентраций хрома расположен в р. Донховка, «среднезагрязненные» участки встречаются в д. Старое Мелково, на участке от устья Шошинского плеса до г. Конаково, заливах Омутнинский, Перетрусовский и в районе слияния Коровинского и Домкинского заливов).

Формулы геохимических ассоциаций для наиболее загрязненных участков Ивановского водохранилища следующие:

Шошинский плес (д. Безбородово):  $Fe_{10.9} - Zn_{15.36} - Cu_{46.9} - Pb_9 - Cr_3 - Mn_{28}$

р. Дойбица (устье):  $Zn_{17} - Fe_{4.8} - Cu_{45} - Pb_7 - Cr_{17} - Mn_{28.4}$

Шошинский плес (устье):  $Zn_{17} - Fe_{9.3} - Cu_{44.7} - Pb_9 - Cr_{17} - Mn_{43.4}$

р. Терехова (устье):  $Zn_{21.9} - Fe_{7.1} - Cu_{45.6} - Pb_8 - Cr_{25} - Mn_{35.6}$

Дунькина гора (русло):  $Zn_{13.9} - Fe_{14.4} - Cu_{45.3} - Pb_8 - Cr_{23} - Mn_{26.4}$

д. Свердлово (левый берег):  $Zn_{16.9} - Fe_{10.2} - Cu_{45} - Pb_7 - Cr_{16} - Mn_{62.2}$

р. Донховка (устье):  $Zn_3 - Fe_{12.7} - Cu_6 - Pb_5 - Cr_2 - Mn_{30}$

залив Коровинский:  $Zn_{1.5} - Fe_{4.1} - Cu_{2.3} - Pb_6 - Cr_2 - Mn_2$

Домкинский и Коровинский зал. (слияние):  $Zn_{3.4} - Fe_{5.2} - Cu_{5.7} - Pb_{10} - Cr_9 - Mn_{79.8}$

$R_x$  для исследованных проб ДО Ивановского водохранилища в 2019 г. равен 28.3 ед.

Для исследованных проб ДО в Ивановском водохранилище в 2019 г.  $Z_c$  равен 108.2 ед.

Оценка межгодового изменения коэффициента концентрации ( $K_c$ ) по всему водохранилищу и на его отдельных участках показала, что наблюдается тенденция к увеличению всех элементов с середины 90-х годов XX века к настоящему времени. Концентрация марганца увеличилась от 0.5 до 2.7 единиц в период 1982–1998 гг. до 123.6 – в 2019 г., концентрация меди – от 0.9 до 5.5 единиц в период 1982–1998 гг. до 16.65 – в 2019 г., цинка – от 4.0 до 56.7 единиц в период 1982–1998 гг. до 7.51 – в 2019 г. Увеличение концентраций меди, цинка, свинца и марганца происходит преимущественно в устьях малых рек и ручьев, в заливах. Динамика средних значений коэффициента концентрации ( $K_c$ ) в ДО заливов выявила, что происходит накопление свинца, меди и хрома в Коровинском и свинца в Мошковичском заливах с 1994 г. по настоящее время, заметно снижение  $K_c$  для цинка с начала 90-х годов XX века к настоящему периоду.

Анализ содержания тяжелых металлов в поровых водах выявил концентрации меди 0.0081–0.0234 мг/кг, цинка 0.0869–0.2188 мг/кг, хрома 0.291 мг/кг, марганца 0.7557–2.1413 мг/кг. Высокие концентрации цинка в ДО у п. Старое Мелково, очевидно, обусловлены деятельностью зверохозяйства «Мелковское». Марганец в ДО присутствует, в основном, в легко подвижной форме (до 77%) [4].

Средние значения коэффициента концентрирования тяжелых металлов в ДО Ивановского водохранилища в 2019 гг. превысили средние значения за период с 1982 по 1998 г. [1]. Максимальных значений из коэффициентов концентрирования за период оценки (1982–2017 гг.) достиг Pb (3.2 ед.).

Таблица 2 – КДА в донных отложениях Ивановского водохранилища, 2016–2017 гг., по [8]

№	Место отбора	$Fe_{общ.}$	Cu	Pb	Zn	Cr
1	Федоровский залив	$2.1 \cdot 10^5$	$5 \cdot 10$	7.0	$7.9 \cdot 10$	$2.4 \cdot 10$
2	Перетрусовский залив	$5.7 \cdot 10^4$	$5.5 \cdot 10$	$1.9 \cdot 10^2$	$9.0 \cdot 10$	$5.1 \cdot 10$
3	Омутнинский залив	$1.8 \cdot 10^5$	$5.9 \cdot 10$	$2.4 \cdot 10$	$1.0 \cdot 10^2$	$9.6 \cdot 10$
4	Домкинский залив	$1.3 \cdot 10^5$	$6.9 \cdot 10$	$2.7 \cdot 10$	$6.5 \cdot 10$	$4.8 \cdot 10^2$
5	Мошковичский залив	$3.6 \cdot 10^4$	$3.4 \cdot 10$	$4.1 \cdot 10$	$2.9 \cdot 10$	$8.9 \cdot 10$
6	Новосельский залив	$1.5 \cdot 10^5$	$8.3 \cdot 10$	$1.8 \cdot 10$	$4.5 \cdot 10$	$6.9 \cdot 10^2$
7	Коровинский залив	$9.4 \cdot 10^3$	$1.7 \cdot 10$	$2.5 \cdot 10$	$3.5 \cdot 10$	$2.5 \cdot 10$
8	д. Свердлово	$5.6 \cdot 10^4$	$2.7 \cdot 10$	–	1.9	–
9	д. Плоски	$6.9 \cdot 10^4$	$6.1 \cdot 10$	–	$1.0 \cdot 10$	–
10	уст. р. Донховка	$6.9 \cdot 10^4$	$6.1 \cdot 10$	–	$3.6 \cdot 10$	–
11	«Дунькина Гора»	$6.8 \cdot 10^4$	6.9	–	8.0	–
12	уст. р. Терехова	$4.5 \cdot 10^4$	$2.5 \cdot 10$	–	8.4	–
13	д. Заборье	$6.3 \cdot 10^4$	$2.8 \cdot 10$	–	$1.1 \cdot 10$	–
14	Шошинский плес	$8.8 \cdot 10^4$	$3.9 \cdot 10$	–	0.6	–

Наиболее высокие значения коэффициента донной аккумуляции наблюдаются у железа общего ( $9.4 \cdot 10^3$ – $2.1 \cdot 10^5$ ). Железо общее является загрязняющим веществом природного происхождения, характерным для данного региона, в связи с высокой заболоченностью

водосборной территории Иваньковского водохранилища. Накопление различных форм железа происходит в водохранилище повсеместно, в основном, железа 2-х валентного ( $\text{Fe}^{2+}$ ), что связано, предположительно, с выносом железа со сточными водами. Так, в районе очистных сооружений г. Конаково (Мошковичский залив), в 2018 г. зафиксировано содержание  $\text{Fe}^{2+}$  составило 43354 мг/кг. Исключение составляют заливы Омутнинский, Перетрусовский, Федоровский, Домкинский, где преобладает железо 3-х валентное ( $\text{Fe}^{3+}$ ), поступающее в залив с водами с заболоченного водосбора. Содержание железа общего в пробах ДО в 2019 г. изменялось в пределах от 2310 мг/кг до 34879 мг/кг, снижаясь на проточных участках, при этом преобладали ионы  $\text{Fe}^{3+}$  в общем содержании элемента. Коэффициент донной аккумуляции (КДА) для железа общего в донных отложениях Иваньковского водохранилища изменяется с  $1.6 \cdot 10^4$  по  $1.1 \cdot 10^6$ , т.е. наблюдается стойкое «высокое хроническое загрязнение».

#### Выводы

Исследования показали, что в ДО Иваньковского водохранилища идет накопление основных загрязняющих веществ, в том числе тяжелых металлов, на участках, испытывающих значительную антропогенную нагрузку, это: устье рр. Донховка и Терехова, район очистных сооружений г. Конаково, устья ряда заливов Иваньковского плеса, участки дна около населенных пунктов, промышленных и сельскохозяйственных зон. На этих участках при определенных условиях возможно локальное вторичное загрязнение воды водохранилища. Накопление загрязняющих веществ в ДО водохранилища часто связывают с органическим веществом. Это позволяет выделить возможные зоны загрязнения водохранилища в зависимости от типов отложений. Для Иваньковского водохранилища загрязняющим донные отложения веществом природного происхождения является железо общее, техногенного – цинк и свинец.

Со сточными водами в водоемы и водотоки поступают: хлориды, сульфаты, взвешенные вещества, легкоокисляющиеся органические вещества по БПК<sub>полн</sub> и БПК<sub>5</sub>, органический и минеральный фосфор, аммонийный и нитратный азот, нефтепродукты, СПАВ, медь, цинк, никель, хром. Химические соединения в составе сточных вод могут являться депонирующей средой и накапливать загрязняющие вещества.

При оценке уровня загрязнения ДО в водохранилищах необходимо учитывать региональные фоновые показатели и особенности гидрологического и гидрохимического режимов водохранилища, выявлять участки с высокой нагрузкой, используя данные об источниках загрязнения.

Работа выполнена в рамках темы № FMWZ-2022-0002 Государственного задания ИВП РАН.

#### Список литературных источников

1. Бреховских, В. Ф. Донные отложения Иваньковского водохранилища: состояние, состав, свойства / В. Ф. Бреховских, В. Д. Казмирук, Т. Н. Казмирук. – М. : Наука, 2006. – 176 с.
2. Критерии оценки экологической обстановки территорий для выявления зон чрезвычайной экологической ситуации и зон экологического бедствия. – М. : Минприроды РФ, 1992. – 58 с.
3. Р 52.24.763–2012. Рекомендации. Оценка состояния пресноводных экосистем по комплексу химико-биологических показателей / утв. Росгидрометом 03.04.2012. – Ростов-на-Дону, 2012. – 22 с.
4. Формы нахождения микроэлементов в донных отложениях Иваньковского водохранилища / О. А. Липатникова [и др.] // Геоэкология. Инженерная геология, гидрогеология, геокриология. – М. : РАН, 2014. – № 1. – С. 37–48.
6. МУ 2.1.7.730–99. Гигиеническая оценка качества почвы населенных мест : утв. 05.02.1999 г. – 1999. – 19 с.
7. Геохимия окружающей среды / Саэт Ю. Е. [и др.]. – М. : Недра, 1990. – 335 с.
8. Чекмарева, Е. А. Донные отложения как источник вторичного загрязнения Иваньковского водохранилища / Е. А. Чекмарева, И. Л. Григорьева // Сборник материалов Всерос. научно-практич. конференции «Водохранилища Российской Федерации. Современные экологические проблемы, состояние, управление», 23–29.09.2019 г., г. Сочи. – Новочеркасск : ЛИК, 2019. – С. 437–442.
9. Muller, G. Schwermetalle in den Sedimenten des Rheins. – Veränderungen seit 1971. / Muller G. // Umschau in Wissenschaft and Technik. – 1979. – Vol. 79. – S. 778–783.

## Моделирование русловых деформаций на реках криолитозоны

Дебольская Е.И.<sup>1</sup>, Грицук И.И.<sup>1,2,3</sup>, Дошина М.Е.<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Институт водных проблем РАН, г. Москва, Россия, e\_debolskaya@yahoo.com

<sup>2</sup>Российский университет дружбы народов, г. Москва, Россия

<sup>3</sup>Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет,  
г. Москва, Россия

<sup>4</sup>Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, г. Москва, Россия

**Резюме.** Представлены результаты лабораторного и математического моделирования деформационных процессов, обусловленных одновременным воздействием термической и механической эрозий на реках криолитозоны. Результаты лабораторных экспериментов использованы для верификации и валидации математической модели. Получены выводы о влиянии искривления русла на динамику деформационных процессов.

## Modeling of channel deformations on the permafrost rivers

Debolskaya E., Gritsuk I., Doshina M.

**Summary.** The article presents the results of laboratory and mathematical modeling of deformation processes caused by the simultaneous impact of thermal and mechanical erosion on the curvilinear sections of permafrost rivers. We use the results of laboratory experiments to verify and validate the mathematical model. The conclusions about the influence of channel curvature on the dynamics of deformation processes are received.

Ландшафты вечной мерзлоты чувствительны к глобальному повышению температуры и могут подвергнуться широкомасштабной деградации [1, 2]. Побережья и берега рек в Арктике подвержены термоэрозионным процессам, вызванным морской или речной водой в сочетании с механической эрозией от волн, течений и подвижного льда с тепловыми воздействиями воды [3, 4]. Сильный размыв берегов рек и прибрежных участков приводит к большим поступлениям наносов и органических веществ в арктические реки и Северный Ледовитый океан [5, 6, 7]. На деформацию русел рек криолитозоны при изменении климата существенное влияние оказывает обрушение берегов, которое может создавать многочисленные препятствия водному потоку, изменять его динамику, поставлять дополнительный объем твердого стока в реку при последующем размыве оползневых тел.

Лабораторные эксперименты и натурные наблюдения показали, что термоэрозия играет существенную, а подчас и более значительную роль, чем механическая эрозия в процессе деформирования русел, сложенных многолетнемерзлыми породами [8, 9].

Исследования по изучению влияния потепления на гидрологический режим реки Лена [10] подтвердили, что с середины прошлого века изменился ряд ключевых параметров. Температура воды в реке в паводковый период повысилась на 2 °С по сравнению с показателями за 1950 г. Поскольку во время ледохода подъем уровня воды и повышение ее температуры вызывают термальную и механическую эрозию берегов, изменения параметров паводков изменяют характер и этих процессов. Увеличение темпов термоэрозии с начала 80-х гг. полностью соотносится с ростом температуры водного потока вследствие потепления. На некоторых участках скорость отступления берегов достигает 20–40 м в год, а вымываемые породы уносятся по течению и создают трудности судоходству.

Проведение натурных исследований в бассейнах рек криолитозоны представляет большую, трудноразрешимую и крайне дорогостоящую проблему в виду технических, организационных и объективных сложностей, обусловленных суровыми климатическими условиями.

Гидравлические исследования традиционно проводились с использованием физических моделей, которые воспроизводят явления потока в уменьшенном масштабе с динамическим подобием. Сегодня численные модели все чаще используются вместо физических. Эти модели основаны на математическом описании сложных турбулентных процессов и граничных условий, но могут быть дешевыми и универсальными. У физических и численных моделей

есть свои сильные и слабые стороны, и их достоинства следует сравнивать с преимуществами теоретического анализа и измерений, проводимых в полевых условиях.

За последнее десятилетие в ИВП РАН была разработана математическая модель речного потока с деформируемыми береговыми склонами, сложенными ММП с включением пластов льда, с учетом процессов термоэрозии. Анализ результатов математического и лабораторного моделирования показал, что русловые деформации рек, протекающих в криолитозоне, значительно отличаются от деформаций русел, сложенных грунтами, неподверженными влиянию фазового перехода «вода-лед», и могут наблюдаться даже при неразрывающих скоростях водного потока. Воздействие потоков, обусловленных наводнениями и ледовыми явлениями, может приводить к еще более значительным изменениям в русловых деформациях. Для их оценки требуется решение нестационарной задачи не только для процессов транспорта наносов, но и для моделирования водного потока.

Разработанная модель основана на применении основных уравнений гидродинамики, уравнения Стефана для определения положения границы фазового перехода «вода-лед», зависимости оседания грунта в протаявших полостях от связности грунта и уравнений сохранения массы переносимых наносов. В тепловом модуле для расчета температур грунта используется однородное уравнение теплопроводности, предусмотрена возможность изменения льдистости в мерзлых включениях. При расчете положения границы «вода-лед/мерзлый грунт» в уравнение Стефана добавлен конвективный член, ответственный за перенос оттаявших частиц потоком воды. Форма русла изменялась в соответствии с синусоидальной зависимостью ширины русла от длины. Каждому виду соответствовал коэффициент формы  $kg$ : 0 – прямому руслу, 1 – половине синусоиды при ее возрастании (вогнутый берег), -1 – половине синусоиды при ее убывании (выпуклый берег).

По существу модель описывает процесс латеральных русловых деформаций и в частности так называемый *niching* процесс (образование ниш вытаивания), что позволяет дать ответ на вопросы, давно поставленные в этой области, например, какую роль играет заморозенность грунта на его размываемость. Ответы на этот вопрос могут быть прямо противоположными, что следует из анализа литературных источников. Модельные эксперименты позволяют варьировать все многочисленные параметры процесса и ответить на вопрос, какие из них являются наиболее значимыми, и к какому результату может привести любая из этих вариаций при разных условиях.

Для валидации и верификации математической модели были проведены многочисленные лабораторные эксперименты. Цель лабораторных экспериментов, проведенных в гидравлическом лотке, заключалась в оценке характера русловых деформаций, вызванных термоэрозией, при разных формах искривления русла. При постановке задачи подразумевалось, что процесс термоэрозии, обусловленный таянием, протекает в основном при положительных температурах окружающей среды, например при прохождении волны весеннего половодья. Эксперименты проводились в установке циркуляционного действия Armfield S2-MK II (рис. 1). Фото установки и схема эксперимента представлены на рис. 1.

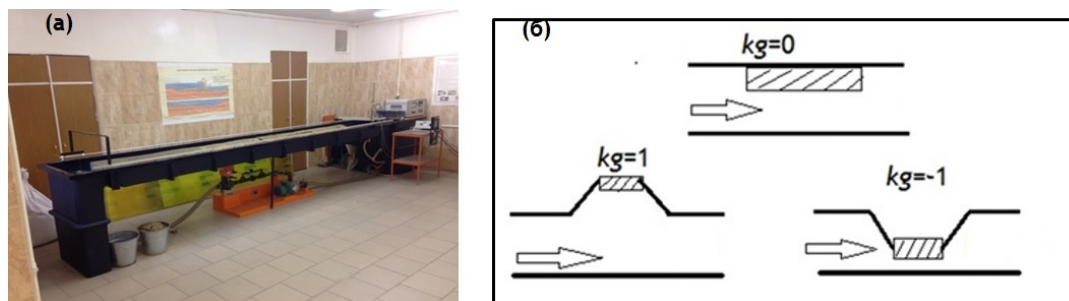


Рисунок 1 – Экспериментальная установка Armfield S2-MK II (а) и схема экспериментов в плане (б)

В наклонном береговом откосе укладывалась ледяная пластина, которая под воздействием водного потока начинала таять, образуя полость, в которой возникали малые потоки. Слой грунта, теряющий твердую основу в виде льда, оседает активизируя процессы солифлюкции и суффозии. Таким образом моделируется одновременное воздействие тепловой и механической эрозии. Были проведены серии экспериментов с заложением

ледяной пластинки в центральную часть прямолинейного (условный фактор формы  $kg = 0$ ), выпуклого ( $kg = 1$ ) и вогнутого ( $kg = -1$ ) берегового склона. Глубина потока во всех экспериментах была 0.11 м. Расход воды подбирался таким образом, чтобы средняя скорость потоков во всех экспериментах была примерно одинаковой и равной 0.14 м/с. Все вышеперечисленные характеристики водного потока, русла и ледяных включений использовались как входные параметры в математической модели.

Для оценки деформаций были проведены визуальные наблюдения и измерения образовавшегося рельефа непосредственно в процессе проведения эксперимента. Поверхности дна, рассчитанные по модели, находятся в удовлетворительном соответствии с поверхностями, реализованными в результате лабораторных экспериментов. Кроме того, следует отметить, что динамические картины деформаций в лабораторном и численном экспериментах для всех трех случаев также хорошо соответствовали. Это можно было наблюдать из сделанных во время проведения экспериментов видеосъемок. Для получения более точных количественных характеристик использовались два способа оценки:

1. Были рассчитаны объемы и массы перемещенного песка на площадях, занимаемых мерзлым включением, по данным фото и отдельных кадров видеосъемок. Эти участки были выбраны для оценки исходя из того, что в процессе экспериментов они не были покрыты водой и их можно было свободно наблюдать и фиксировать изменения их рельефа с помощью фото и видеосъемки. При математическом моделировании также были рассчитаны массы перенесенного берегообразующего грунта именно с этих выделенных участков.

2. Размыв оценивался путем заполнения образовавшихся в результате деформации областей сухим песком до восстановления первоначального вида берега и пересчета массы затраченного песка в объем с учетом разницы в плотностях сухого и уплотненного мокрого песка.

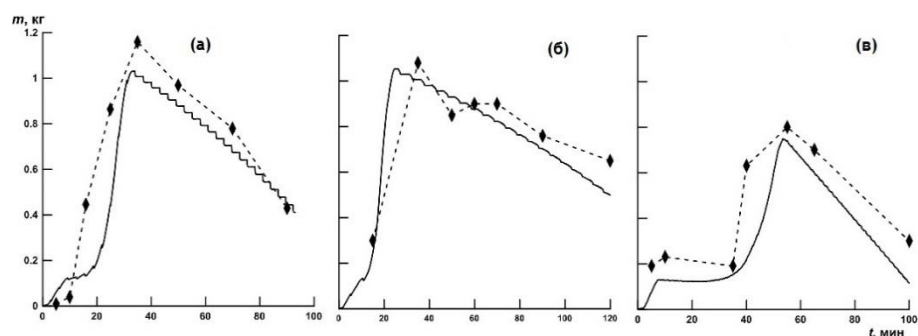


Рисунок 2 – Изменения во времени массы перенесенного в процессе деформаций песка с выделенных участков в потоках с прямым (а), расширяющимся (б) и сужающимся (в) руслами: 1 – по данным численных расчетов, 2 – по данным измерений

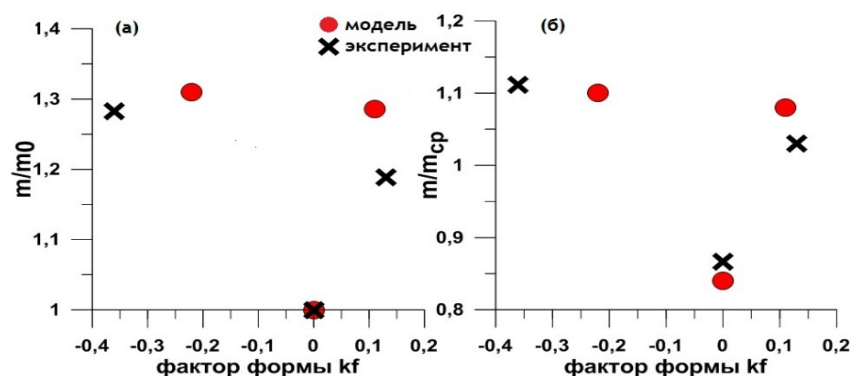


Рисунок 3 – зависимости отношения массы унесенного песка к массе песка, унесенного с прямолинейного участка (а), к средней по измерениям массе (б) от фактора формы русла

По результатам использования первого способа измерений для сравнения данных лабораторного и численного моделирования построены кривые изменения массы перенесенного материала во времени в руслах с разной формой. Они приведены на рис. 2.

По результатам использования второго способа измерений построены зависимости масс унесенного песка от фактора формы русла  $k_f$ , для определения которого была предложена запись в виде:  $k_g = \frac{L(d-d_0)}{a^2}$ , где  $L$  – длина дуги изгиба русла,  $a$  – длина хорды, ограничивающей дугу изгиба,  $d_0$  – ширина водного потока по урезу на прямолинейном участке,  $d$  – ширина водного потока по урезу в точке экстремума на изгибе (рис. 3).

Из сопоставления приведенных данных можно сделать вывод, что результаты численных и лабораторных экспериментов находятся в удовлетворительном соответствии, а модель хорошо отслеживает тенденцию увеличения размыва как при сужении, так и при увеличении русла.

Работа выполнена в рамках темы № FMWZ-2022-0001 Государственного задания ИВП РАН.

#### Список литературных источников

1. Permafrost is warming at a global scale / K., Smith S. L. [et al.] // Nat. Commun. – 2019. – № 10. – P. 264. – DOI: 10.1038/s41467-018-08240-4.
2. Review and synthesis: changing permafrost in a warming world and feedbacks to the Earth System / Grosse G. [et al.] // Environ. Res. Lett. – 2016. – № 11. – P. 040201. – DOI: 10.1088/1748-9326/11/4/040201.
3. Are, F. E. Thermal abrasion of coasts : proc. of the 4th International Conference on Permafrost / Are F. E. – Washington D. C. : National Academy Press, 1983. – P. 24–28.
4. Short- and long-term thermo-erosion of ice-rich permafrost coasts in the Laptev Sea region / Günther F. [et al.] // Biogeosciences. – 2013. – № 10. – P. 4297–4318. – DOI: 10.5194/bg-10-4297-2013.
5. Coastal erosion of permafrost soils along the Yukon Coastal Plain and fluxes of organic carbon to the Canadian Beaufort Sea / Couture N. J. [et al.] // J. Geophys. Res. Biogeosci. – 2018. – № 123. – P. 406–422. – DOI: 10.1002/2017JG004166.
6. Coastal erosion vs riverine sediment discharge in the Arctic Shelf seas / Rachold V. [et al.] // Int. J. Earth Sci. – 2000. – № 89. – P. 450–460. – DOI: 10.1007/s005310000113.
7. Pan-arctic flux of soil organic carbon to rivers by river bank erosion / Rowland J. C. [et al.] // Proc. of the AGU Fall Meeting Abstracts. – Washington D. C., 2018.
8. Effects of ice content on the thermal erosion of permafrost: Implications for coastal and fluvial erosion / Dupeyrat L. [et al.] // Permafrost and periglacial processes. – 2011. – № 22 (2). – P. 179–187. – DOI: 10.1002/ppp.722.
9. Fluvial thermal erosion: Heat balance integral method / Randriamazaoro R. [et al.] // Earth Surface Processes and Landforms. – 2007. – № 32 (12). – P. 1828–1840. – DOI: 10.1002/esp.1489.
10. Impact of the global warming on the fluvial thermal erosion over the Lena River in Central Siberia / Coastard F. [et al.] // Geophysical Research letters. – 2007. – Vol. 34. – L14501. – DOI:10.1029/2007GL030212.

#### **Геоэкологический мониторинг водоохраной зоны водохранилищ**

Новикова Н.М.

*Институт водных проблем РАН, г. Москва, Россия, ntnovikova@gmail.com*

**Резюме.** Рассмотрены цель, задачи, область применения, показатели и методология геоэкологического мониторинга водоохраной зоны водохранилищ. Он апробирован на водохранилищах степной зоны Европейской части России.

#### **Geocological monitoring of the water protection zone of reservoirs**

Novikova N.

**Summary.** The purpose, objectives, scope, indicators and methodology of geocological monitoring of the water protection zone of reservoirs are considered. It has been tested on reservoirs of the steppe zone of the European part of Russia.

Проблема оценки воздействия естественных и искусственных водоемов на прилегающие территории в настоящее время актуальна как в связи с разработкой теоретических вопросов взаимодействия вод суши с окружающей средой, так и в связи с необходимостью решения



важных практических задач по повышению водоохраных функций побережий и определению направлений рационального использования их ресурсов.

Геоэкологический мониторинг водоохраной зоны водохранилищ разработан с целью проведения стандартных регулярных наблюдений для оценки состояния, выявления тенденций развития и прогнозирования дальнейших изменений природных комплексов под воздействием водохранилища. «Объектом» мониторинга являются природные комплексы побережий, а «предметом» – выявление и оценка их ежегодных и направленных изменений под воздействием водохранилища.

Область применения: использование результатов для обеспечения экологической безопасности при решении вопросов рационального использования ресурсов побережий уже существующих и вновь создаваемых водных объектов и при рассмотрении и уточнении границ водоохраных зон. Геоэкологический мониторинг апробирован на наиболее крупных водохранилищах степной зоны на территории Европейской части России: Краснодарском, Цимлянском, Пролетарском, Веселовском.

Общей теоретической платформой мониторинга является представление о том, что, водный фактор является ведущим в трансформации исходных ландшафтов побережий. В результате его комплексного воздействия на прилегающие территории, исходно автоморфные ландшафты приобретают черты и свойства полу- и гидроморфных.

Методология. Исходя из того, что водный фактор является ведущим в динамике природных комплексов, в территориальную организацию мониторинга заложен принцип выделения участков побережья, имеющих сходное воздействие водохранилища, однотипный водный режим и близкие процессы гидрогенной трансформации. Для этой цели использована концепция блоковой структурно-функциональной организации экотонов «вода-суша» в терминологии, предложенной автором [1]. Выделяются: постоянно затопленная водой большая часть акватории водохранилища – аквальный блок; периодически или ежегодно освобождающаяся от воды часть дна водохранилища – амфибиальный блок, где под влиянием длительного затопления и волновой деятельности на периодически обнажающемся дне полностью разрушаются исходные природные комплексы; периодически затопляемый участок побережья – динамический блок, где формируются гидроморфные и полугидроморфные почвы и растительные сообщества, одновременно идет смыв верхних горизонтов почв и накопление на поверхности отложений, принесенных водой в паводок; территория, подтопленная грунтовыми водами – дистантный блок, где на незаливаемых участках, грунтовые воды залегают ближе глубже, чем 3 (5) м от поверхности, идут процессы формирования полугидроморфных природных комплексов. Переходная территория к окружающим автоморфным ландшафтам – маргинальный блок. Ранее существовавшие в каждом блоке в исходном ландшафте почвы, растительность и животное население в процессе адаптации к новым условиям водного режима изменяются в разной степени в зависимости от гидролого-геоморфологических условий исходного ландшафта. Такой подход обеспечивает, с одной стороны, выделение участков территорий, испытывающих однотипное воздействие, а с другой – позволяет выявлять индивидуальную ответную реакцию на однотипное воздействие водохранилища в каждом типе ландшафта.

Для проведения границ между участками побережья, испытывающими разное воздействия водохранилища (освобождение от воды дна, заливание и подтопление) используются параметры уровня водохранилища, установленные при его создании (высотная отметка в метрах уровня мертвого объема – УМО и нормального подпорного уровня – НПУ). Участок дна водохранилища, освобождающийся от воды в летний период (амфибиальный блок), располагается между высотными отметками УМО и береговой линией. Последняя соответствует высотной отметке, имеющей 50% обеспеченность заливания за весь период существования водохранилища. На местности именно этой высотной отметке соответствует граница между лишенной растительности поверхности дна водохранилища и задернованной поверхностью суши. Это береговая линия. На большей части побережья эта граница маркируется береговым уступом и полосой древесной растительности. В направлении от береговой линии к коренному берегу выделяются: затапливаемый и подтопленный участки побережья. Затапливаемый участок побережья (динамический блок) располагается между

высотными отметками береговой линии и НПУ. Наблюдения показали, что длительность стояния уровня на отметке НПУ на водохранилищах степной зоны [2] не превышает 3–6 дней в году в период с конца апреля по середину мая. Территория побережья, испытывающая подтопление грунтовыми водами (дистантный блок), начинается от высотной отметки НПУ и заканчивается на высотных отметках на 3–4 м выше по рельефу. Высотная отметка последней границы определена условно, исходя из того, что при глубине грунтовых вод более 3 (5) м, они более не участвуют в поддержании гидроморфного почвообразовательного процесса. Эта граница, расположенная примерно в 300 м от береговой линии, может быть рекомендована в качестве внешней границы водоохранной зоны водохранилища.

На местности выделение границ производится путем заложения инструментального нивелировочного хода. Привязка его к уровню водохранилища осуществляется либо через четкое положение береговой линии, либо через высотную отметку положения уреза воды в водохранилище на дату съемки. На вычерченном графике рельефа в каждом ландшафте определяются границы структурных блоков (рис. 1).

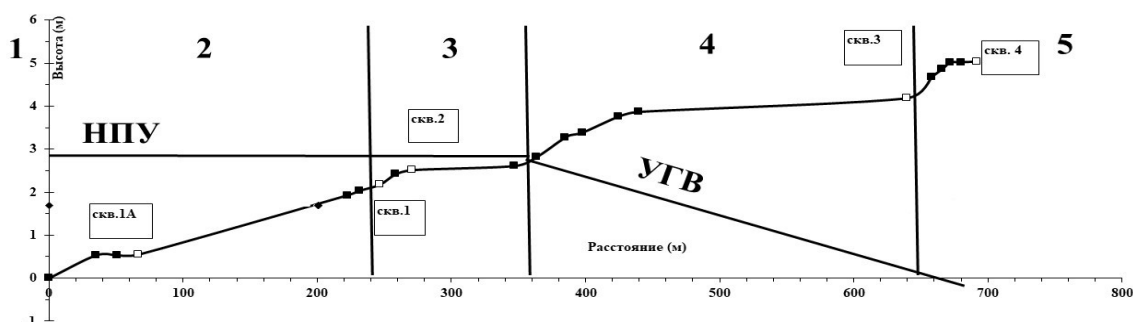


Рисунок 1 – Выделение блоков экотона «вода-суша» по высотным отметкам рельефа, полученного с помощью нивелировочного хода:

- 1–5 – блоки экотона: 1 – аквальный, 2 – амфибиальный, 3 – динамический, 4 – дистантный, 5 – маргинальный; НПУ – нормальный подпорный уровень; УГВ – уровень грунтовых вод.  
Ноль графика – урез воды на дату наблюдений

Натурные исследования. На местности вдоль нивелировочного хода проводится трансекта, вдоль которой ведутся наблюдения. В каждом блоке закладывается ключевой участок, на котором проводятся наблюдения за основными компонентами природных комплексов с измерением количественных значений основных показателей. Определение географических координат ключевого участка с помощью GPS позволяет привязать все точки к космическим снимкам и использовать их для наблюдений. В аквальном блоке отбираются пробы воды для измерения минерализации; в амфибиальном и следующих блоках на территории побережья закладываются почвенные разрезы до уровня грунтовых вод, изучается и описывается почвенный профиль, отбираются пробы для определения засоления и фиксируются признаки вторичного гидроморфизма. Положение уровня грунтовых вод измеряется дважды с интервалом в 30 минут для выявления напора, затем отбираются пробы воды для определения их минерализации. Рядом с почвенным разрезом закладывается геоботаническая площадка, где фиксируется общее проективное покрытие растительности, видовой состав, дается название сообщества и для каждого вида – его покрытие в баллах, высота, фенофаза, жизненность, в трехкратной повторности отбирается надземная фитомасса трав с площадок 1x1 м<sup>2</sup>.

Анализ натуральных данных. Полученные количественные значения параметров позволяют проводить пространственно-временной анализ и сопоставлять его с водным режимом: изучать изменение в одном типе ландшафта путем сравнения разных блоков; изучать особенности ответных реакций на однотипное воздействие водного фактора в одинаковых блоках в разных ландшафтах, а также рассматривать изменение значения каждого параметра на одном ключевом участке за ряд лет наблюдений и выявлять тенденции динамики при наличии длинного ряда наблюдений, а также выявлять связи с другими параметрами, в особенности со значениями уровня водохранилища. Анализ конкретных значений положения уровня

грунтовых вод за ряд лет позволяет выявить территорию, где они находятся глубже 3 (5) м, что мы предлагаем считать внешней границей водоохраной зоны в каждом ландшафте.

Анализ колебания уровня водохранилища представляет для геоэкологического анализа особый интерес, поскольку этот фактор оказывает воздействие на природные комплексы всей территории водоохраной зоны и этот управляющий фактор зависит от водности года и сам поддается управлению. Рассмотрение ежегодного хода графика уровня воды Цимлянского водохранилища, вычерченного по данным управления гидроузлом показало (рис. 2), что за 7 лет наших наблюдений только в трех из них (2004, 2006 и 2008 гг.) происходило затопление побережья. В остальные годы вода не доходила до побережья в течение нескольких лет подряд: с 2009 по 2013 г. Участки дна водохранилища, освободившиеся от воды, стали покрываться проростками ив и тополей. Самый низкий уровень отмечался в 2011 г., когда в осенне-зимний период он приблизился к отметке мертвого объема, а годовая амплитуда колебания была чуть выше 2 м при установленной в начале его эксплуатации 4 м.

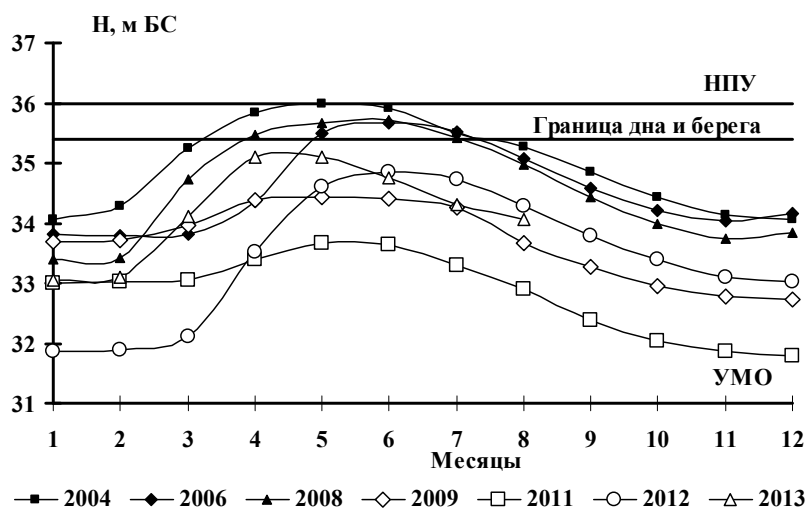


Рисунок 2 – Изменение уровня водохранилища в годы наблюдений

Рассмотрение длинного ряда данных значений амплитуды годовых колебаний на Цимлянском водохранилище (1951–2010 гг.) выявило статистически значимую тенденцию снижения ежегодного изменения уровня со времени создания в 1951 г. к 2010 г. на 2 м.

Грунтовые воды. На заливаемых участках глубина грунтовых вод 0.5–1.5 м, на подтопленных – до 3 м и более. К осени грунтовые воды заглубляются по сравнению с весенними значениями, в среднем, на 1.5–2 м, минерализация увеличивается незначительно.

Наблюдения на скважинах за глубиной вскрытия грунтовых вод и установившимся уровнем позволили выявить наличие напора в грунтовых водах. На Краснодарском водохранилище, на его южном побережье, максимальное удаление этой границы от уреза воды в межень проходит на расстоянии 560 м, на Цимлянском – 300 м, Веселовском – 541 м, и Пролетарском – 107 м.

Вода водохранилищ менее минерализована, чем грунтовые воды и распресняет их. Это подтверждается тем, что в более близко расположенном к урезу воды динамическом блоке грунтовые воды оказываются менее минерализованными, чем в следующем за ним, более удаленном дистантном. Однако в зоне сработки водохранилища, на обнажившемся дне, вскрытие близко расположенных к поверхности грунтовых вод нередко обнаруживает, что их минерализация в несколько раз выше, чем вода водохранилища.

Таблица 1 – Гидрохимические показатели поверхностных и грунтовых вод водохранилищ

Характеристика	Водохранилище			
	Краснодарское	Цимлянское	Веселовское	Пролетарское
Минерализация воды водохранилища, г/л	0.10–0.21	0.28–0.86	2.06–2.92	1.80–9.30
Тип засоления вод	SO <sub>4</sub> –HCO <sub>3</sub>	Cl–SO <sub>4</sub>	Cl–SO <sub>4</sub>	Cl–SO <sub>4</sub>
Минерализация грунтовых вод, г/л	0.11–5.00	0.45–13.42	4.34–52.01	5.40–30.90
Тип засоления грунтовых вод	SO <sub>4</sub> –HCO <sub>3</sub>	SO <sub>4</sub> –Cl	Cl–SO <sub>4</sub>	SO <sub>4</sub> –Cl

Минерализация и химизм поверхностных и подземных вод в зоне влияния водохранилищ (табл. 1) соответствует эколого-географическим условиям вмещающих ландшафтов: с севера на юг минерализация воды водохранилищ возрастает, а химизм изменяется с гидрокарбонатного в настоящих степях (Краснодарское) на хлоридно-сульфатный и на сульфатно-хлоридный – в сухостепных ландшафтах (Цимлянское). В подзоне сухих степей увеличение минерализация воды водохранилищ и подземных вод усиливается региональными геологическими условиями – расположением манычских водохранилищ (Веселовское и Пролетарское) на морских сильно засоленных отложениях.

Почвы наименее динамичный компонент природных комплексов. Ежегодные изменения затрагивают их влагосодержание и засоление. Остальные показатели длительное время наших наблюдений оставались стабильными.

Растительность наиболее динамичный компонент. Наибольшие изменения на всех водохранилищах претерпевают показатели растительных сообществ динамического блока как в течение года, так и по годам в связи с более резкой сменой условий увлажнения и засоления. Наиболее опасно появление чужеродных видов, так как они могут стать источником расселения на прилегающие сельскохозяйственные поля. Периодически дают вспышки массового развития инвазийные виды, преимущественно однолетники: дурнишники колючий, белый (*Xanthium strumarium* L., *X. albinum* (Widd.) H. Scholz), циклахена дурнишниковидная (*Cyclachaene xanthiifolia* (Nut.) Fresen.), бодяк полевой (*Cirsium arvense* (L.) Scop.), донник желтый (*Melilotus officinalis* (L.) Pall.). Латинские названия растений даны по сводке [3].

Финансирование. Работа выполнена в рамках темы № FMWZ-2022-0002 Государственного задания ИВП РАН «Исследования геоэкологических процессов в гидрологических системах суши, формирования качества поверхностных и подземных вод, проблем управления водными ресурсами и водопользованием в условиях изменений климата и антропогенных воздействий».

#### Список литературных источников

1. Залетаев, В. С. Структурная организация экотонов в контексте управления / В. С. Залетаев // Экотоны в биосфере. – М. : РАСХН, 1997. – С. 11–29.
2. Новикова, Н. М. Природные комплексы побережий искусственных водоемов на юге европейской части России / Н. М. Новикова, О. Г. Назаренко // Аридные экосистемы. – 2013. – Т. 19, № 3. – С. 35–62.
3. Черепанов, С. К. Сосудистые растения России и сопредельных государств / С. К. Черепанов. – СПб. : Мир и семья, 1995. – 992 с.

### **Особенности пространственной организации гидрографической сети городов Беларуси в разрезе ландшафтных провинций как основы устойчивого развития геотехсистемы города**

Овчарова Е.П.

*Институт природопользования Национальной академии наук Беларуси, г. Минск,  
Республика Беларусь, geosystem1@rambler.ru*

**Резюме.** Для 115 городов Беларуси проведена оценка пространственной организации гидрографической сети с учетом обеспеченности поверхностными водными объектами. Города распределены на 4 группы по благоприятности условий для устойчивого развития геотехсистемы города. Построен ранжированный ряд ландшафтных провинций: Поозерская (I) – Восточно-Белорусская (IV) – Белорусская возвышенная (II) – Полесская (V) – Предполесская (III) с тенденцией к ухудшению условий.

# The features of the spatial organization of the hydrographic network of cities in Belarus in the context of landscape provinces as a basis for the sustainable development of the urban geotechsystem

Aucharova E.

**Summary.** The hydrographic network spatial organization for 115 cities of Belarus was assessed taking into account the availability of surface water bodies. Cities were divided into 4 groups according to the favorable conditions for the sustainable development of the urban geotechsystem. A ranked row of landscape provinces was built: Poozerskaya (I) – East Belarusian (IV) – Belarusian elevated (II) – Polesskaya (V) – Predpolesskaya (III) with a tendency to worsen conditions.

С древнейших времен реки и другие водные объекты являлись центром притяжения для людей. Большинство крупных городов были построены на берегах рек, которые в большей или меньшей степени влияли на формирование городского пространства. В свою очередь, трансформация гидрографической сети городской территории обуславливалась историей формирования города и особенностями застройки на разных этапах формирования городской среды. Большие водные акватории оказывают влияние на циркуляцию атмосферы и могут значительно смягчить климат территории. Реки урбанизированных территорий могут способствовать экономическому развитию территории или таким отрицательным явлениям как: затопление территории, подмыв берегов, активизация оползневых и карстовых процессов, поднятие грунтовых вод и т. п. [1].

Водные объекты являются не только важной составной частью природно-экологического каркаса, но и являются основой каркаса градостроительных природно-техногенных систем в целом. Современный город – это сложная и постоянно развивающаяся геотехсистема, в которой взаимосвязанные водно-зеленые пространства и другие открытые незастроенные озелененные территории являются важной его составляющей, наряду с искусственной застройкой различного назначения. Зачастую структура города, то есть состав и взаимосвязи его отдельных элементов, предопределены природными факторами – рельефом, зелеными насаждениями, акваториями. Все эти составляющие формируют уникальную геотехсистему, а также уникальные для каждого города формы взаимодействия с водной средой.

Как уже было сказано выше, основные принципы формирования городской среды сегодня должны базироваться на концепции устойчивого развития города и прилегающих территорий, а также принципах соответствия используемой городской территории современным требованиям.

Несмотря на сильное техногенное преобразование гидрографической сети в городах, она по-прежнему остается уникальным природным базисом, обеспечивающим устойчивое развитие геотехсистем, поскольку разнообразие экосистем, как правило, сохраняется лучше всего в пределах речных долин, особенно это касается пойм и прилегающих к ним территорий. Кроме того, гидрографическая сеть обеспечивает непрерывную связь с пригородными территориями, а также дискретность городской застройки, поддерживая определенную комфортность проживания в больших массивах застроенных пространств, а благодаря ландшафтам речных долин и прибрежных территорий обладает эстетической ценностью [2].

Подходы к типизации пространственной организации гидрографической сети городов Беларуси изложены ранее в работах [2, 3]. В качестве картографической основы для характеристики гидрографической сети использовалась Публичная кадастровая карта, размещенная на Интернет-сайте Национального кадастрового агентства Республики Беларусь. В максимальном увеличении масштаб карты соответствует плану масштаба примерно 1:1450 (в 1 см 14,5 м) [4].

Оценка структуры и пространственной организации гидрографической сети 115 городов Беларуси с учетом их обеспеченности поверхностными водными объектами позволила выделить несколько групп городов по благоприятности условий устойчивого развития геотехсистемы города (табл. 1).

Таблица 1 – Распределение городов Беларуси на основе существующей структуры и пространственной организации гидрографической сети с учетом их обеспеченности поверхностными водными объектами по степени благоприятности устойчивого развития геотехсистемы города

Условия		Город
Наиболее благоприятные	1.1	Крупные: Витебск, Гомель Большие: Орша Средние: Полоцк Малые: Барань, Глубокое, Городок, Давид-Городок, Добруш, Дубровно, Заславль, Ивье, Крупки, Логойск, Мосты, Несвиж, Островец, Поставы, Толочин, Шклов
	1.2	Большие: Солигорск Малые: Браслав, Житковичи, Лепель, Миоры, Мядель, Новолукомль, Сенно
Благоприятные	2.1	Крупнейший: Минск Крупные: Гродно, Могилев Большие: Бобруйск, Борисов, Лида Средние: Жодино, Кобрин, Слоним, Слуцк, Сморгонь Малые: Ошмяны, Пружаны
	2.2	Крупные: Брест Большие: Мозырь, Новополоцк Средние: Кричев, Речица, Рогачев Малые: Березино, Березовка, Верхнедвинск, Ветка, Дисна, Докшицы, Жабинка, Наровля, Петриков, Славгород, Туров, Чашники, Чериков, Чечерск
Относительно благоприятные	3.1	Малые: Дятлово, Климовичи, Ляховичи, Чаусы
	3.2	Большие: Пинск Средние: Вилейка, Волковыск, Горки, Жлобин, Светлогорск Малые: Быхов, Копыль, Круглое, Мстиславль, Скидель, Столбцы, Узда
Наименее благоприятные	4.1	Большие: Барановичи Средние: Марьина Горка, Молодечно Малые: Бельнич, Каменец, Костюковичи, Столин, Червень
	4.2	Средние: Береза, Держинск, Ивацевичи, Калининичи, Лунинец Малые: Воложин, Высокое, Ганцевичи, Ельск, Иваново, Кировск, Клецк, Коссово, Малорита, Микашевичи, Свислочь, Старые Дороги, Щучин
	4.3	Средние: Новогрудок, Осиповичи Малые: Белоозерск, Буда-Кошелево, Василевичи, Дрогичин, Кличев, Любань, Смолевичи, Фаниполь, Хойники

Выделение групп выполнено на основании следующих условий:

1) Наиболее благоприятные условия: 1.1) тип гидрографической сети относится к диаметральному или гранично-диаметральному с радиально- или гранично-лучевым положением притоков и долей земель под водными объектами более 3 %; 1.2) тип гидрографической сети относится к гранично-водоемному и долей земель под водными объектами более 15 %.

2) Благоприятные условия: 2.1) тип гидрографической сети относится к диаметральному, гранично-диаметральному или периферийно-диаметральному с радиально- или гранично-лучевым положением притоков и долей земель под водными объектами от 1,3 до 3 %; 2.2) тип гидрографической сети относится к граничному или периферийно-граничному с диаметральным-, периферийно- или гранично-лучевым положением притоков и долей земель под водными объектами более 3 %.

3) Относительно благоприятные условия: 3.1) тип гидрографической сети относится к гранично-диаметральному или периферийно диаметральному с гранично-лучевым положением притоков и долей земель под водными объектами от 1,0 до 1,3 %; 3.2) тип

гидрографической сети относится к граничному или периферийно-граничному с диаметрально-, периферийно- или гранично-лучевым положением притоков и долей земель под водными объектами от 1,3 до 3 %.

4) Наименее благоприятные условия: 4.1) тип гидрографической сети относится к граничному или периферийно-граничному с гранично-лучевым положением притоков или без них и долей земель под водными объектами менее 1,0 %; 4.2) сильно трансформированная гидрографическая сеть из-за мелиорации; 4.3) тип гидрографической сети относится к редкому и доля земель под водными объектами менее 1,0 %.

Анализ полученных данных позволил выявить существенные различия в условиях для устойчивого развития геотехсистем городов в разрезе ландшафтных провинций (рис. 1).

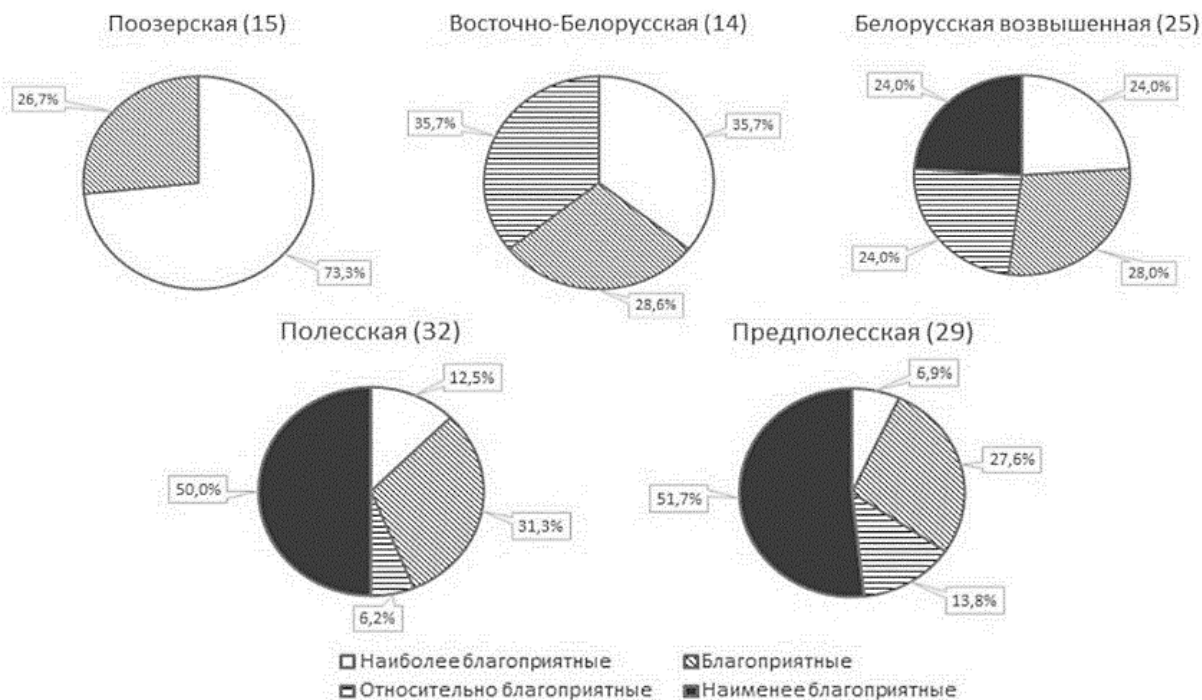


Рисунок 1 – Распределение городов Беларуси по условиям благоприятности существующей гидрографической сети для устойчивого развития интегральной ГТС города в разрезе ландшафтных провинций

Построен ранжированный ряд ландшафтных провинций: Поозерская (I) – Восточно-Белорусская (IV) – Белорусская возвышенная (II) – Полеская (V) – Предполеская (III), для которых выявлены различия в соотношении городов с тенденцией к ухудшению условий для устойчивого развития геотехсистемы города. Так, если в Поозерской ландшафтной провинции аквальная составляющая городов относилась к категории наиболее благоприятной (73,3 %) и благоприятной (26,7 %), в Восточно-Белорусской – 35,7 % городов относились уже к категории относительно благоприятной, в Белорусской возвышенной – на каждую из 4 категорий приходилось примерно по 1/4, то в Полеской и Предполеской ландшафтных провинциях доля городов с наименее благоприятными условиями для устойчивого развития геотехсистемы города достигало 50,0 и 51,7 % соответственно.

Если рассматривать распределение городов по данному критерию в разрезе ландшафтных провинций с учетом их крупности, то крупнейший, крупные и большие города на всей территории страны находятся в целом в наиболее благоприятных и благоприятных условиях для устойчивого развития городской геотехсистемы (рисунок 2). Исключение составляют Пинск (Полеская ландшафтная провинция), который отнесен к категории «относительно благоприятные условия», и Барановичи (Предполеская ландшафтная провинция) – «наименее благоприятные условия».

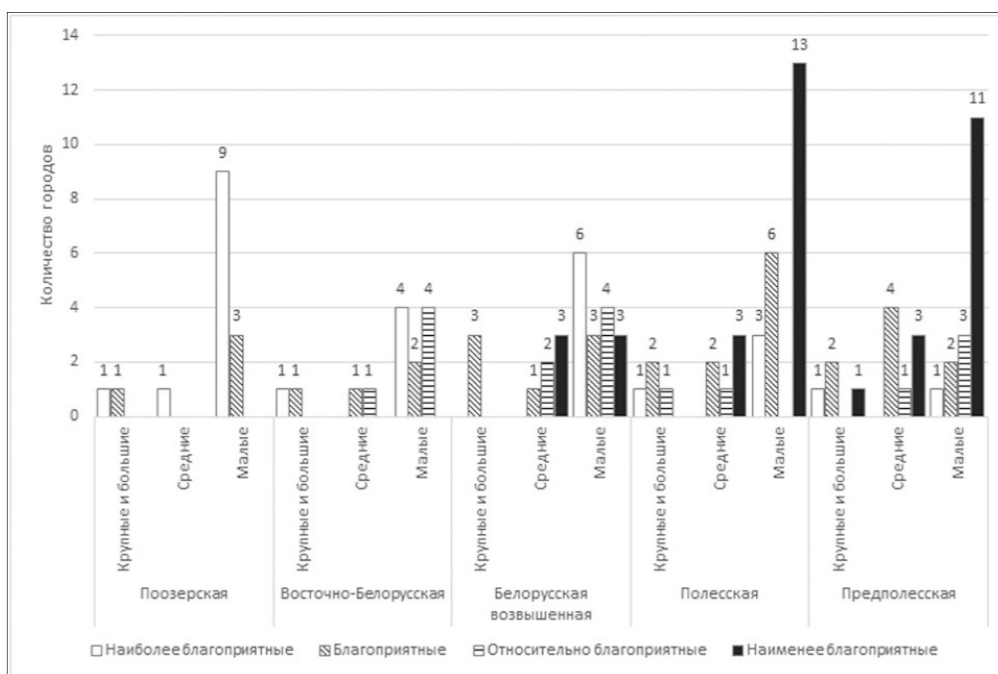


Рисунок 2 – Распределение городов Беларуси с учетом крупности по условиям благоприятности для устойчивого развития геотехсистемы города в разрезе ландшафтных провинций

Для средних городов различия между Белорусской возвышенной, Предполеской и Полеской ландшафтными провинциями практически нивелируются: в каждой из указанных провинций находится по 3 города с наименее благоприятными условиями для устойчивого развития геотехсистемы города (II – Дзержинск, Молодечно, Новогрудок; III – Ивацевичи, Марына Горка, Осиповичи; V – Береза, Калинковичи, Лунинец).

Наиболее контрастная ситуация для малых городов характерна в Полеской ландшафтной провинции, где 9 городов относятся к категориям «наиболее благоприятные» (Давид-Городок, Добруш, Житковичи) и «благоприятные» (Ветка, Жабинка, Наровля, Петриков, Пружаны, Туров) условия для устойчивого развития геотехсистемы города, а остальные 13 – к категории «наименее благоприятные условия». В Предполеской ландшафтной провинции только 1 город отнесен к категории «наиболее благоприятные» условия (Крупки), 2 – к категории «благоприятные» (Березино, Чечерск) и 3 – к категории «относительно благоприятные» (Быхов, Ляховичи, Узда). Остальные 11 городов попадают в категорию с «наименее благоприятными» условиями для устойчивого развития городской геотехсистемы.

#### Список литературных источников

1. Курочкина, В. А. Водные объекты как основа организации открытых общественных пространств и инструмент трансформации урбосистем [Электронный ресурс] / В. А. Курочкина // Вестник Евразийской науки. – 2020. – № 5. – URL: <https://esj.today/PDF/63SAVN520.pdf>. – Дата доступа: 17.02.2023.
2. Кадацкая, О. В. Системообразующая роль гидрографической сети в организации природного каркаса города / О. В. Кадацкая, Е. В. Санец, Е. П. Овчарова // Природопользование. – 2020. – № 1. – С. 39–47.
3. Овчарова, Е. П. Пространственная организация гидрографической сети городов Беларуси как основа для устойчивого развития городских геотехсистем / Е. П. Овчарова, Е. В. Санец, О. В. Кадацкая // Актуальные научно-технические и экологические проблемы сохранения среды обитания : сб. трудов V Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 50-летию кафедры природообустройства, Брест, 26–28 октября 2022 г. / Брест. гос. техн. ун-т ; редкол.: А. А. Волчек [и др.] ; науч. ред.: А. А. Волчек, О. П. Мешик. – Брест : БрГТУ, 2022. – Ч. I. – С. 202–210.
4. Публичная кадастровая карта [Электронный ресурс]. – URL: <http://map.nca.by/map.html>. – Дата доступа: 12.09.2022.



## Современные изменения твердого стока наносов на реках Беларуси

Волчек А.А.<sup>1</sup>, Розумец И.Н.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Брестский государственный технический университет, г. Брест, Республика Беларусь, volchak@tut.by

<sup>2</sup>Брестский государственный технический университет, г. Брест, Республика Беларусь

**Резюме.** В современных условиях изучение твердого стока ведется по 11 постам на 8 реках по всей территории Беларуси. Главной задачей работы является показать закономерности современных изменений твердого стока, построить временные ряды, графики зависимостей и рассчитать основные статистические характеристики.

### Modern changes in solid sediment runoff on the rivers of Belarus

Volchek A., Rozumets I.

**Summary.** In modern conditions, the study of solid runoff is carried out only at 11 posts on 8 rivers throughout Belarus. The main task of the work is to show the patterns of modern changes in solid runoff, build time series, dependency graphs and calculate the main statistical characteristics.

Введение. Твердый сток является неотъемлемой составляющей водного потока. Закономерности формирования твердого стока необходимы во многих сферах деятельности, такие как судоходство, сельскохозяйственные нужды, строительство гидротехнических сооружений, добыча нерудных строительных материалов. Твердый сток – масса взвешенных тонко и мелкозернистых влекомых (перекатываемых) по дну и растворенных химических и биогенных веществ, которые сносятся поверхностным стоком в реки, а также породы, отторгнутые водой от русла и берегов. Выделяют внешние и внутренние факторы поступления твердого вещества в реки. К внешним относят почвенную эрозию, климатические условия, выветривание и денудация, а к внутренним русловой и пойменный аллювий [1]. Мутность воды представляет собой наличие в воде взвешенных механических частиц, то есть мутность – это показатель, характеризующий уменьшение прозрачности воды в связи с наличием неорганических и органических тонкодисперсных взвесей, а также развитием планктонных организмов [2].

Цель работы. Оценить пространственно-временные колебания твердого стока рек Беларуси в современных условиях.

Методы исследования и исходные данные. Исходными данными работы послужили ежегодники государственного водного кадастра «Том III. Ежегодные данные о режиме и ресурсах поверхностных вод».

При определении гидрологических характеристик использовали методы статистического анализа [3].

Расход наносов и мутность водотока, водоема изменяются как во времени, так и в пространстве. Расход взвешенных наносов вычисляются по результатам ежедневных измерений мутности воды с учетом переходных коэффициентов «К» от единичной мутности к средней мутности потока. Корректность определения величин стока взвешенных наносов анализируется по графикам связи среднегодовых расходов взвешенных наносов и расходов воды. Предельная ошибка составляет  $\pm 20\%$ .

Построены графики связи расходов воды и наносов по зависимости  $R_{\text{ср.год}} = f(Q_{\text{ср.год}})$ . Для большинства постов указанные связи достаточно удовлетворительны, что отражено на рис. 1.

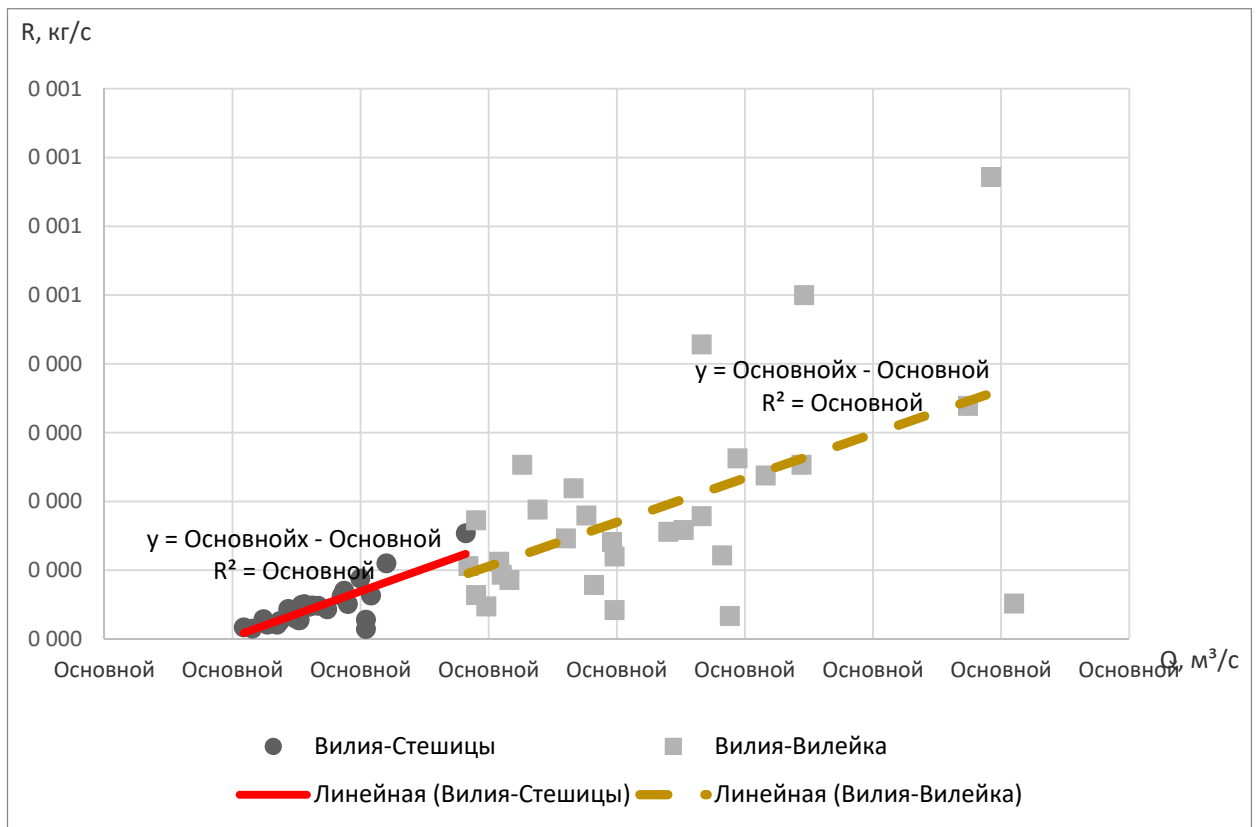


Рисунок 1 – График связей среднегодовых расходов воды ( $Q \text{ м}^3/\text{с}$ ) и наносов ( $R \text{ кг}/\text{с}$ )

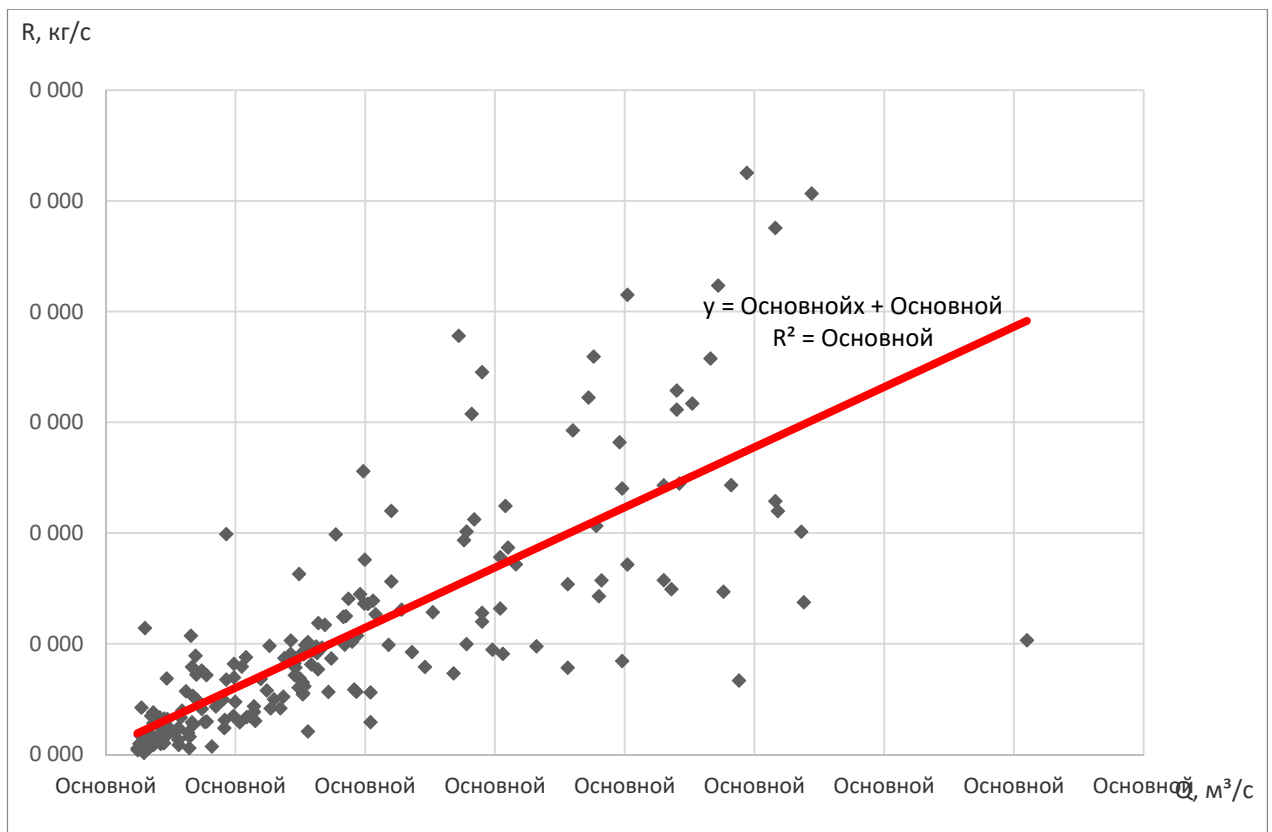


Рисунок 2 – Графики связей среднегодовых расходов воды ( $Q \text{ м}^3/\text{с}$ ) и наносов ( $R \text{ кг}/\text{с}$ ) объединенного ряда значений

На территории Беларуси выделяют две зоны мутности: малой – менее  $25 \text{ г}/\text{м}^3$ , повышенной –  $25\text{--}50 \text{ г}/\text{м}^3$ . Ряд наблюдений, полученный из государственного водного кадастра «Ежегодные данные о режиме и ресурсах поверхностных вод» относится к малой зоне мутности [4].

Таблица 1 – Основные статистические характеристики рядов стока наносов

Река – пункт	Среднее значение ( $\mu$ ), г/с	Коэффициент		
		вариации	асимметрии	корреляции
Полота – с. Янково 1-е	32	0,68	1,96	0,42
Виляя – с. Стешицы	46	0,65	2,07	0,41
Виляя – г. Вилейка	188	0,77	1,81	0,34
Лесная – с. Тюхиничи	55	0,37	1,7	-0,08
Добысна – с. Малевичская Рудня	14	0,8	2,33	-0,09
Уза – с. Прибор	14	0,95	1,26	-0,14
Ясельда – с. Сенин	102	0,47	1,06	0,52

Согласно табл. 2, средние за межень (лето – осень, зима) мутности малых, средних и больших рек несколько ниже годовых от 2,8 до 7,8 г/м<sup>3</sup>. В период весеннего половодья мутность рек колеблется от 6,0 до 15,8 г/м<sup>3</sup>. В зоне малой мутности дождевые паводки существенно не изменяют хода мутности. Наибольшая среднемесячная мутность наблюдается в апреле, реже в марте.

Таблица 2 – Мутность воды рек (г/м<sup>3</sup>) в различные сезоны года

Река – пункт	Период наблюдений	Межень		Весеннее половодье, средняя
		лето – осень	зима	
Полота – с. Янково 1-е	1990–2021	6,2–7,7	5,2–6,1	7,1
Виляя – с. Стешицы	1990–2021	3,6–5,0	3,5–4,2	6,0
Виляя – г. Вилейка	1990–2021	6,4–6,6	5,9–6,1	10,2
Лесная – с. Тюхиничи	1990–2021	4,5–5,2	3,9–4,1	6,4
Добысна – с. Малевичская Рудня	1990–2021	2,8–2,9	–	8,4
Уза – с. Прибор	1990–2021	3,6–4,7	–	9,9
Ясельда – с. Сенин	1990–2021	6,8–7,8	4,0–4,6	7,6
Эса – с. Гадивля	1990–2006	5,1–5,2	5,2	13,5
Неман – г. Столбцы	1990–1995	5,7–6,3	7,4–8,6	15,8
Рыта – с. Малые Радваничи	1990–1995	4,7–5,2	4,0–5,1	7,9

Мутность достигает максимальных значений в период весеннего паводка при кратковременном поднятии уровня воды в реках, которое вызвано таянием ледников, снега, обилием дождей. Снижение происходит в летний период межени, наблюдаются низкие расходы и уровни воды. Осенью мутность незначительно повышается за счет дождей. В зимний же период отмечаются минимальные значения мутности (рис. 2).

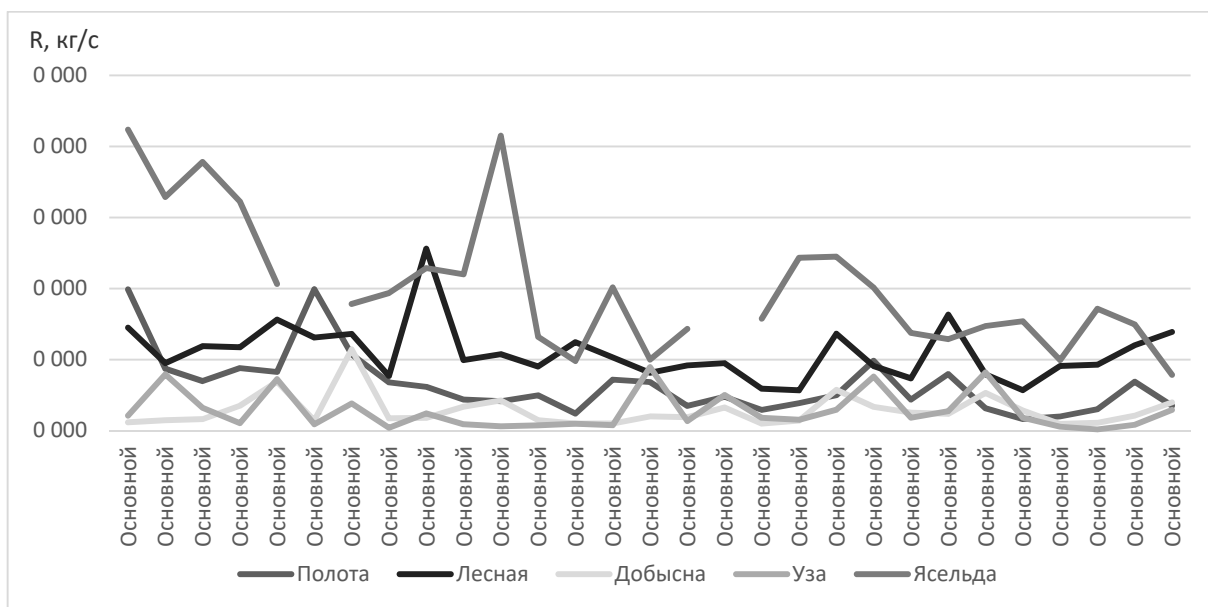


Рисунок 3 – Временной ряд среднеемесячных значений мутности воды

На реке весенний сток наносов составляет от 54,3 до 69,6 % от годового. На долю летнего стока наносов приходится от 16,8 до 30,4 %; зимнего от 5,3 до 19,3 %.

Таблица 2 – Сток взвешенных наносов по сезонам в % от годового

Река – пункт	Площадь водосборов, км <sup>2</sup>	Весна	Межень		
			лето – осень	зима	весь период
Полота – с. Янково 1-е	618	56,7	24,3	19,0	43,3
Виляя – с. Стешицы	1230	54,3	26,9	18,8	45,7
Виляя – г. Вилейка	4190	54,8	27,8	17,4	45,2
Лесная – с. Тюхиничи	2590	56,9	16,8	26,3	43,1
Добысна – с. Малевичская Рудня	454	69,6	30,4	–	30,4
Уза – с. Прибор	760	68,8	25,9	5,3	31,2
Ясельда – с. Сенин	5110	60,1	20,6	19,3	39,9

Выводы. Изменение поверхностного стока имеет различные направления, а мутность рек по всей территории Беларуси уменьшается начиная с 1965–1970 гг. Увеличение доли сельскохозяйственной деятельности приводит к увеличению мутности на 5 %. На фоне изменения климата и уменьшения сельскохозяйственных угодий можно ожидать усиление эрозионных процессов. Изученность твердого стока в современных условиях неудовлетворительна. Сеть наблюдений насчитывает 12 постов по всей республике, распределенных неравномерно.

#### Список литературных источников

1. Ковязина, И. А. Факторы формирования стока взвешенных наносов рек и методы его количественной оценки / Ковязина И. А., Баяндина Д. С. – 2021.
2. Гусева, А. В. Аспекты метрологического обеспечения измерений мутности морской воды / Гусева А. В., Белая М. Н. // Качество продукции: контроль, управление, повышение, планирование. – 2019. – С. 99–102.
3. Статистические методы в природопользовании / В. Е. Валуев [и др.]. – Брест : Изд-во Брестского политехнического института, 1999. – 252 с.
4. Ресурсы поверхностных вод СССР. Белоруссия и Верхнее Поднепровье. – Л. : Гидрометеиздат, 1966. – Т. 5, ч. 1. – 718 с.
5. Оценка допустимой добычи нерудных строительных материалов из русла на примере реки Припять / А. А. Волчек [и др.] // Гидрометеорология и экология. – 2022. – № 2 (105). – С. 6–24.
6. Инженерная гидрология и регулирование стока. Общая гидрология и гидрометрия : учебно-методическое пособие / А. А. Волчек [и др.]. – Горки : БГСХА, 2021. – 152 с.

## **Закономерности формирования максимального стока реки Западная Двина**

Рябый Я.А.<sup>1</sup>, Новик А.А.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> *Республиканский центр по гидрометеорологии, контролю радиоактивного загрязнения и мониторингу окружающей среды, г. Минск, Республика Беларусь, jaroslawriaby@gmail.com*

<sup>2</sup> *БГУ, факультет географии и геоинформатики, г. Минск, Республика Беларусь*

**Резюме.** В работе рассмотрены общие закономерности и условия формирования весеннего половодья, изучены особенности гидрологического режима реки Западная Двина. Проанализировано воздействие режима весеннего половодья реки Западная Двина на окружающую среду и хозяйственную деятельность человека.

### **Regularities of the formation of the maximum flow of the Western Dvina River**

Ruaby Y., Novik A.

**Summary.** The general regularities and conditions of the spring flood formation are considered, and the peculiarities of the hydrological mode of the Western Dvina River are studied. The impact of the spring flood regime of the Western Dvina River on the environment and human economic activity is analyzed.

Важнейшей составляющей гидрологического мониторинга водных объектов является объективная качественная оценка основных характеристик стока рек и их изменений в условиях происходящего потепления климата. Проблемы оценки максимального стока непосредственно связана с исследованием многолетних изменений водности рек. Системный мониторинг весеннего половодья способствует эффективной оценке риска развития опасных гидрологических явлений. По этой причине оценка пространственно-временной изменчивости водных ресурсов и основных характеристик стока рек является в настоящее время одной из приоритетных задач, имеющих научное и практическое значение.

Важной задачей гидрологических исследований представляется выявление многолетних изменений максимального стока, как результат отклика на вариации климатических изменений. При этом наиболее значимым является анализ весеннего половодья – характерной фазы естественного водного режима рек Беларуси. Доля весеннего стока для рек Беларуси колеблется в пределах 40–60% от годовой величины [2].

В многолетнем распределении максимального стока рек республики выделяется два характерных периода: современный (с 1989 по 2019 г.), характеризующийся повышением температуры воздуха, а базовый (с 1948 по 1988 г.) – с климатическими условиями характерными для периода до начала потепления.

Анализ статистической значимости многолетних линейных трендов максимального стока, средних значений, дисперсий климатообусловленных изменений стока двух сравниваемых периодов, выявил ряд закономерностей.

В основу анализа были положены обработанные и оцифрованные многолетние ряды наблюдений по объему стока и расходу воды весеннего половодья на гидрологических постах реки Западная Двина по створам Полоцк и Витебск ГУ «Республиканский центр по гидрометеорологии, контролю радиоактивного загрязнения и мониторингу окружающей среды» Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды.

Выбор створов был обусловлен тем, что в верхних частях бассейнов в меньшей степени отражается влияние притоков в пределах страны, а в нижних можно оценить влияние боковой приточности и рассчитать трансформацию паводочных волн.

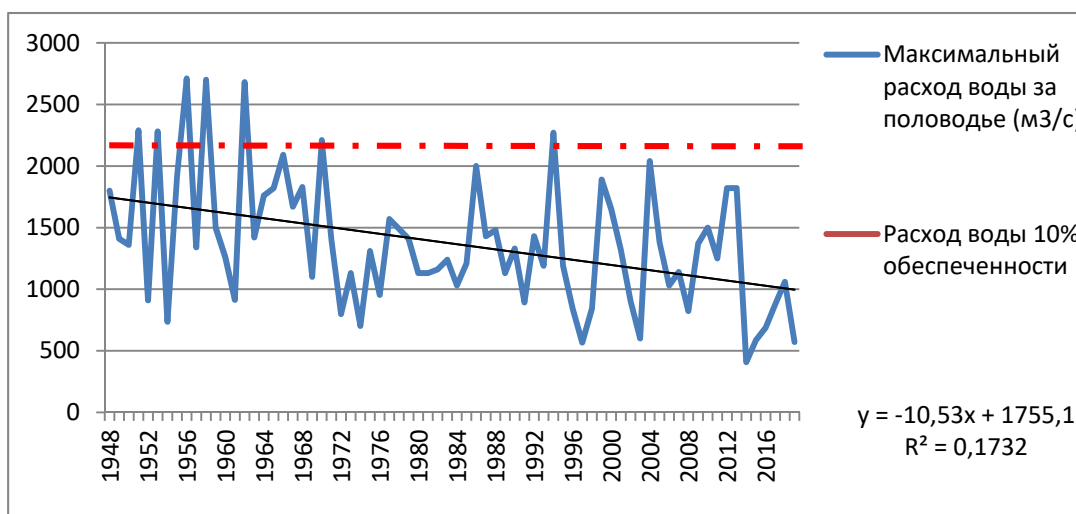
Западная Двина – одна из наиболее значительных рек Беларуси, по водности она уступает только р. Днепр в нижнем течении. Основные гидрографические характеристики водосбора р. Западная Двина: длина от истока до устья составляет 1020 км, в пределах Беларуси – 328 км, общая площадь водосбора – 87,9 тыс. км<sup>2</sup>., озёрность – 2 %; болота и заболоченные земли – 7 %; заболоченный лес – 15 %; сухой лес – 33 % [3].

Примерно 50 % годового стока Западной Двины образуется за счет таяния снега. Дождевые паводки обеспечивают 20 %, а часть стока, представленная грунтовыми (подземными) водами, составляет 30 % [4].

Климат территории речного бассейна формируется под влиянием теплого Северо-Атлантического течения Атлантического океана. Воздушные потоки со стороны Атлантики несут влажный, сравнительно теплый воздух. Это определило для бассейна р. Западная Двина мягкий климат, хорошие условия увлажнения и умеренную температуру. В результате весеннее половодье развивается быстро, почти одновременно по всему бассейну [1].

Весенний подъем уровней начинается за несколько дней до вскрытия, и в среднем, приходится на последнюю декаду марта. Ранние даты начала подъема отличаются от средних примерно на 30 дней, поздние – на 15–20 дней. Наивысшие уровни весеннего половодья наблюдаются в первой половине апреля. В отдельные годы максимальный уровень наблюдался в первой половине марта. Поздние даты пика половодья приходятся на конец апреля – начало мая (рис. 1). Заканчивается половодье обычно в начале июня.

а)



б)

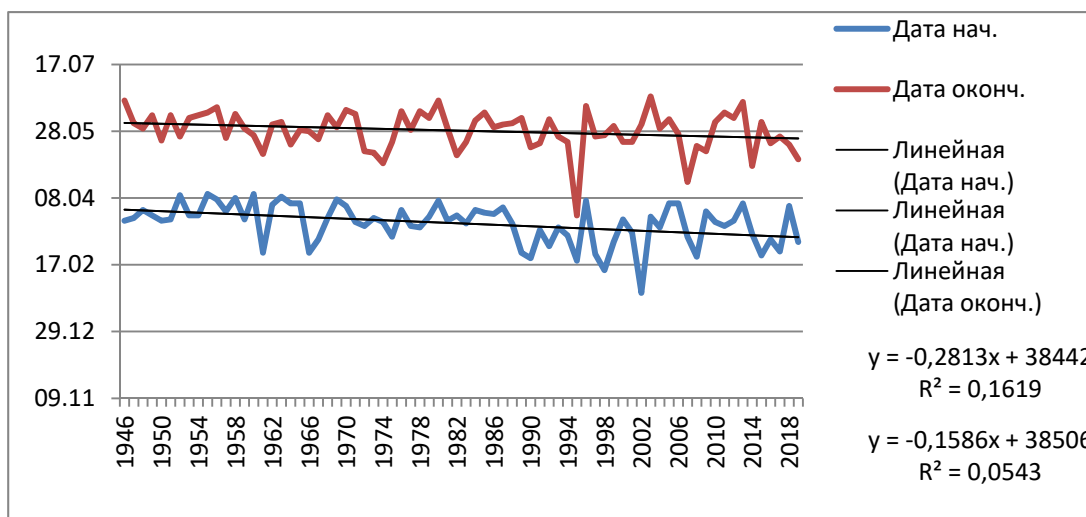


Рисунок 1 – Даты начала и окончания весеннего половодья за период 1948–2019 гг. по створам: а) Витебск, б) Полоцк [5, 6]

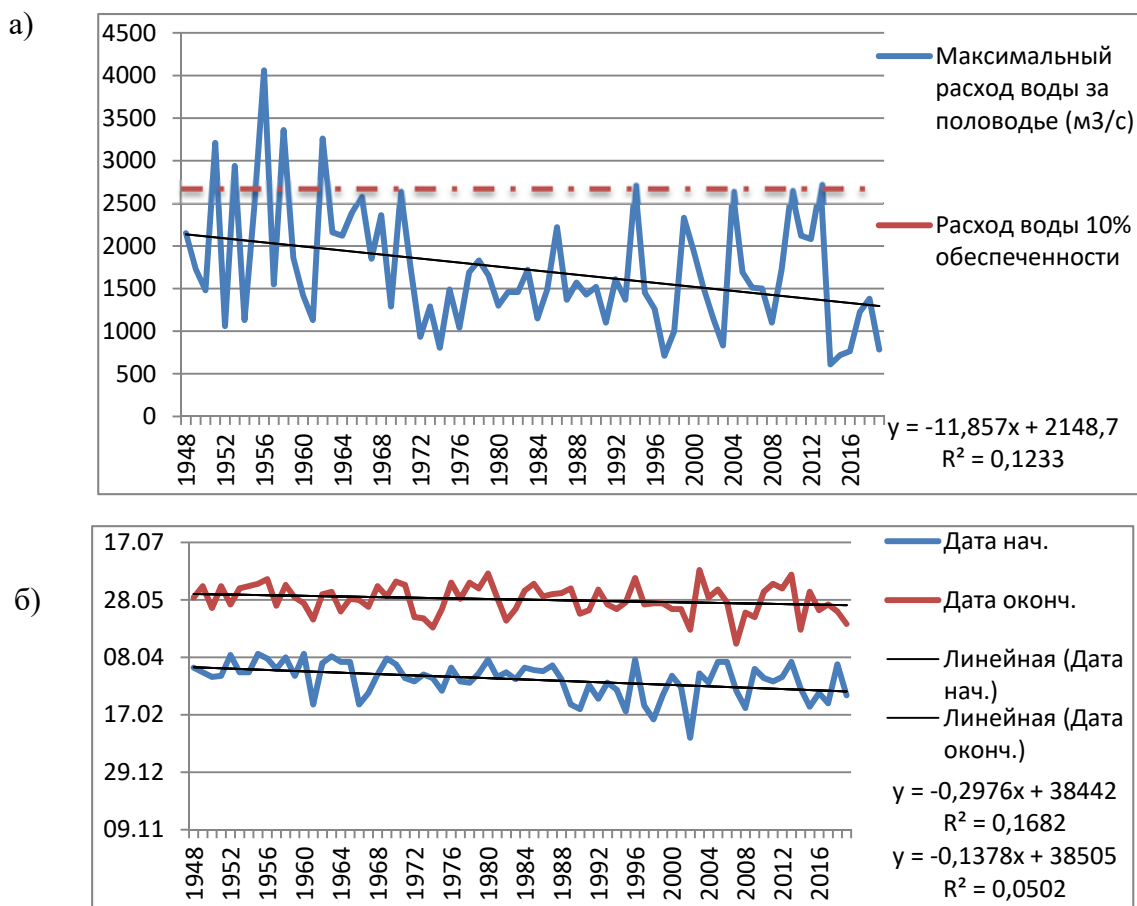


Рисунок 2 – Многолетняя динамика максимального стока р. Западная Двина по створам: а) г. Витебск, б) г. Полоцк (1948–2019 гг.) [5, 6]

Особенности многолетних изменений максимального стока реки Западная Двина иллюстрируется данными, представленными на рис. 2, и свидетельствуют об уменьшении повторяемости опасных максимальных расходов воды.

Анализ средних максимальных расходов воды весеннего половодья показывает, что произошли существенные уменьшения максимального стока.

Создание двух крупных гидроузлов на реке внесло большие изменения в естественный гидрологический режим. В результате регулирующего действия водохранилищ Витебской и Полоцкой ГЭС с 2017 года сток реки в нижнем бьефе стал более равномерным в течение года. В том числе уменьшились расходы паводка.

В таблице приведены данные по статистическим параметрам максимального стока реки Западная Двина за два многолетних периода (современный и базовый).

Таблица – Статистические параметры максимального стока реки Западная Двина и их сравнительная оценка за два многолетних периода – базовый и современный

Река/пост	Периоды	Годы	Средние значения Q, м³/с	$\Delta Q, \%$	$\sigma_2^2/\sigma_1^2$
р. Западная Двина – г. Витебск	базовый	1948–1988	1 519	-23	0,8
	современный	1989–2019	1 175		
р. Западная Двина – г. Полоцк	базовый	1948–1988	1 864	-19	0,72
	современный	1989–2019	1 520		

Примечание.  $\Delta Q, \%$  – изменение максимального стока в современный период по отношению к базовому;  $\sigma_2^2/\sigma_1^2$  – дисперсия максимальных расходов воды в современный и базовый периоды.

Средние даты наступления максимальных расходов воды весеннего половодья в современном периоде сдвинулись на более ранние сроки (71,5 % случаев пик половодий приходится на третью декаду марта). Причиной смещения дат пиков половодий послужили климатические условия. Произошло существенное снижение максимальных расходов воды и их изменчивости. В результате уменьшилась повторяемость наибольших расходов воды малой обеспеченности (в качестве критерия, было принято число лет с превышением расхода 10%-ной эмпирической обеспеченности). В условиях происходящих климатических изменений опасность наводнений снизилась. Уменьшение стока весеннего половодья не исключает возможности формирования крупных наводнений и, следовательно, экономического и экологического ущерба.

На примере анализа гидрологического режима Западной Двины, можно проследить изменения водного режима других крупных рек республики, вызванных природными и антропогенными воздействиями и смоделировать ситуацию в будущем для разработки мероприятий по регулированию стока и снижению возможного влияния неблагоприятных и опасных явлений, связанных с изменениями водного режима.

#### Список литературных источников

1. Калинин, М. Ю. Оценка состояния водных ресурсов бассейнов рек Западная Двина и Неман в Республике Беларусь / М. Ю. Калинина, А. В. Пахомов ; Республиканское унитарное предприятие «Центральный научно-исследовательский институт комплексного использования водных ресурсов. – Минск : Белсэньс, 2008. – 60 с.
2. Логинов, В. Ф. Весенние половодья на реках Беларуси: пространственно-временные колебания и прогноз / В. Ф. Логинов, А. А. Волчек, Ан. А. Волчек. – Минск : Беларуская навука, 2014. – 244 с.
3. Западная Двина – Даугава: река и время / В. Ф. Логинов [и др.]. – Минск : Беларуская навука, 2006. – 270 с.
4. Лопух, П. С. Влияние атмосферной циркуляции на формирование гидрологического режима рек Беларуси / Лопух П. С., Партасенок (Данилович) И. С. – Минск : БГУ, 2013. – 224 с.
5. Архивные данные Республиканского центра по гидрометеорологии, контролю радиоактивного загрязнения и мониторингу окружающей среды Республики Беларусь.
6. Государственный водный кадастр [Информационный ресурс] : данные о режиме и ресурсах поверхностных вод Республики Беларусь, № свид-ва 0870100020 / Республиканский центр по гидрометеорологии, контролю радиоактивного загрязнения и мониторингу окружающей среды. – Минск.

#### **Динамика изменения площади водохранилищ в Республике Беларусь**

Таврыкина О.М., Шпакова Д.А., Макус А.З., Ивашко Е.А., Бладыко В.Д.

*Республиканское унитарное предприятие «Центральный научно-исследовательский институт комплексного использования водных ресурсов», г. Минск, Республика Беларусь, tavrykina@cricuwr.by*

**Резюме.** Приводятся результаты измерения площади поверхности воды водохранилищ за 15-летний период в разрезе областей и по республике. Отмечается суммарное снижение площади водохранилищ в настоящее время, приводятся водохранилища, претерпевшие наибольшее изменение площади.

#### **Dynamics of changes in the surface area of reservoirs in the Republic of Belarus**

Tavrykina O., Shpakova D., Makus A., Ivashko E., Bladyko V.

**Summary.** The results of measuring the water surface area of reservoirs over a 15-year period are given in the context of regions and across the republic. A total decrease in the area of reservoirs is noted, reservoirs that have undergone the greatest change in area are given.

Измерение площади поверхности воды водных объектов играет большую роль для решения задач по их сохранению, для описания и моделирования процессов гидрологического и углеродного цикла, круговорота питательных веществ, обеспечения целостности



экологических функций и поддержания видового биоразнообразия водных и околоводных экосистем.

Водохранилище, согласно Водному Кодексу Республики Беларусь, это искусственный водоем, с площадью поверхности воды более 100 гектаров, созданный в целях накопления, хранения воды и регулирования стока [1]. В водохранилищах концентрируются существенные запасы пресной воды, они являются стратегически важными для республики водными объектами, обеспечивающие бытовое водоснабжение, ирригацию, выработку электроэнергии, регулирование паводковых явлений, рекреацию и др.

На территории страны создано 87 водохранилищ. Основное количество водохранилищ было возведено в период 90-х годов в связи с активным освоением мелиорируемых земель для двустороннего регулирования водного режима. Водохранилища наливного типа сосредоточены в основном в южной части республики, а озерного типа – в северной [2]. Основные искусственные водоемы находятся в районе Белорусского Полесья и принадлежат бассейнам рек Припять и Днепр. По месту расположения преобладают водохранилища руслового типа. Наибольшее количество водохранилищ находятся в Минской – 24 и Брестской – 23 областях [3, 4, 5, 6, 7].

В настоящее время ряд водохранилищ нуждается в реконструкции, из 62 наливных водохранилищ требуется проведение восстановительных и профилактических ремонтных работ на 26 неэксплуатируемых водохранилищах [8].

Площади поверхности воды для 87 водохранилищ были измерены картографическим методом исследований картометрическим способом с применением средств географических информационных систем.

Для измерения площади современного состояния водохранилищ было использовано программное средство QGIS 3.26 с использованием картографического сервиса Google Earth Pro (рис. 1).

Поскольку для водохранилищ характерно сезонное регулирование, в расчет брались площади, относящиеся к летнему периоду.



Рисунок 1 – Вкладка «Измерения» в окне редактирования слоя вдхр. Млынок (июль 2012 г.)

Для сравнительного анализа данных приведены справочные данные площадей водохранилищ, представляющие собой проектируемую расчетную величину – площадь при нормальном подпорном уровне (НПУ) (табл.). Проведение ретроспективного анализа площади водохранилищ за ряд лет показало, что площадь многих водохранилищ ни в одном из годов не достигала своей проектной расчетной величины, а оставалась на протяжении ряда лет ниже значений НПУ, колеблясь незначительно по сезонам, с чем связано столь существенное отклонение суммарной площади водохранилищ при НПУ от площади, рассчитанной картометрическим способом.

Анализ полученных данных показал, что большинство водохранилищ претерпело изменение площади поверхности воды в сторону уменьшения (таблица). Наблюдалось

сокращение площади водохранилищ в 2017 г. по сравнению с предыдущим периодом 2008–2012 гг., расположенных в Брестской, Витебской, Минской и Могилевской областях. Суммарная площадь поверхности воды водохранилищ увеличилась на 24,25 км<sup>2</sup> – от 664,24 км<sup>2</sup> до 688,41 км<sup>2</sup>. Увеличение произошло главным образом за счет строительства водохранилищ Полоцкой и Витебской ГЭС, ввод в эксплуатацию которых был осуществлен в 2017 году. Наибольшее сокращение площади произошло в Осиповичском, Браславском, Вилейском водохранилищах.

Таблица 1 – Изменение площади поверхности воды водохранилищ

Область	Количество водохранилищ	Площадь поверхности воды, км <sup>2</sup>			
		2008–2010 гг. (при НПУ) <sup>[5]</sup>	2008–2012 гг.	2017 г.	2018–2022 гг.
Брестская	23	119,43	95,58	92,01	92,10
Витебская	14	324,48	291,35	313,92	313,69
Гомельская	9	36,45	18,36	18,58	18,11
Гродненская Ветковский	7	36,26	21,16	29,09	29,25
Минская	24	243,10	197,49	197,47	197,94
Могилевская	10	51,63	40,32	37,34	36,08
Всего по Республике Беларусь	87	811,35	664,26	688,41	687,17

В Гродненской области увеличение площади водохранилищ произошло за счет строительства водохранилища Гродненской ГЭС, в Гомельской области – за счет увеличения площади поверхности воды Днепро-Брагинского водохранилища.

В настоящее время площадь водохранилищ сократилась по сравнению с 2017 г., сокращение площади составило 1,24 км<sup>2</sup> (0,18 %). Суммарное сокращение площади по сравнению с периодом 2008–2012 гг. наблюдалось в водохранилищах всех областей, за исключением Гродненской и Витебской, где произошло возведение водохранилищ, за последние пять лет – в Гомельской, Витебской и Могилевской областях. В той или иной степени, в сторону уменьшения претерпели изменения 48 водохранилищ. Наиболее существенное снижение площади произошло в следующих водохранилищах: Свидное (55,32 %), Светлогорское (17,02 %), Дружба Народов (7,09 %), Осиповичское (36,42 %) (рис. 2). Водохранилище Корнадское (Гродненская область) в настоящее время опорожнено, вода в нем отсутствует, поэтому в расчет не включалось.

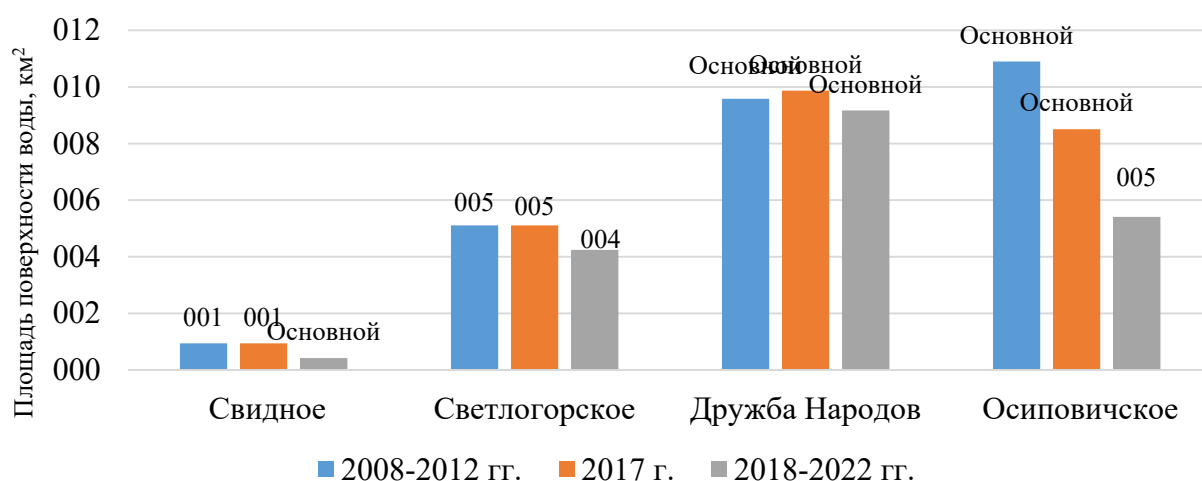


Рисунок 2 – Водохранилища с отрицательной динамикой площади поверхности воды

Вместе с тем для ряда водохранилищ (18) отмечено увеличение площади поверхности воды, наиболее значимое увеличение характерно для следующих водохранилищ: Луковское (14,32 %), Днепро-Брагинское (12,66 %), Чигиринское (6,00 %), Солигорское (5,51 %) (рис. 3).

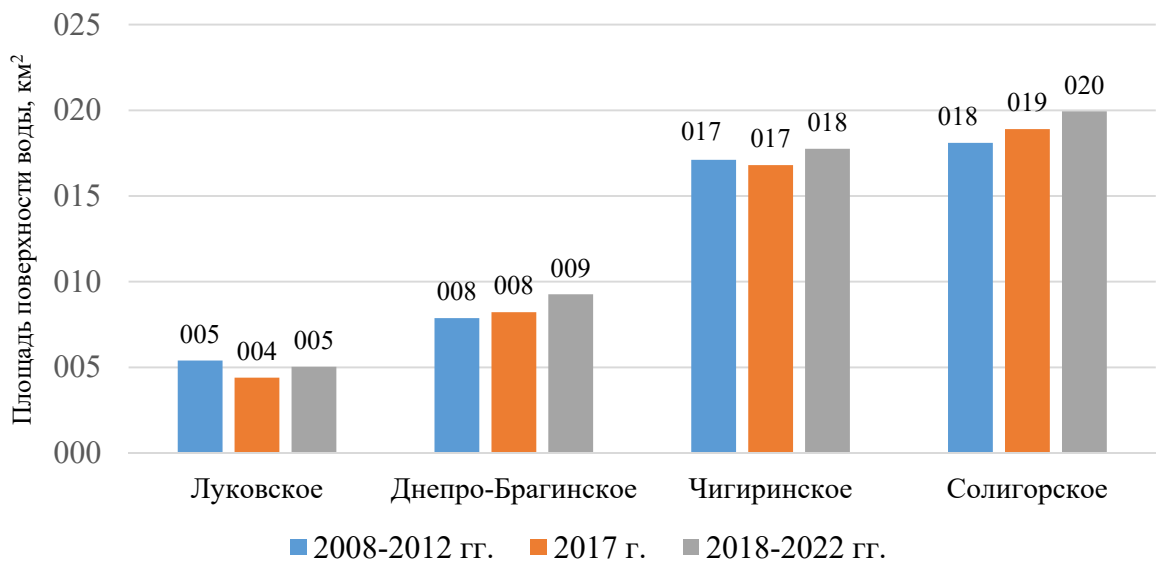


Рисунок 3 – Водохранилища с положительной динамикой площади поверхности воды

Таким образом, за последние 15 лет (2008–2022 гг.) отмечается тенденция к сокращению площадей поверхности воды водохранилищ за исключением вновь возведенных. Суммарная площадь водохранилищ в Республике Беларусь сократилась на 2,03 км<sup>2</sup> или 0,31 % за последние 15 лет и на 1,09 км<sup>2</sup> (0,16 %) за последние пять лет. Ежегодное расчетное снижение площади поверхности воды водохранилищ составляет 0,14 км<sup>2</sup>/год. При этом сокращение площади отмечено для 48 водохранилищ, для 18 водохранилищ наблюдается увеличение площади, а для 18 водохранилищ изменение значения площади оказалось несущественным либо без изменений.

Работы по ремонту, восстановлению и максимальному проектному использованию водохранилищ, заполнение с помощью насосных станций до проектных параметров наливных водохранилищ входят в комплекс мероприятий по совершенствованию сохранения водных ресурсов в ближайшей перспективе.

#### Список литературных источников

1. Водный кодекс Республики Беларусь [Электронный ресурс] : 30 апреля 2014 № 149-З : принят Палатой представителей 2 апреля 2014 г. : одобр. Советом Респ. 11 апреля 2014 г. // ЭТАЛОН. Законодательство Республики Беларусь / Нац. Центр правовой информ. Респ. Беларусь, 2018.
2. Национальная стратегия управления водными ресурсами в условиях изменения климата на период до 2030 года : постановление Совета Министров Республики Беларусь от 22.02.2022 № 91. – 25 с.
3. Реестр поверхностных водных объектов Республики Беларусь для водохранилищ [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://195.50.7.216:8081/watres/makelist/>. – Дата доступа: 01.08.2022.
4. Блакітная кніга Беларусі : энцыкл. / Беларус. Энцыкл. ; рэдкал.: Н. А. Дзісько [і інш.]. – Мінск : БелЭн, 1994. – 415 с.
5. Водохранилища Беларуси : справочник / под общей редакцией д.т.н. М. Ю. Калинина. – Мінск : Полиграфкомбинат им. Я. Коласа, 2005. – 182 с.
6. Водохранилища Белоруссии: природные особенности и взаимодействие с окружающей средой / под ред. В. М. Широкова. – Минск : Университетское, 1991. – 208 с.
7. Широков, В. М. Водохранилища Белоруссии : справочник / Широков В. М., Пидопличко В. А. – Минск : БГУ, 1992. – 80 с.
8. Касперов, Г. И. Повреждения подпорных гидротехнических сооружений на искусственных водоемах Беларуси как фактор риска гидродинамических аварий / Г. И. Касперов [и др.] // Труды БГТУ. Серия 1. – 2018. – № 2. – С. 259–265.

## Оценка химического загрязнения водохранилища Вяча

Струк М.И., Живнач С.Г.

*Институт природопользования НАН Беларуси, г. Минск, Республика Беларусь,  
zhyunach@gmail.com*

**Резюме.** Представлена оценка химического загрязнения водохранилища Вяча и реки, на которой оно построено, выше и ниже водохранилища. Рассмотрены внутренние и внешние факторы формирования качества воды, включая гидрологические параметры водохранилища и экологическое состояние его водосборного бассейна. Определены уровни и сезонные особенности общей минерализации воды и концентрации в ней биогенных веществ.

### Assessment of chemical pollution of the Vyacha reservoir

Struk M., Zhivnach S.

**Summary.** An assessment of the chemical pollution of the Vyacha reservoir and the Vyacha river, on which it is built, above and below the reservoir is presented. The internal and external factors of water quality formation are considered, including the hydrological parameters of the reservoir and the ecological state of its catchment basin. The levels and seasonal features of the total mineralization of water and the concentration of biogenic substances are determined.

**Введение.** Водоохранилище Вяча относится к основным пригородным водоемам Минска, используемым для массового отдыха и оздоровления городского населения. Оно было построено в рекреационных целях в 1970 г. Его создание явилось результатом резкого увеличения спроса на пригородный отдых со стороны населения г. Минска, в связи с высокими темпами роста его численности, а также переходом с шести- на пятидневную рабочую неделю.

Площадь водохранилища составляет 1,68 км<sup>2</sup>. В настоящее время в непосредственной близости от него размещается база отдыха, детский оздоровительный лагерь, три агроусадыбы. Проектная численность неорганизованных отдыхающих местной зоны массового отдыха составляет 20 тысяч человек.

Эффективность выполнения водохранилищем рекреационной функции в решающей степени зависит от качества его вод. Основной проблемой при этом выступает антропогенное эвтрофирование водоема, обусловленное избыточным поступлением в него биогенных веществ – соединений азота и фосфора. Оно вызывает «цветение» воды именно в летний период, когда вода хорошо прогревается и наступает пик купального сезона.

Вопросы качества вод рассматриваемого водоема затрагивались ранее в публикациях, посвященных оценке химического загрязнения пригородных водохранилищ Минска [1, 2]. В то же время они носили довольно общий характер, касаясь, в первую очередь, типичных для данных водохранилищ направлений водоохраной деятельности. Применительно к каждому из них подобного рода направления, очевидно, нуждаются в конкретизации.

Цель работы – оценить химическое загрязнение водохранилища Вяча и обосновать пути водоохраной деятельности по его снижению. Для ее достижения решались задачи по оценке предпосылок подобного загрязнения с учетом обуславливающих его внутренних и внешних факторов, а также выявлению особенностей загрязнения и определению путей его снижения.

Методическую основу исследования составило применение бассейнового подхода в сочетании с методикой гидрохимической оценки водоемов. Определялась общая минерализация вод, а также концентрация в них четырех биогенных веществ: нитратов, нитритов, азота аммонийного и фосфора фосфатов. Принимая во внимание особую значимость проблемы антропогенного эвтрофирования водохранилища, для выявления особенностей его химического загрязнения проводилось сравнение уровней концентрации этих веществ с показателями ПДК, установленными для водоемов рыбохозяйственного назначения, как более жесткими.

Исходные данные для исследования получены авторами в результате полевых изысканий, проведенных во все сезоны года в период с 2009 по 2022 г. Водные пробы

отбирались в самом водохранилище, а также в реке выше и ниже его. Всего проанализировано 62 пробы.

Факторы, оказывающие влияние на химическое загрязнение водохранилища. 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 водосборного бассейна.

Река Вяча, на которой построено водохранилище, является левым притоком р. Свислочи. В него также поступают воды притока р. Вячи – р. Черницы. Обе реки относятся к категории малых. Протяженность первой из них до верхнего бьефа составляет 25 км, второй – 7 км. Режим и гидрохимическое состояние малых рек, а, следовательно, и сооруженного на них водохранилища, в решающей степени зависят от местного водосбора.

К основным гидрологическим параметрам самого водохранилища, определяющим его устойчивость к внешним воздействиям, относится объем его воды, проточность, глубина. От объема воды зависит разбавляющая способность водоема, проточности – образование застойных явлений, глубины – температура воды, оказывающая влияние на эвтрофирование.

По объему воды – 5,1 млн. м<sup>3</sup> водохранилище Вяча является сравнительно небольшим водоемом, обладая, соответственно, невысокой устойчивостью к загрязнению (табл. 1). Его проточность достаточна для предотвращения застойных явлений. Средняя глубина находится на типичном для пригородных водоемов Минска уровне и может характеризовать степень его устойчивости как умеренную.

Таблица 1 – Факторы формирования качества воды водохранилища Вяча

Показатели	Единица измерения	Величина
Гидрологические параметры водохранилища		
Объем воды	млн м <sup>3</sup>	5,1
Водообмен	раз за год	5,0
Средняя глубина	м	3,0
Экологическое состояние водосборного бассейна		
Площадь	км <sup>2</sup>	108,0
Доля ландшафтов: возвышенных низинных	%	79,0
		21,0
Потенциальный смыв почвы	т/га	3,8
Лесистость	%	58,3
Доля сельскохозяйственных земель	%	26,5
Доля земель, занятых сельскими поселениями	%	6,2
Доля земель, занятых садоводческими товариществами	%	4,9

Водосборный бассейн водохранилища Вяча соответствует категории малой реки, на которой он построен и занимает небольшую площадь – 108 км<sup>2</sup>. Для оценки экологического состояния данного бассейна рассмотрено его ландшафтное строение и хозяйственное использование. От этих характеристик зависят источники загрязняющих веществ и каналы их поступления в водные объекты.

Ландшафтную структуру бассейна формируют ландшафты двух высотных уровней: возвышенные холмисто-моренно-эрозионные и низинные пойменные и болотные. На долю первых приходится 79 % площади, вторых – 21 %. Преобладание в ландшафтной структуре бассейна возвышенных ландшафтов, которые отличаются низкой устойчивостью к эрозии и высокой к загрязнению грунтовых вод [3], обуславливает ведущую роль эрозионных процессов в поступлении загрязняющих веществ в водные объекты. Рассчитанный для него показатель потенциального смыва почв составляет 3,8 т/га.

Вследствие пригородного положения бассейна в его пределах имеет место сравнительно высокая заселенность, а также размещение садоводческих товариществ. Сельские и рекреационные поселения совместно занимают десятую часть территории.

Сельскохозяйственное освоение бассейна низкое. На сельскохозяйственные земли приходится лишь немногим больше четверти его площади, что в 1,5 раза ниже среднего для Беларуси значения. Соответственно, лесистость, наоборот, является более высокой – в 1,5 раза

выше средней, из чего следует наличие у территории значительного водоохранного потенциала.

Уровни и сезонные особенности загрязнения вод. Для определения влияния водосборного бассейна на гидрохимическое состояние водохранилища рассмотрена минерализация воды в трех створах, расположенных в такой последовательности: «река выше водохранилища – водохранилище – река ниже водохранилища». Самое высокое значение соответствующего показателя получено в реке выше водохранилища и самое низкое – в самом водохранилище (рис. 1а). Подобное его распределение свидетельствует о том, что отмеченное влияние бассейна является решающим. Кроме того, в нем находит отражение также своеобразная опресняющая роль водохранилища.

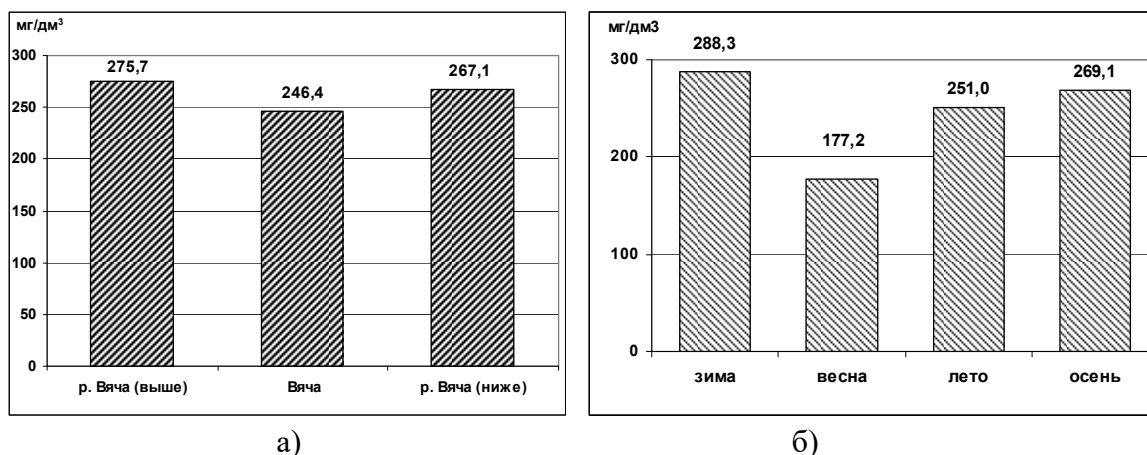


Рисунок 1 – Среднегодовая минерализация вод водохранилища Вяча и реки Вяча (а) и средняя минерализация вод водохранилища по сезонам года (б)

В сезонном распределении минерализации воды в водохранилище прослеживается внутригодовая динамика от наибольшей ее величины зимой до наименьшей – весной (рис. 1б). Более высокая минерализация в зимний период соответствует гидрохимическому режиму озер Беларуси [4]. Уменьшение ее весной, по-видимому, связано с притоком талых снеговых вод.

Для оценки химического загрязнения реки и водохранилища биогенными веществами выполнены расчеты среднегодовых концентраций каждого из них по всем трем створам. Кроме того, для реки выше водохранилища и самого водохранилища определялась частота случаев превышения ПДК.

Согласно упомянутой выше последовательности створов установлены следующие величины концентраций (мг/дм³): нитриты (0,050 – 0,037 – 0,032); азот аммонийный (0,33 – 0,17 – 0,10); нитраты (4,6 – 4,9 – 3,4); фосфор фосфатов (0,054 – 0,017 – 0,008). Эти величины показывают, что ни в одном из створов превышений ПДК не отмечается.

По трем биогенным веществам прослеживается одинаковая зависимость – их концентрация в реке выше водохранилища она всегда более высокая, нежели в водохранилище: по нитритам – в 1,4, азоту аммонийному – в 1,9, фосфору фосфатов – в 3,2 раза. Ниже водохранилища отмеченная концентрация еще больше уменьшается. Приведенная зависимость, как и в случае общей минерализации воды, отражает, во-первых, ведущую роль водосборного бассейна в биогенном загрязнении водохранилища, во-вторых, выполнение последним функции очистки вод от данного загрязнения за счет происходящих в нем биохимических и гидрохимических процессов.

Текущее биогенное загрязнение вод реки и водохранилища фиксировалось по трем веществам: нитритам, азоту аммонийному и фосфору фосфатов. Общая доля отобранных водных проб с превышением ПДК в реке выше водохранилища составила 56 %, в самом водохранилище – 22 %, что в 2,5 раза меньше (табл. 2). В вещественном составе загрязнителей применительно к реке имеет место одинаковая доля каждого из них – по 22 %. По отношению к водохранилищу основной вклад вносит азот нитритный, далее следует азот аммонийный и затем фосфор фосфатов.

В сезонном распределении биогенного загрязнения наибольшая частота его повторяемости, как для реки, так и водохранилища приходится на весну, составляя,

соответственно, 75 и 40 %. По остальным сезонам для реки она является одинаковой, проявляясь в половине проб. В водохранилище выделяется летний период, когда превышений ПДК не зафиксировано и на который приходится максимальная биопродукционная интенсивность.

Таблица 2 – Частота превышения ПДК биогенных веществ в воде р. Вяча выше водохранилища и в самом водохранилище, %

Вещества	Створ	Доля проб выше ПДК, %				
		зима	весна	лето	осень	всего
Азот нитритный	Река Вяча, выше вдхр.	–	25	17	50	22
	Водоохранилище Вяча	17	20	–	20	13
Азот аммонийный	Река Вяча, выше вдхр.	25	25	17	25	22
	Водоохранилище Вяча	17	20	–	–	9
Фосфор фосфатов	Река Вяча, выше вдхр.	25	25	33	–	22
	Водоохранилище Вяча	17	–	–	–	4
Всего выше ПДК	Река Вяча, выше вдхр.	50	75	50	50	56
	Водоохранилище Вяча	33	40	–	20	22

Вместе с тем отсутствие летом подобного рода превышений не свидетельствует о благополучном экологическом состоянии водоема. Как показали натурные наблюдения, во второй половине июля в нем в различные годы фиксировалось «цветение» воды. Для предотвращения подобного явления, очевидно, необходимо обеспечить снижение поступления в водоем биогенных веществ. Значимость этого требования повышается в связи с прогнозируемым потеплением климата, которое вызовет повышение температуры воды и активизацию процессов эвтрофирования.

Заключение. Водоохранилище Вяча характеризуется высокой потенциальной уязвимостью к загрязнению из-за сравнительно небольшого объема водной массы.

Определяющую роль в формировании гидрохимического состава вод водохранилища играет его водосборный бассейн: их минерализация в речном створе выше водохранилища превышает таковую в самом водоеме в 1,1 раза, а концентрация различных биогенных веществ в 1,4–3,2 раза.

Водосборный бассейн водохранилища располагает высоким водоохраным потенциалом – его лесистость составляет 58 %, что, однако, не обеспечивает нормативного качества вод водохранилища, частота биогенного загрязнения которых составляет 22 %.

С учетом преобладания в ландшафтной структуре бассейна уязвимых к эрозии возвышенных ландшафтов, на долю которых приходится 4/5 его площади, основу водоохраной деятельности в его пределах должны составить меры по снижению почвенной эрозии сельскохозяйственных земель, что позволит уменьшить поступление с ее продуктами загрязняющих веществ в водоем.

#### Список литературных источников

1. Струк, М. И. Геоэкологическая оценка пригородных водохранилищ Минска / М. И. Струк, С. Г. Живнач, Г. М. Бокая // Природопользование. – 2013. – Вып. 23. – С. 115–124.
2. Струк, М. И. Бассейновый критерий организации природного каркаса пригородной территории (на примере Минска) / М. И. Струк, С. Г. Живнач, Г. М. Бокая // Природопользование. – 2021. – Вып. 1. – С. 62–72.
3. Струк, М. И. Оценка ландшафтной устойчивости территории административных районов Беларуси / М. И. Струк, А. А. Хомич, В. А. Бакарасов // Природопользование. – 2001. – Вып. 7. – С. 57–60.
4. Власов, Б. П. Антропогенная трансформация озер Беларуси: геоэкологическое состояние, изменения и прогноз / Б. П. Власов. – Минск, 2004. – 207 с.

## **Бассейн реки Березина: оценка экологического состояния по показателям сообществ гидробионтов**

Хархаль А.Н.

*Республиканский центр по гидрометеорологии, контролю радиоактивного загрязнения и мониторингу окружающей среды, г. Минск, Республика Беларусь,  
anna-madlen69@yandex.ru*

**Резюме.** В пределах бассейна реки Березина в 2012–2022 гг. на 50–78% створов установлен отличный и хороший статус по гидробиологическим показателям. Показатели для реки Березина выше, чем для малых рек ее бассейна. Доля видов-индикаторов чистых вод (Ephemeroptera, Plecoptera, Trichoptera) достигала 36%. С увеличением антропогенной нагрузки отмечено закономерное снижение биоразнообразия сообществ макрозообентоса по течению реки Березина.

### **The Berezina River Basin: Assessment of the Ecological State Based on Indicators of Hydrobiont Communities**

Kharkhal A.

**Summary.** In 2012–2022 up to 78% of biological monitoring sites within Berezina River basin have an excellent and good ecological status. The Berezina River had a higher ecological status in comparison with its tributaries. Bioindicators of clear waters (Ephemeroptera, Plecoptera, Trichoptera) accounted for up to 36% in the structure of zoobenthos community. Biodiversity decreased with an increase in anthropogenic load on the Berezina River basin.

**Введение.** Река Березина является правым притоком реки Днепр, протекает на территории Беларуси и имеет длину 613 км от истока на северо-западе г. Докшицы Витебской области до впадения в р. Днепр в Речицком районе Гомельской области. Бассейн реки Березина полностью расположен на территории Беларуси, имеет площадь водосбора 24 500 км<sup>2</sup>, общую длину речной системы 8490 км и густоту сети 0,35 км/км<sup>2</sup> [1].

Мониторинг поверхностных вод, как отдельный вид мониторинга (Постановление Совета Министров от 14.07.2003 № 949), входит в состав Национальной системы мониторинга окружающей среды Республики Беларусь (далее – НСМОС). В соответствии с Приказом Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды от 19.07.2019 г. № 180-ОД и от 01.08.2022 г. № 235-ОД, в рамках мониторинга экологического состояния водных объектов бассейна реки Днепр установлено 18 пунктов наблюдения по гидробиологическим показателям на водотоках бассейна реки Березина. Так, с 2003 г. наблюдения ведутся на 3 створах р. Березина в районе н.п. Броды, г. Бобруйск выше и ниже. С 2004 г. начались наблюдения еще на 12 створах: р. Гайна (н.п. Гайна), р. Плисса (г. Жодино выше и ниже), р. Свислочь (н.п. Хмелевка, н.п. Дрозды, н.п. Подлосье, н.п. Королищевичи, н.п. Свислочь), р. Березина (г. Борисов и г. Светлогорск выше и ниже), р. Сушанка (н.п. Суша). В 2011 г. были установлены 2 фоновых пункта наблюдения на р. Цна Северная (н.п. Липки) и р. Бобр (н.п. Бобр).

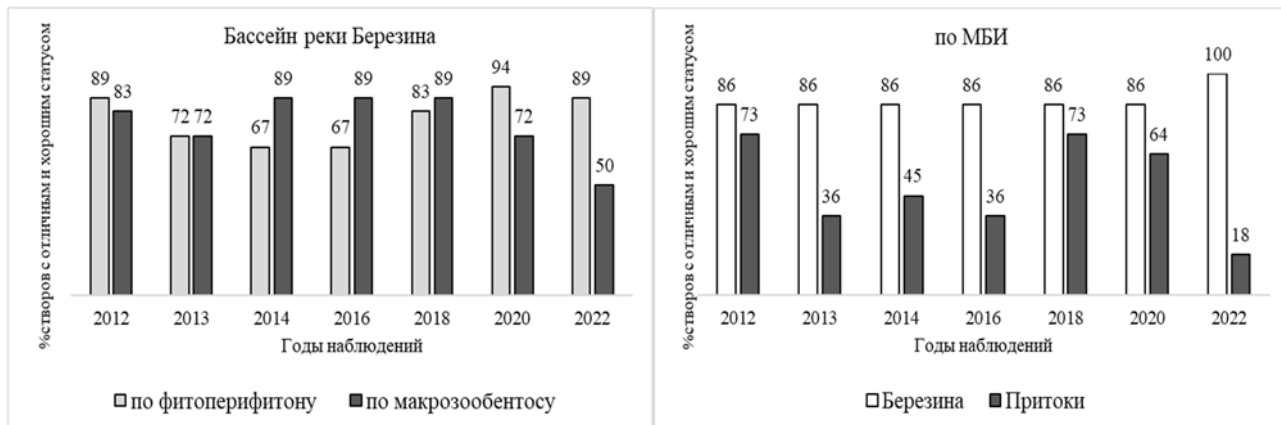
Цель работы – оценка состояния бассейна реки Березина по гидробиологическим показателям (в рамках НСМОС) с описанием таксономического состава макрозообентоса.

**Материалы и методы.** Объект исследования – сообщества макрозообентоса и фитоперифитона, отобранные в период 2012–2022 гг. на 18 речных пунктах наблюдения бассейна реки Березина. Отбор проб осуществляли параллельно в вегетационный период с апреля по октябрь. Отбор проб фитоперифитона осуществляли на участке рипали с выраженным водообменом с поверхности макрофитов. При отборе проб макрозообентоса предусматривали наиболее полный охват всех типов местообитаний. Определение проб осуществляли в соответствии с ТКП 17.13-17-2014 (02120) «Порядок отбора проб и определения гидробиологических показателей. Макрозообентос» и ТКП 17.13-18-2014 (02120) «Порядок отбора проб и определения гидробиологических показателей. Фитоперифитон» с использованием определителей беспозвоночных и водорослей. Гидробиологический статус присваивали по модифицированному биотическому индексу проб макрозообентоса (далее – МБИ) и индексу сапробности проб фитоперифитона в соответствии



с ТКП 17.13-24-2021 (33140) «Порядок проведения работ по отнесению поверхностных водных объектов (их частей) к классам экологического состояния (статуса)».

Результаты и их обсуждение. За период наблюдений с 2012 по 2022 г. на створах бассейна реки Березина хороший и отличный гидробиологический статус был присвоен на 50–78% створов (рис. 1 а). Однако совпадение статусов по фитоперифитону и макрозообентосу отмечено только в 2013 г., (72% створов). Различие в статусах по фитоперифитону и макрозообентосу варьировало от 5% (2012 – статус выше по фитоперифитону, 2018 – выше по бентосу) до 39% (2022 – выше по фитоперифитону).



а) б)  
Рисунок 1 – Гидробиологический статус створов бассейна реки Березина: изменение доли створов, которым присвоен «хороший» и «отличный» экологический статус по фитоперифитону и макрозообентосу (а); по макрозообентосу на створах реки Березина (n = 7) и притоках (n = 11) (б)

При рассмотрении статуса по макрозообентосу непосредственно на створах Березины (n = 7) и ее притоках (n = 11) видно, что состояние Березины за наблюдаемый период стабильно, в то время как состояние притоков сильно варьирует. Такие изменения значений МБИ связаны с экологическими условиями биотопов и потенциальной возможностью их заселения, на что существенно влияет гидрологический режим реки, гидрохимический состав воды, климатические параметры, сезонность. К тому же, за исключением рек Свислочь (длина 285 км) и Бобр (124 км), оцениваемые притоки относятся к малым рекам, которые обладают большей уязвимостью в связи с большими значениями вариации стока, меньшим отношением длины береговой линии к площади поверхности воды, повышенным уровням антропогенной нагрузки [2]. На качество вод реки Свислочь существенное влияние оказывает г. Минск.

Сообщества фитоперифитона. За период с 2012 по 2022 г. проанализировано по 7 проб фитоперифитона, отобранных на 7 створах реки Березина и 11 створах притоков Березины: Свислочь – 5 пунктов наблюдения, Плисса – 2 пункта наблюдения, Цна Северная, Гайна, Бобр, Сушанка – по одному пункту наблюдения. Процентный состав встречаемости представителей альгофлоры в Березине и в притоках представлены на рис. 2.

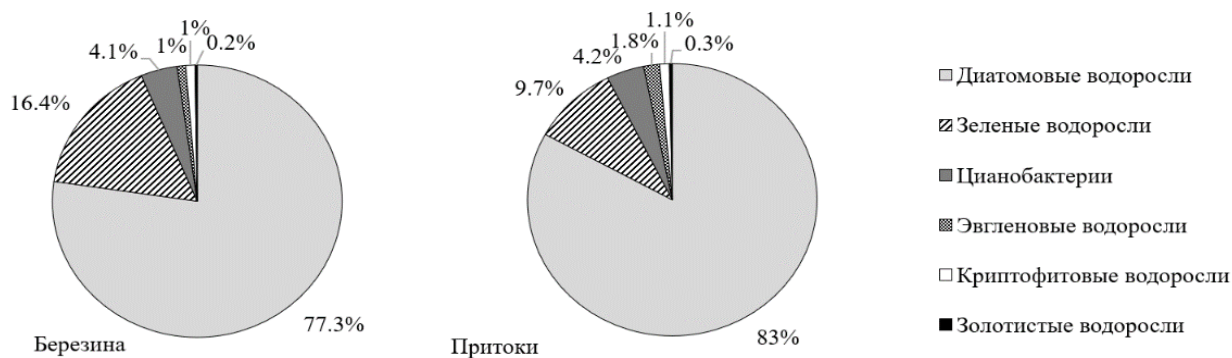


Рисунок 2 – Встречаемость представителей различных таксонов микроводорослей на створах реки Березина (n = 7) и ее притоках (n = 11) в 2012–2022 гг.

Разнообразие сообществ перифитона в реке Березина было представлено в среднем  $26 \pm 9$  представителями альгофлоры в пробе, с минимумом 12 видов на створах Борисов выше (2013) и Бобруйск выше (2016). Наибольшее разнообразие, 53 вида, было отмечено ниже г. Светлогорск (2016). Для притоков среднее количество представителей альгофлоры составило  $28 \pm 10$ , с минимумом 8 видов на створе р. Цна Северная (н.п. Липки) в 2012 г. и максимумом 57 в р. Свислочь (н.п. Свислочь) в 2013. Небольшие различия в процентном составе представителей альгофлоры отмечены для класса Диатомовые водоросли, доля которых на 6% выше в притоках Березины, и отдела Зеленые водоросли, доля которых, напротив, выше в Березине на 7%. Существенных различий в пределах бассейна не обнаружено.

Сообщества макрозообентоса. За период с 2012 по 2022 г. проанализировано по 7 проб макрозообентоса, отобранных на 7 створах реки Березина и 11 створах притоков Березины. Разнообразие сообществ макрозообентоса в реке Березина было представлено в среднем  $27 \pm 10$  представителями донных беспозвоночных в пробе, с минимумом 8 представителей на створах Светлогорск выше (2020) и максимумом 50 в Березине выше г. Борисов (2012). Для притоков среднее количество представителей донных беспозвоночных составило  $25 \pm 12$ , с минимумом 2 таксона (класс Олигохеты и класс Ракообразные) на створе р. Свислочь (н.п. Королищевичи) в 2014 г. и максимумом 51 в р. Свислочь (н.п. Хмелевка) в 2012. Для створа возле н.п. Королищевичи в целом характерно низкое видовое разнообразие в связи с экстремально высокой антропогенной нагрузкой.

Организмы определяли по возможности до вида. Всего за период 2012–2022 гг. в створах на реке Березина ( $n = 7$ ) было отобрано и идентифицировано 225 экземпляров донных беспозвоночных, относящихся к 140 видам. Эти виды относятся к 4 типам\*, 7 классам, 27 отрядам, 73 семействам и 130 родам (рис. 3). Однако определение систематической принадлежности некоторых групп ограничивалось более крупными таксонами.

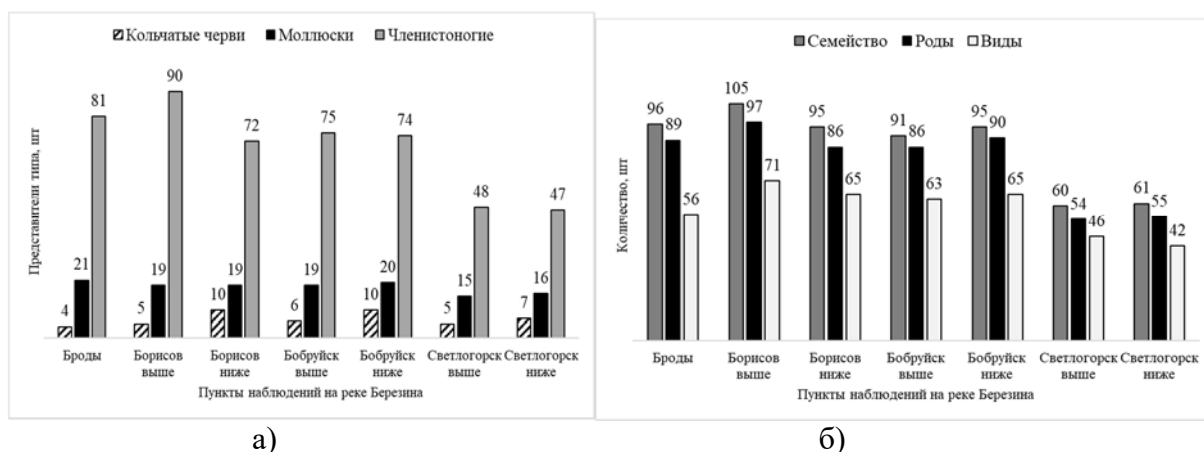


Рисунок 3 – Количество представителей различных типов\* (а), семейств, родов и видов (б) донных беспозвоночных на створах реки Березина ( $n = 7$ ) в 2012–2022 гг.

\*Представители типа Плоские черви (*Planaria torva*) за описанный период были выявлены в 2012 г. (Бобруйск выше) и в 2022 г. (Борисов ниже) и не отмечены на гистограмме.

Тип Членистоногие среди донной фауны на створах реки Березина наиболее многочислен – 176 представителей, доля которых колебалась от 67% (Светлогорск ниже) до 79% (Борисов выше). Доминировали личиночные и имагинальные стадии представителей отряда Насекомые – 73% (рис. 4), со снижением доли в структуре биоценоза вниз по течению с 74% возле н.п. Броды до 61% в районе г. Светлогорск.

Тип Моллюски на створах реки Березина представлен 14 семействами. В общей структуре доля малакофауны была достаточно стабильна и составляла около 20%. Представители класса Двустворчатые (род *Pisidiidae*) и класса Брюхоногие родов *Viviparus*, *Lithoglyphus*, *Lymnaea* встречались на всех створах ежегодно. Инвазивный чужеродный вид *Dreissena polymorpha* выявлялся последний раз в 2013 г. в районе г. Бобруйск.

Тип Кольчатые черви представлен пиявками и малощетинковыми червями. В общей структуре сообществ донных беспозвоночных тип составлял до 10%, что связано с допускаемым определением олигохет до класса.

Таким образом, в оценённой структуре популяции донных беспозвоночных значения доли представителей каждого типа могут отличаться от представленных значений, что связано с более детальной характеристикой отрядов класса Насекомые типа Членистоногие и менее детальной характеристики представителей типа Кольчатые черви.

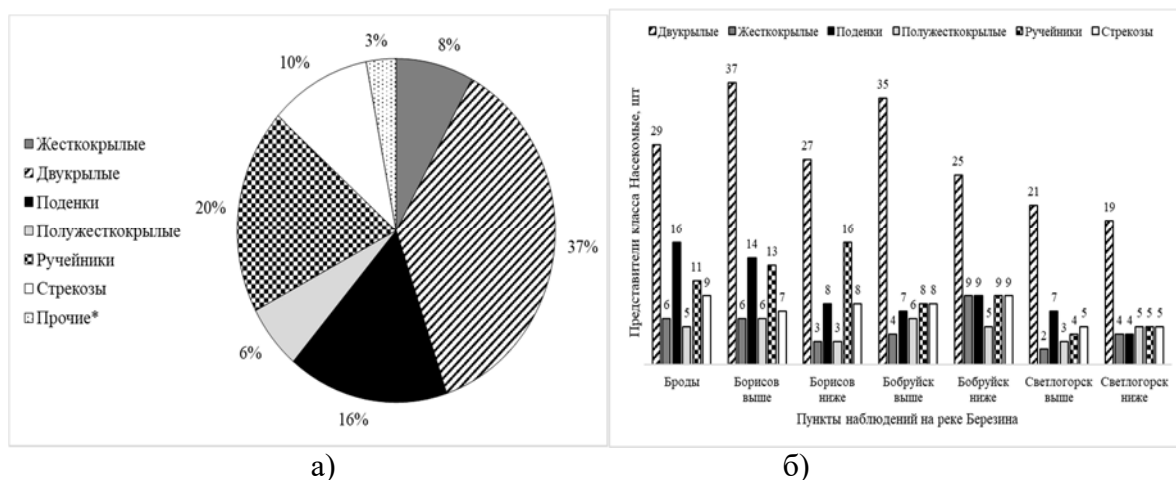


Рисунок 4 – Встречаемость в реке Березина представителей класса Насекомые (% , а), с разделением по створам (шт, б) в 2012–2022 гг.

\*Включает отряд Большекрылые (*Sialis sp.*, Борисов ниже и Бобруйск ниже), отряд Веснянки (Броды), отряд Чешуекрылые (единичные случаи на всех створах, кроме Бобруйск выше и Светлогорск выше).

Доминирующими отрядами класса Насекомые явились двукрылые (Diptera) – 61; ручейники (Trichoptera) – 32; поденки (Ephemeroptera) – 27. В целом на долю ручейников, поденок и веснянок (Plecoptera), численность которых используется для расчетов экологических индексов, приходится 27%, что свидетельствует в целом об очень чистых водах в соответствии с индексом ЕРТ [3]. При расчетах МБИ, который используется в НСМОС для оценки экологического состояния водотоков по гидробиологическим показателям, оценивают поэтапно наличие индикаторных таксонов. Так, на 5 из 7 этапов оценивают наличие представителей различных отрядов класса Насекомые в следующем порядке от индикаторов чистых вод к полисапробным видам: Веснянки → Поденки → Ручейники → Стрекозы → Двукрылые (семейство Хирономиды). В нашем исследовании отряд Двукрылые на 82% состоял из представителей семейства Хирономиды, 12% из которых относились к оксифильным представителям подсемейства Orthocladiinae.

Структура сообществ донных беспозвоночных менялась. Так, доля высокочувствительных к различного рода загрязнителям ручейников, поденок и веснянок (ЕРТ) снижалась с 26% возле н.п. Броды до 13% ниже г. Светлогорск. Доля Хирономид на створах колебалась в пределах 20–30%, закономерной динамики не выявлено. Однако, на створе реки Березина до входа в г. Бобруйск отмечено падение видового разнообразия индикаторов чистых вод (15%) с максимальной на исследованном участке реки долей представителей Хирономид (31%), что может быть связано с близким от точки мониторинга впадением крупных притоков (р. Свислочь, р. Ольса и др.).

Закключение. Несмотря на то, что изменения в таксономической структуре сообществ донных беспозвоночных существенно связаны с особенностями гидрологического режима, гидрохимического состава воды, морфологией рельефа, отмечено снижение видов-индикаторов чистых вод по течению реки Березина, что связано с накоплением антропогенной нагрузки на реку городов Бобруйск и Светлогорск, а также на крупные притоки бассейна.

1. Блакітны скарб Беларусі: рэкі, азёры, вадасховішчы, турысцкі патэнцыял водных аб'ектаў / маст.: Ю. А. Тарэў, У. І. Цярэнцьеў. – Мінск : БелЭн, 2007. – 480 с.
2. Веницианов, Е. В. Загрязнение и самоочищение малых рек: процессы, мониторинг, охрана / Е. В. Веницианов, Г. В. Аджиенко, Н. М. Щеголькова // Материалы лекций II Всероссийской школы-конференции «Экосистемы малых рек». – 2014. – Т. 1. – С. 23–41.
3. Гигиняк, И. Ю. Применение ЕРТ индекса для оценки экологического состояния водных объектов / И. Ю. Гигиняк // Материалы II Международной научно-практической конференции / редколлегия: А. М. Дорофеев (гл. ред.) [и др.]. – 2008. – С. 63–64.

### **Закономерности формирования минимального стока реки Западная Двина в условиях изменяющегося климата**

Быстрицкая В.С., Новик А.А.

*Белорусский государственный университет, г. Минск, Республика Беларусь,  
novka@bsu.by*

**Резюме.** Анализ данных за 1989–2020 гг. показал, что наибольшие минимальные расходы реки Западная Двина в г. Витебске приходятся на 1989 и 2017 гг., г. Полоцке – 1998 г. Наименьшие значения наблюдались в 2002, 2014, 2015 гг. в г. Витебске и г. Полоцке. Доля объема меженного стока в летне-осенний период колеблется от 7 до 28 %. Данное отклонение связано с климатическими условиями и антропогенной деятельностью.

### **Patterns of formation of minimum flow on the rivers of Belarus (on the example of the Western Dvina basin)**

Bystritskaya V., Novik A.

**Summary.** Analysis of data for 1989–2020 showed that the largest minimum expenditures of the Western Dvina River in Vitebsk fall on 1989 and 2017, Polotsk – 1998. The lowest values were observed in 2002, 2014, 2015 in Vitebsk and Polotsk. The share of the volume of inter-soil runoff in the summer-autumn period ranges from 7 to 28 %. This deviation is due to climatic conditions and anthropogenic activity.

Минимальные расходы воды, определяющие собой водные ресурсы рек в самое маловодное время года, представляют большой практический интерес. Они учитываются при решении самых разнообразных водохозяйственных задач: проектирование гидростанций для выработки энергии, водоснабжение городов, сельских населенных пунктов, водного транспорта [1].

Особенностью режима реки Западная Двина является высокое весеннее половодье, низкая летняя межень с частыми дождевыми паводками и устойчивая зимняя межень. На долю весеннего половодья приходится 56 % годового стока, на летне-осеннюю и зимнюю межень – 33 и 11 % соответственно [2]. В последние десятилетия, в водном режиме реки отмечается тенденция изменения в перераспределении объема годового стока связанное с глобальными климатическими изменениями и зарегулированностью стока в связи со строительством на реке Витебской и Полоцкой ГЭС.

В основе исследования лежат обработанные многолетние данные 2 гидрологических постов р. Западная Двина за период наблюдений 1989–2020 гг. с использованием фондовых материалов РУП «ЦНИИКИВР» и ГУ «Республиканского центра по гидрометеорологии, контролю радиоактивного загрязнения и мониторингу окружающей среды». Исходными данными для расчетов значений минимального стока реки Западная Двина заданной обеспеченности послужили ежегодные данные о суточном летне-осеннем стоке рек [3].

При сборе данных для получения наиболее достоверных результатов, был выбран период с 1989 г. по настоящее время. Это обусловлено мировым трендом к изменению климата к общей тенденции к потеплению начавшийся в этот период.

Анализ изменения минимального меженного стока Западной Двины в г. Витебск выявил наибольшие минимальные расходы приходятся на 1989 и 2017 гг. Наименьшие значения наблюдались в 2002, 2014 и 2015 гг. В г. Полоцк отмечается схожая ситуация, однако год с наивысшим значением минимального стока приходится на 1998 г.

Такие изменения связаны с несколькими факторами наиболее значимыми из которых являлись: показатели испаряемости в летне-осенний период. В те годы, когда среднесуточные значения температуры воздуха превышали +30°C, значительно увеличивало объемы испаряемой влаги и как следствие, вело к увеличению коэффициента испаряемости; небольшое количество осадков в зимний период, что отразилось в уменьшении доли атмосферного питания реки.

Оба эти фактора связаны с глобальным изменением климата на планете начавшееся в 1989 году, когда начали отмечаться резкие изменения и перераспределения в значениях среднегодовых температур воздуха и количества выпавших осадков [4].

Для более детального анализа изменения минимального стока был проведен расчет стандартного отклонения фактических значений минимального меженного стока от среднемноголетнего за период наблюдений (рис. 1, 2). Полученные данные, отражают наибольшие отклонения значений среднесуточного стока от среднемноголетнего приходящийся на 2002, 2014, 2015 гг. Поскольку сток водотоков в межень зависит в большей степени от грунтового питания, а оно практически не меняется со временем, то на такие изменения оказали влияние атмосферные осадки, которые достигали своих минимальных значений в эти годы.

Минимумы 2014 и 2015 гг. во многом обусловлены строительством и последующим вводом в эксплуатацию плотины Витебской ГЭС, расположенной выше участков постов наблюдения. В этот период возводился обводной канал, на который был переключён сток реки после её перекрытия.

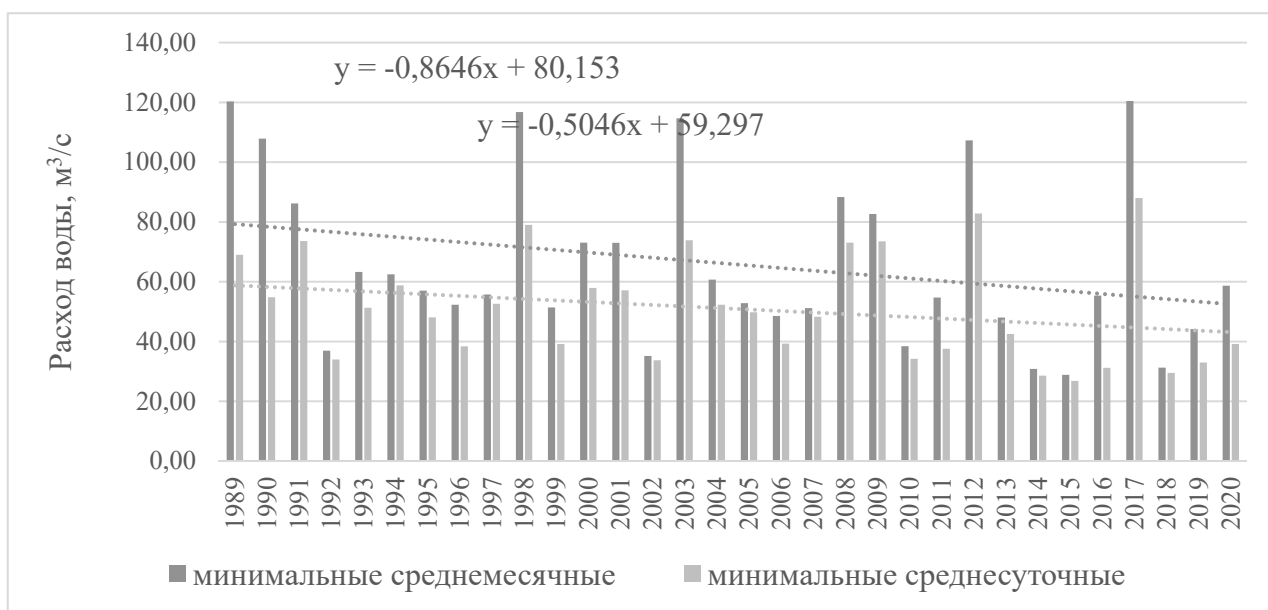


Рисунок 1 – Среднемесячные и среднесуточные минимальные расходы воды за период 1989–2020 гг. в г. Витебске

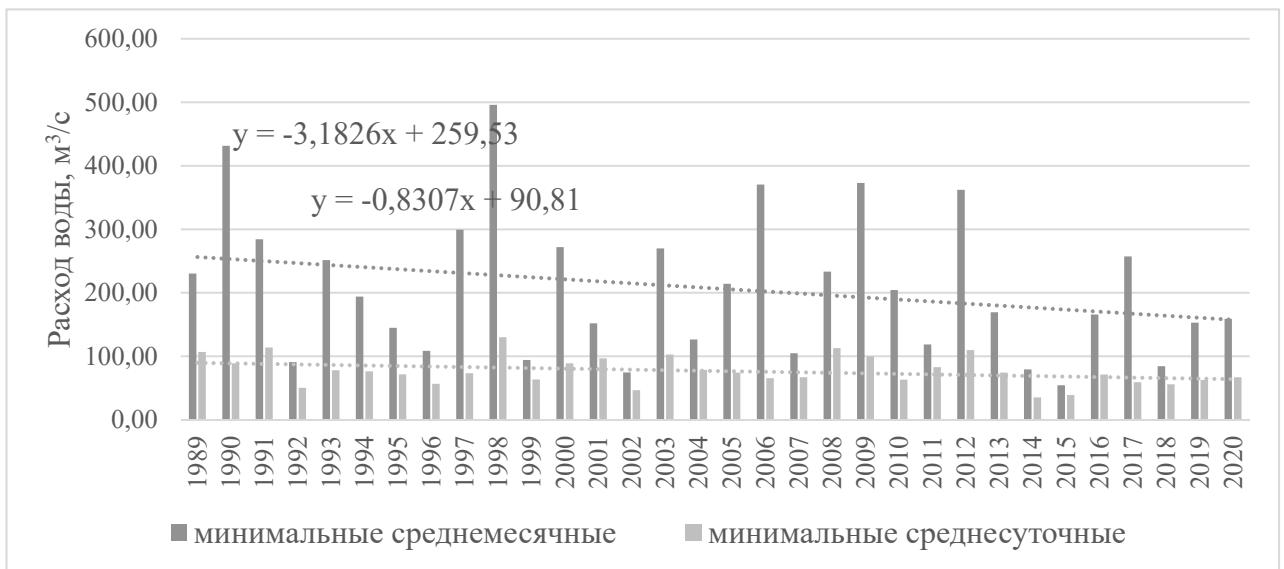


Рисунок 2 – Среднемесячные и среднесуточные минимальные расходы воды за период 1989–2020 гг. в г. Полоцке

Для определения качественной и количественной характеристики меженного стока по отношению к годовому были составлены диаграммы отношений, на которых отражено процентное отношение меженного стока к годовому (рис. 3–6).

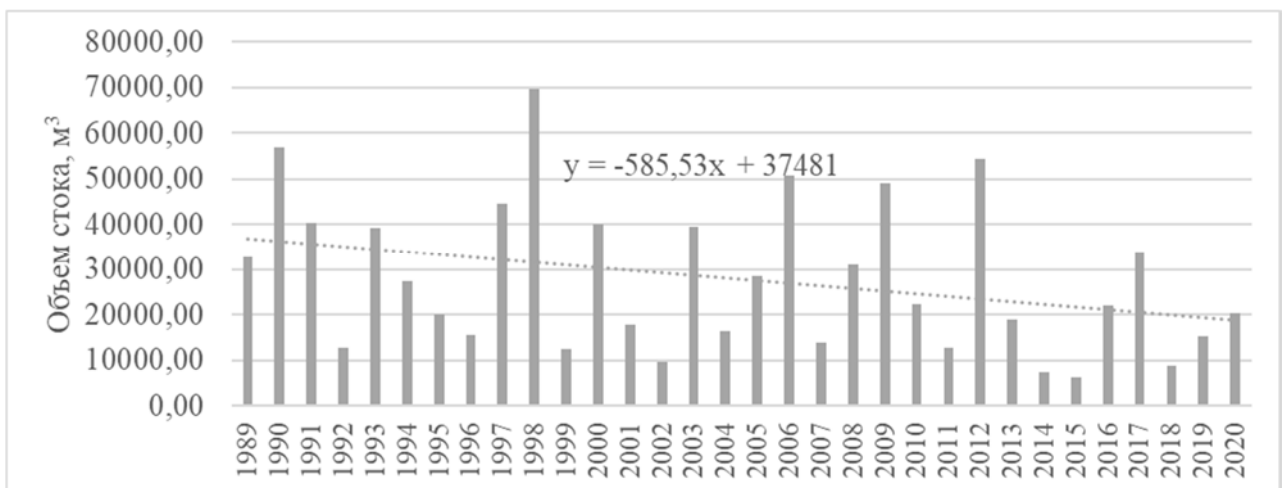


Рисунок 3 – Изменение объемов меженного стока за многолетний период в г. Витебске

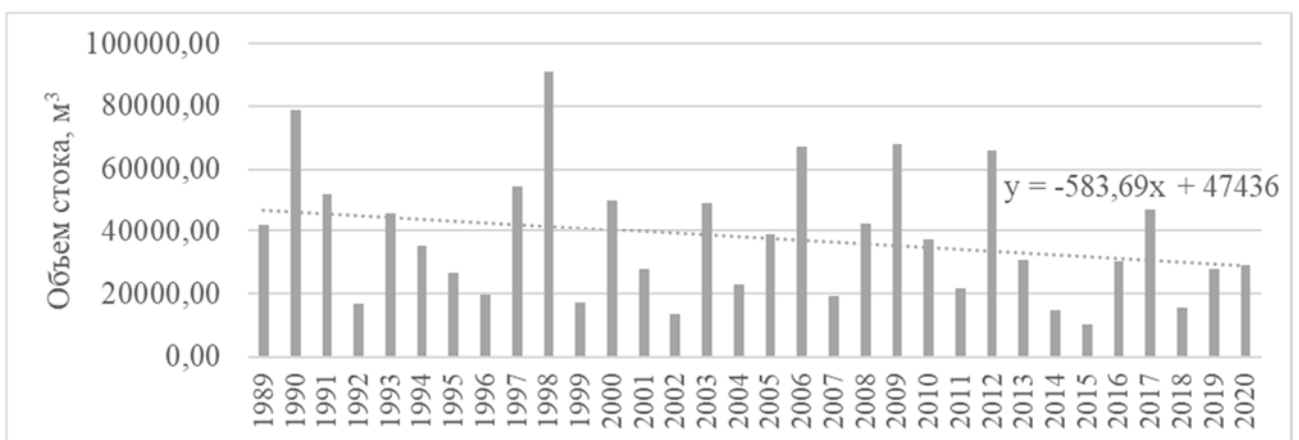


Рисунок 4 – Изменение объемов меженного стока за многолетний период в г. Полоцке

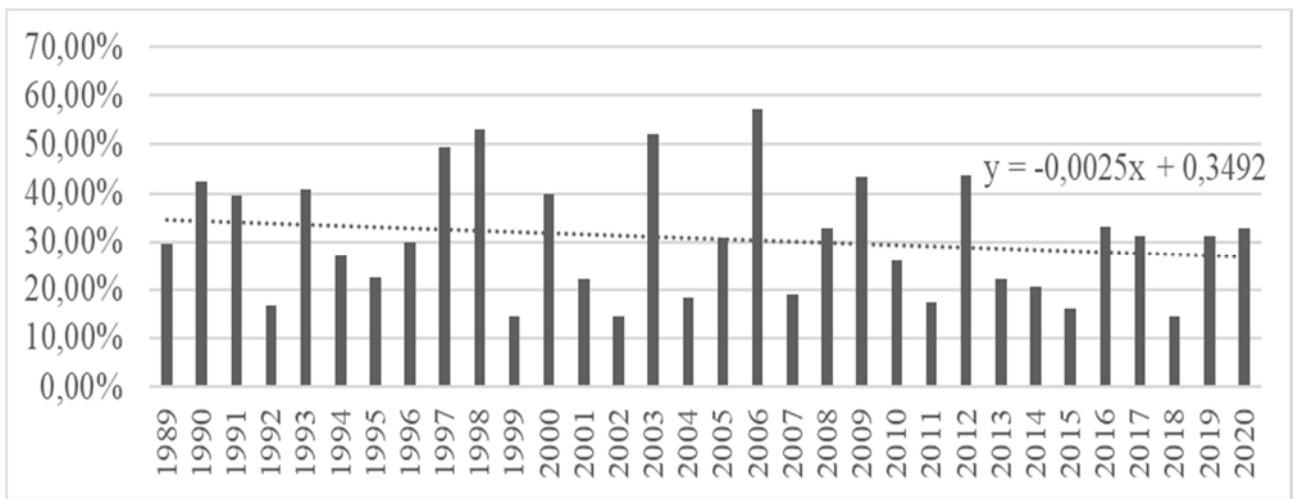


Рисунок 5 – Доля объема меженного стока к общегодовому в г. Витебске за период 1989–2020 гг.

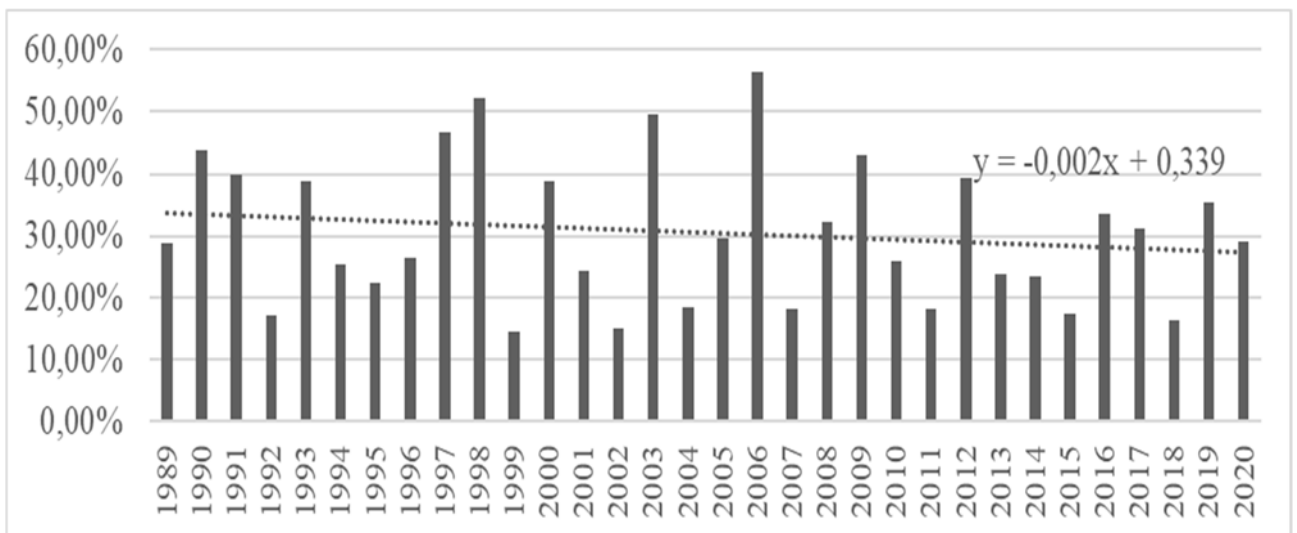


Рисунок 6 – Доля объема меженного стока к общегодовому в г. Полоцке за период 1989–2020 гг.

Выполненный анализ показывает, что доля объема меженного стока в летне-осенний период колеблется от 7 до 28%, по отношению к годовому. Минимальное значение объемов меженного стока приходилось на 1999 г., максимальное – на 2006 г. Данное отклонение может быть связано, как с климатическими условиями в отдельные года, так и с антропогенной деятельностью. Такое соотношение верно, как для створа в г. Витебске, так и для створа в г. Полоцке.

Таким образом характер минимального стока реки Западная Двина в створах г. Витебска, и г. Полоцка имеет схожую, однородную динамику, отражающую глобальные климатическими тенденции, при незначительных локальных факторах, влияющих на сток.

#### Список литературных источников

1. Грядунова, О. И. Районирование территории Беларуси по синхронности колебаний летне-осеннего минимального стока / О. И. Грядунова // Известия НАН Беларуси. Сер. Биологических наук. – 2005. – № 5/1. – С. 73–75.
2. Западная Двина – Даугава: река и время / В. Ф. Логинов [и др.]. – Минск : Беларуская навука, 2006. – 270 с.
3. Государственные водный кадастр. Ежегодные данные о режиме и ресурсах поверхностных вод суши за 1989–2020 гг.
4. Лопух, П. С. Влияние атмосферной циркуляции на формирование гидрологического режима рек Беларуси / Лопух П. С., Партасенок (Данилович) И. С. – Минск : БГУ, 2013. – 224 с.

## **Особенности учета численности зоопланктона в стратифицированных озерах**

Вежновец В.В., Журавлев М.Д.

*Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по биоресурсам,  
г. Минск, Республика Беларусь, vezhn47@mail.ru*

**Резюме.** Рассмотрены особенности вертикального распределения зоопланктона в стратифицированных водоемах разной трофности. Показана неоднородность планктона, степень онцентрации в разных слоях воды при разном сочетании прозрачности, температуры и содержания кислорода. Пространственную структуру рекомендовано использовать при оценке биоразнообразия, численности, продуктивности и мониторинговых исследованиях.

### **Features of accounting for zooplankton density in stratified lakes**

Vezhnovets V., Zhuravlev M.

**Summary.** The features of the vertical distribution of zooplankton in stratified lakes of different trophic types are considered. The heterogeneity of plankton, the degree of concentration in different layers of water with a different combination of transparency, temperature and oxygen content is shown. The spatial structure is recommended to be used in the assessment of biodiversity, abundance, productivity and monitoring studies.

Для сообщества зоопланктона характерна мобильность в пространстве и времени. Относительно стабильна структура пелагического планктона. Вертикальная структура водных организмов планктона больше изучена в морских экосистемах в связи с определением кормовой базы пелагических промысловых видов рыб. Считается, что организмы в пресноводных водоемах при относительно малых глубинах в сравнении с глубоководными участками морей и океанов, мало подвержены разделению в пространстве [1]. Однако исследования на глубоких озерах мира [2] и собственные данные по зоопланктону средне глубоких димиктических озер Беларуси показали неоднородность в распределении и приуроченность многих организмов планктона к определенным глубинам [3].

Пространственная структура видовых популяций является одной из характеристик их экологической ниши. Известно, что в каждом конкретном водоеме и даже местообитании создается ряд абиотических и биотических условий, способных влиять на размещение животных. Особенности некоторых видов является оседлость, а других активное перемещение в водоеме между различными биотопами в поисках пищи или оптимальных абиотических условий. Кроме того, разные возрастные группы также могут иметь разную пространственную структуру в водоеме, то есть менять свою биотопическую приуроченность в процессе роста и развития .

Актуальность исследований по пространственной структуре обусловлена тем, что, в большинстве своем, продукционные и энергетические расчеты проводятся без учета взаимного распределения в пространстве всех составляющих, входящих в сообщество планктона. На основании этих расчетов строятся не только трофическая структура (пищевые цепи и сети), но и вероятностные модели трофических взаимодействий, где предполагается равномерное или вероятностное распределение особей в пространстве. В мониторинговых исследованиях системы гидрометслужбы для оценки экологического состояния в таких озерах рекомендуется сбор зоопланктона у поверхности и дна, что приводит к недоучету видового богатства, неадекватной оценке численности и, в конечном итоге, неправильной общей оценке состояния водоема. Игнорируется вертикальная структура и при рыбохозяйственных мероприятиях.

Для вертикальной пространственной структуры нами рассматривается зоопланктон только пелагиали стратифицированных озер. Исследования проведены на 14 озерах Беларуси разной трофности, летом, при термическом расслоение водной толщи, на станциях с максимальной глубиной. Чтобы, по возможности, исключить влияние сезонных и суточных перемещений [3] исследования проводили в летнюю межень: последней декаде июля или начале августа, в полуденное время. При послойных (через 5 метров) ловах зоопланктона от



поверхности до дна применяли замыкающуюся планктонную сеть с входным отверстием 25 см и диаметром ячеей фильтрующего конуса 100 мкм.

Одновременно со сбором проб измеряли прозрачность по белому диску Секки, температуру воды и содержание кислорода термооксиметром Hanna HI 9143.

Исследованные озера были объединены в три группы, отличающихся по уровню трофии, основным показателем которого была прозрачность. Дополнительным при разделении было и содержание кислорода в гипolimнионе. Как показатель трофии, учитывалось также обитание в некоторых озерах реликтовых планктонных видов, поэтому значения прозрачности частично перекрывались в озерах из разных групп (табл.).

В первую группу были включены самые глубокие мезотрофные озера с чертами олиготрофии, отличающиеся высокой прозрачностью воды (4–8 метров) (Долгое, Ричи, Гиньково, Болдук и Юж. Волос,) и не имеющие дефицита кислорода в гипolimнионе.

Ко второй группе отнесены типичные мезотрофные озера, имеющие прозрачность от 3 до 5,5 метров и некоторый дефицит кислорода в гипolimнионе, затрагивающий чаще придонные слои воды и выраженный не каждый год. В таблице мы приводим данные по озерам Вечелье, Волчин, Сев. Волос, Дрисвяты, а оз. Вечелье.

Третья группа средне глубоких озер уже потеряла черты мезотрофии и по прозрачности (менее 3 метров) относится к эвтрофным водоемам. В эту группу нами помещены озера Долгое (Бр), Бобыно, Барковщина и Круглик.

Таблица – Краткая характеристика исследованных озер

№	Название	Район	Область	Макс. глубина, м	Прозрачность
Мезотрофные с чертами олиготрофии					
1	Южный Волос	Браславский	Витебская	40,4	7,0
2	Долгое (Гл)	Глубокский	Витебская	53,6	4,5
3	Ричи	Браславский	Витебская	51,9	6,0
4	Гиньково	Глубокский	Витебская	43,3	4,5
5	Болдук	Мядельский	Минская	39,7	4,0
Мезотрофные					
6	Северный Волос	Браславский	Витебская	29,2	5,0
7	Волчин	Мядельский	Минская	32,9	4,5
8	Вечелье	Ушачский	Витебская	35,9	2,0
9	Дрисвяты	Браславский	Витебская	33,3	3,6
10	Сита	Браславский	Витебская	28,5	4,5
Эвтрофные					
11	Барковщина	Ушачский	Витебская	21,8	3,5
12	Бобыно	Полоцкий	Витебская	32,3	2,7
13	Долгое (Бр)	Браславский	Витебская	28,4	2,1
14	Круглик	Шумилинский	Витебская	31,5	1,8

Все озера за исключением оз. Барковщина относятся к димиктическим и летом имели температурную стратификацию. Температурные условия летом в этих стратифицированных озерах приблизительно одинаковы и имеют схожие вертикальные профили. Во всех озерах четко выделяется эпилимнион с температурой выше 20°C, переходная зона – металимнион и гипolimнион с низкими значениями температуры в пределах 5–6°C (рис. 1).

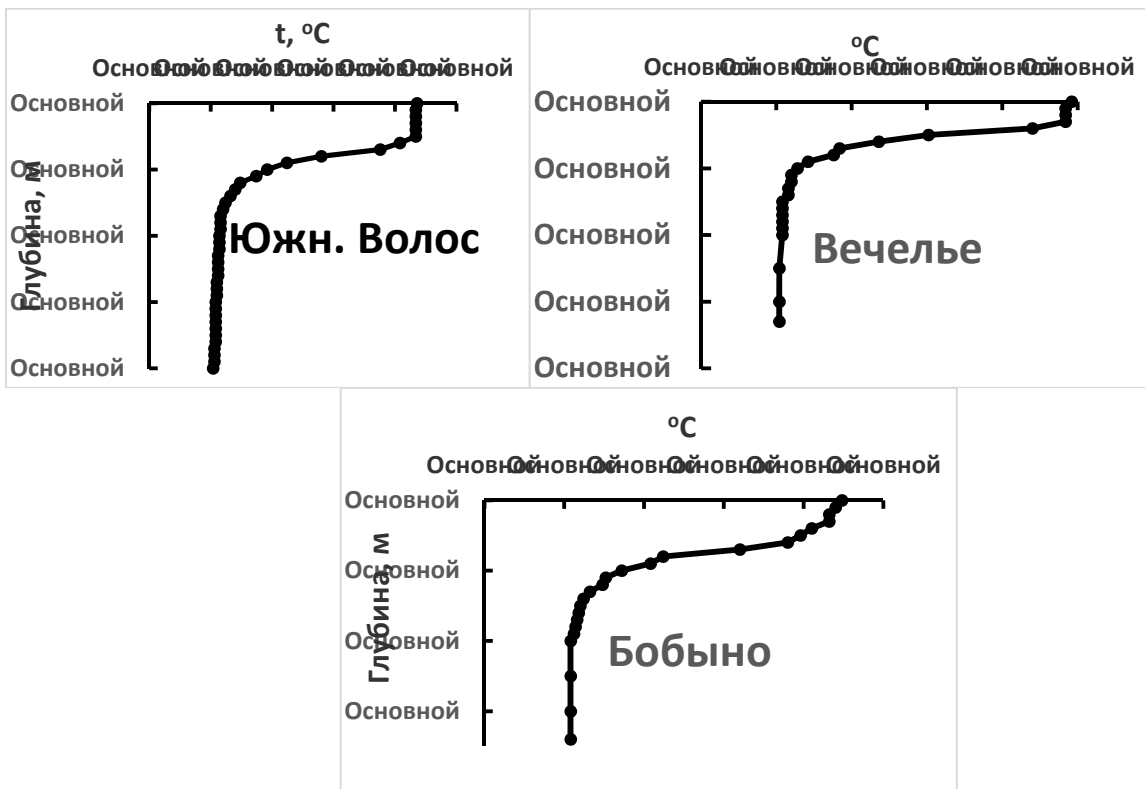


Рисунок 1 – Температура в разных по трофности озерах

Ход концентрации кислорода значительно различается между разными группами озер (рис. 2). В металимнионе мезотрофных озер наблюдаются как резкое повышение (Ю. Волос), так и снижение (Вечелье) концентрации, в гипolimнионе постепенное снижение ко дну, при дальнейшем повышении трофии в гипolimнионе нет кислорода.

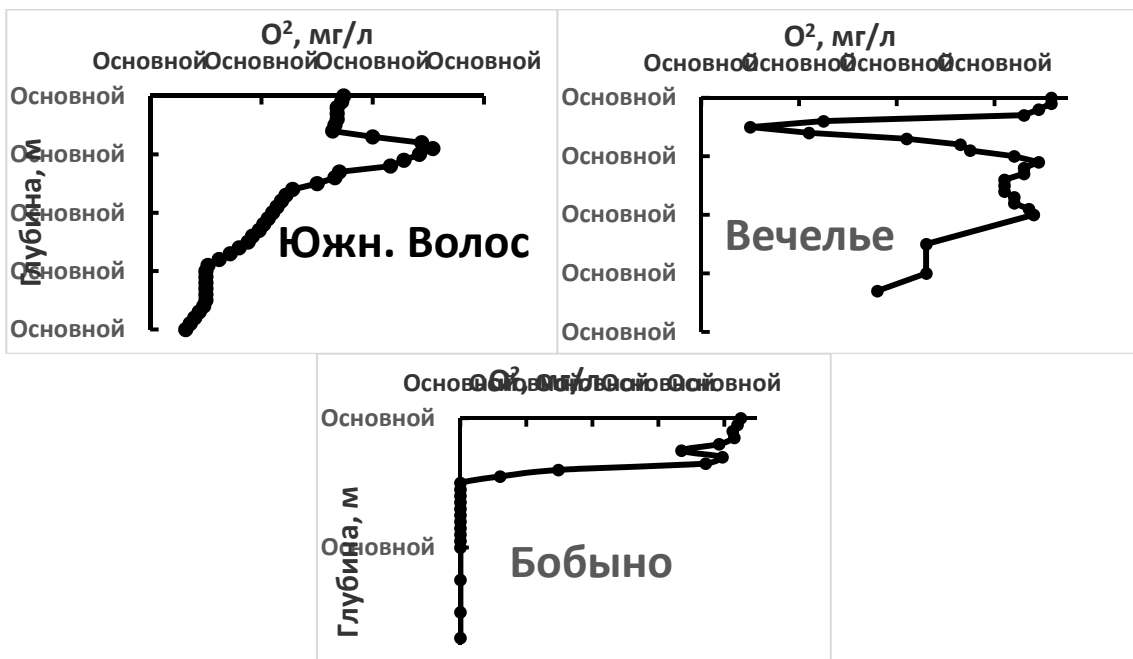


Рисунок 2 – Изменение содержания кислорода в разных по трофности озерах

Сочетание обоих ведущих факторов обуславливает и разное распределение зоопланктона в столбе воды (рис. 3). С ростом трофии идет увеличение концентрации зоопланктона в горизонтах с максимальными его значениями.

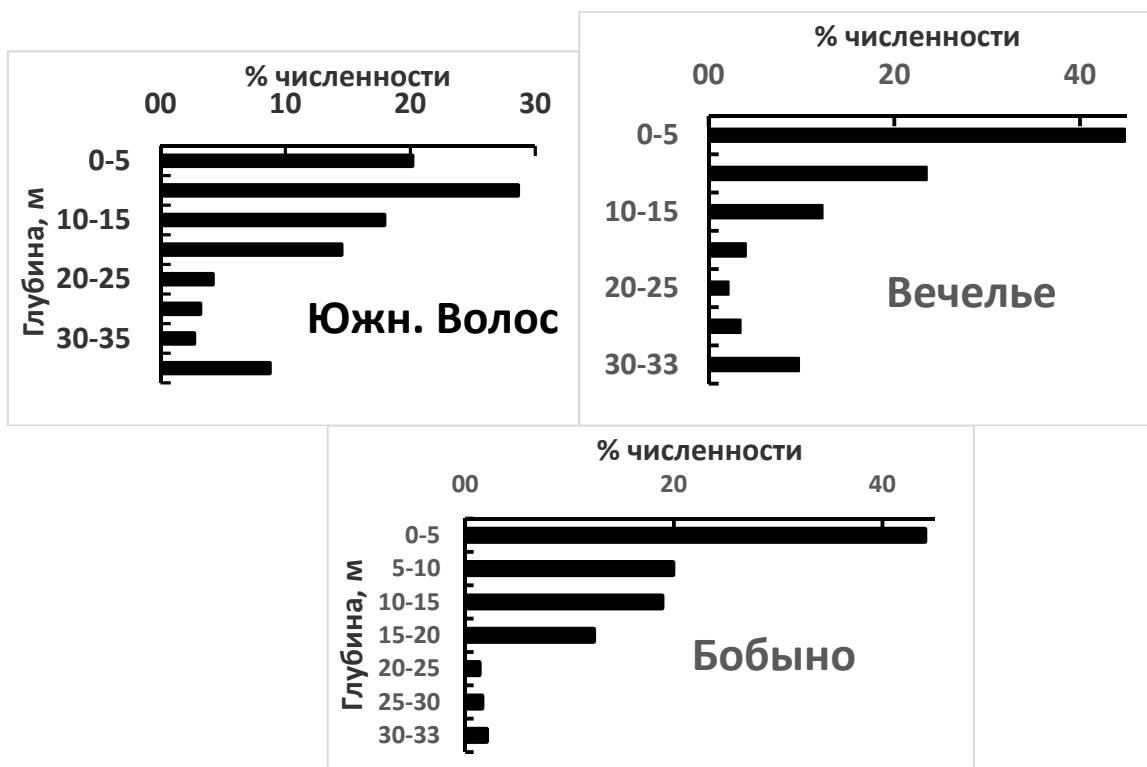


Рисунок 3 – Вертикальное распределение зоопланктона в разных по трофности озерах

В целом, весь планктон в озерах всех трофических групп размещается в столбе воды неравномерно, но с разной степенью концентрации на тех или иных горизонтах, что подтверждается и литературными данными [4]. Максимальные концентрации зоопланктона наблюдались только в верхних слоях воды: в эпилимнионе или металимнионе, где интенсивно идут первичные продукционные процессы. Максимум в металимнионе чаще наблюдается в группе мезотрофных с чертами олиготрофии озерах, здесь же бывает и рост численности в придонных слоях воды за счет холодолюбивой и оксифильной фауны.

Ведущую роль в распределении имеют, складывающиеся в водной толще каждого водоема по-своему, температурные условия и, в большей мере, концентрация растворенного кислорода. Изменение пространственной структуры более четко выражено в эвтрофных озерах, где идет сокращение вертикального жизненного пространства за счет дефицита кислорода в гипolimнионе и придонных слоях воды. Степень агрегации зависит от вертикального хода температуры и содержания кислорода, чем меньше концентрация кислорода в гипolimнионе, тем больше значения численности зоопланктона в зоне эпи- и металимниона, агрегированность возрастает от мезотрофных к эвтрофным водоемам.

Работа выполнена с поддержкой гранта БРФФИ №Б23МС-001.

#### Список литературных источников

1. Рудяков, Ю. А. Динамика вертикального распределения пелагических животных / Ю. А. Рудяков. – М. : Наука, 1986. – 135 с.
2. Сярки, М. Т. Зоопланктон Онежского озера, его центрального плеса и залива Большое Онего в разные по температурному режиму годы / Сярки М. Т., Фомина Ю. Ю. // Труды Карельского научного центра РАН. – 2019. – № 9. – С. 104–115. – DOI:10.17076/lim982.
3. Вежновец, В. В. Особенности вертикального распределения зоопланктона в димиктических озерах / В. В. Вежновец // Актуальные проблемы изучения ракообразных континентальных вод : сборник лекций и докладов Международной школы-конференции ИБВВ РАН, Борок, 5–9 ноября 2012 г. – 2012. – С. 153–155.
4. Речкалов, В. В. Соотношение численности зоопланктонов основных таксономических групп в водной толще термически стратифицированных озер различной трофности / В. В. Речкалов, О. В. Голубок // Вестник Оренбургского государственного университета. – 2013. – № 10 (159). – С. 79–84.

## **Возможности использования многолетних данных по зоопланктону для регистрации влияния изменения климата**

Вежновец В.В.

*Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси  
по биоресурсам, г. Минск, Республика Беларусь, vezhn47@mail.ru*

**Резюме.** Рассмотрены возможности, показаны проблемы и ограничения в использовании данных о сообществе зоопланктона в озерных экосистемах для регистрации изменений под влиянием изменения климата. Установлены основные способы и направления оценки влияния климата – анализ многолетних данных, использование водоемов-охладителей, нарушение фенологических циклов, вертикальной пространственной структуры, соотношения численности теплолюбивых и холодолюбивых видов.

## **Possibilities of using long-term data on zooplankton data to register the impact of climate change**

Vezhnovets V.

**Summary.** The possibilities are considered, problems and limitations in the use of data on the zooplankton community in lake ecosystems for recording changes under the influence of climate change are shown. The main methods and directions of climate impact assessment have been established – the analysis of long-term data, the use of cooling reservoirs, violation of phenological cycles, vertical spatial structure, the ratio of the number of heat-loving and cold-loving species.

В анализе многолетних исследований водных экосистем негативные изменения связываются обычно с антропогенной деятельностью человека. Выделение климатического воздействия как отдельного фактора сосредоточено, в основном, на морях Арктики и Антарктики (Nansen Environmental Center), где особенно ярко регистрируются результаты изменения климата и потепление. В континентальных водоемах особое внимание уделяется большим озерам Европы Ладожскому и Онежскому [1, 2], Азии – Байкалу [3], в Северной Америке Великим американским озерам [4]. Эти водоемы могут сами являться источником стабилизации или влияния на климат.

Оценка влияния потепления на другие более малые континентальные водоемы в настоящее время находится на начальной стадии развития. Внимание к повышению температуры поверхностных вод (тепловому загрязнению) было обращено давно [5] в связи с использованием водных объектов в качестве водоемов-охладителей ТЭЦ и АЭС. После констатации фактов повышения средних значений поверхностной температуры за последние три десятилетия даже в самых глубоких озерах [6], полученные данные для водоемов-охладителей начали экстраполировать на водоемы с естественным температурным режимом [7]. Из немногочисленных источников по влиянию повышения температуры, как последствия воздействия климатического фактора, стали известны значительные перестройки в экосистемах, изменение трансформации вещества и энергии, снижение качества воды и биоразнообразия.

При прямом или опосредованном влиянии потепления должны наблюдаться перестройки таксономической, пространственной и трофической структуры в экосистемах озер, которые проявляются в отдельные, наиболее теплые годы. Особенно актуально это для стратифицированных мезотрофных озер, где значительную долю гидробионтов могут составлять холодноводные, часто реликтовые виды, для которых наблюдаемые изменения могут оказаться критическими для выживания. Если для холодноводной фауны определены хоть какие-нибудь подходы к изучению влияния климата (потепления), то для остальных видов они вообще не разработаны. Кроме того, сложно выделить из других факторов влияния именно климатический, когда экосистема находится под воздействием комплекса из биотических и абиотических, природных и антропогенных.

Наряду с постепенным ростом, температура в отдельные годы в поверхностных слоях воды повышается быстро, и достигает критических величин для животных средней полосы, что наблюдалось в водоемах Европы в 2010 году [8]. Как показано нами ранее, опосредованное

влияние на зоопланктон в димиктических озерах летом может проявляться через активизацию процессов трансформации вещества и энергии в верхних слоях воды, интенсивному потреблению кислорода на окислительные процессы органического вещества в нижележащих горизонтах, что приводит к дефициту кислорода, возникновению бескислородных зон и уменьшению жизненного пространства для глубоководных пелагических видов зоопланктона [8]. При этом, наиболее уязвимыми являются представители холодолюбивого комплекса, которые обитают в гипolimнионе, и некоторые из них относятся к редким реликтовым видам, занесенным в Красные книги.

Таким образом, установление биологических последствий изменения температурного режима водоемов, обусловленные потеплением климата, может осуществляться через анализ многолетних данных о состоянии естественных водоемов. Однако при интерпретации результатов почти всегда возникают трудности с установлением истинной причины наблюдающихся явлений. Сложно выделить как фактор собственно потепление климата из идущих процессов эвтрофирования, сезонных и межгодовых изменений численности. Такой подход, как правило, позволяет лишь фиксировать уже произошедшие изменения, а не прогнозировать их, определяя лишь основные тенденции развития событий [7]. Кроме того, следует заметить, что для интерпретации получаемых данных необходимо иметь достаточно длинный ряд наблюдений, охватывающий не только момент воздействия, но и предыдущий и последующий период. Однако, при аномально высокой поверхностной температуре, как правило, больше 25°C изменения в экосистеме происходят более быстро и выделяются на фоне многолетних наблюдений, что позволяет считать их пригодными для оценки влияния потепления [8].

Из опыта собственных многолетних исследований, можно утверждать, что влияние потепления зачастую нивелируется и адаптивными возможностями водных экосистем. При этом величина этих возможностей может превосходить величину воздействия и тогда эффект влияния не проявляется или остается в пределах межгодовых изменений. В последние годы нами для регистрации влияния потепления применяется вертикальная структура зоопланктона, как мобильного экологического звена водных экосистем или его отдельных видов [9]. Так как нами рассматриваются стратифицированные озера, имеющие температурное расслоение водной толщи в летнее время, то важным аспектом при этом может быть изменение обычной многолетней вертикальной структуры как всего сообщества зоопланктона, так и отдельных его популяций [8]. Вертикальные перемещения при этом могут рассматриваться как адаптивные для ухода из зон с неблагоприятными условиями обитания.

Еще один подход изучения влияния потепления – это анализ изменений в разных частях экосистем водоемов-охладителей ТЭС и АЭС при разной степени воздействия температуры, что дает возможность экстраполировать получаемые результаты на схожие природные водоемы. Из недостатков при использовании этого подхода следует учитывать, что при работе ТЭС и АЭС воздействие на водные экосистемы и, следовательно, на водных животных в большинстве случаев имеет многофакторный характер, а изменение температурного режима только один из них. Известны примеры механического воздействия на биоту при прохождении через рабочие агрегаты, немаловажную роль имеет течение и гидрохимические изменения в местах выпуска подогретых вод. Поэтому применение этого метода и экстраполяция получаемых данных на ненарушенные тепловым загрязнением природные экосистемы должна производиться с большой осторожностью.

Существует мнение, что температура воды в водоемах-охладителях может соответствовать температуре водоемов более южной климатической зоны. Исходя из этого предполагалось, что при длительной эксплуатации таких водоемов в своей биоте они будут иметь черты субтропиков или тропиков. Однако в силу инертности, возможно из-за слабого подогрева или малой акватории подогрева большинство таких водоемов сохраняет характерную для региона фауну. Примеры белорусских водоемов (оз. Лукомльское, Дрисвяты) показывают, что трансформации водной фауны не происходит. Однако чужеродные виды в некоторых из них регистрируются, при этом речь не идет о саморасселении или расширении ареалов, а о случайном или намеренном их занесении человеком. Например, в водоеме-охладителе оз. Лукомльское встречается брюхоногий

моллюск физелла (*Physella integra* Haldeman) и тропическая креветка *Macrobrachium nipponense* De Haan, 1849. Более того, по нашим исследованиям в озере сохранился и реликтовый вид палласеопсис (*Pallaseopsis quadrispinosa* (Sars, 1867), который в других водоёмах страны обитает при низкой температуре воды (Красная книга Республики Беларусь, 2015). Другим примером является оз. Дрисвяты, бывший водоем-охладитель Игналинской АЭС, где для обогащения кормовой базы был вселен понто-каспийский вид мизиды *Paramysis* (*Serrapalpis*) *lacustris* (Czerniavsky, 1882). Таким образом, при искусственном подогреве обнаруживаются элементы привнесенной человеком чужеродной (синантропной) фауны. Но эти животные могут лишь отчасти служить образцом изменений при влиянии повышенной температуры.

В большинстве случаев при тепловом загрязнении на примере водоемов-охладителей таксономический состав остается фактически тем же. Может меняться численность, соотношение видов, степень доминирования и характер их пространственного распределения, т.е. то что мы можем прогнозировать и для естественных, ненарушенных экосистем. Однако эффект влияния у подогреваемых водоемов сохраняется больше, что дает им преимущество при анализе влияния, в то время как в природных это может быть только краткосрочным «ответом» на воздействие.

Надо отметить, что сейчас начинает разрабатываться методология на основе фенологических данных как для сообществ, так и отдельных видов [10]. Сравнение фенологических фаз также требует многолетних данных и еще более детальных сезонных сборов для регистрации изменений. На практике это очень трудозатратно, кроме того, фенологические фазы не совсем четко просматриваются при анализе полевых данных, часто изменчивы в году вне зависимости от высокой температуры.

Холодолюбивые организмы или криофильный (термофобный, холодолюбивый) комплекс является составной частью сообществ замерзающих зимой водоемов средней полосы. Видовое разнообразие и количественное развитие его зависит от типа водоема. В мелководных озерах при полном прогревании водной толщи криофильные организмы развиваются только в холодное время года. В термически стратифицированных водоемах их видовое богатство больше, и они развиваются круглогодично, летом занимая придонные слои воды или гипolimнион. Жизненное пространство в это время года для криофильного комплекса может меняться в зависимости от прогревания водной толщи. Кроме того, угнетение развития в глубоких слоях воды летом может происходить из-за недостатка кислорода. Наблюдаемые изменения климата и повышение температуры воды приводят к ускорению процессов продуцирования органического вещества в верхних слоях воды. Это сопровождается и более интенсивным потреблением кислорода в нижележащих слоях воды металимниона и даже гипolimниона. В результате, в зоне обитания криофильных организмов может возникать дефицит кислорода не только зимой, но и в летнее время. Критические условия для выживания при этом будут складываться в озерах с недостаточной глубиной и малой продолжительностью гипolimниона [8].

Жизнедеятельность этих популяций характеризуется, как правило, не только обитанием при этих температурных условиях, но и размножением, приуроченным к осенне-зимнему периоду времени. Поэтому, в результате изменения климата и наблюдаемого повышения температуры в озерах, эти виды в большей мере должны быть подвержены риску вымирания или отрицательному воздействию повышенной температуры. Предполагаемые изменения в популяциях холодолюбивых видов должны, прежде всего, должны идти за счет изменения (снижения) численности. Для некоторых видов сложившиеся современные условия для жизнедеятельности превосходят их приспособительный потенциал, и они выпадут из фауны водоема. Возможны и нарушения фенологических фаз или жизненных циклов, так как, кроме наблюдаемых предельно высоких температур в летние месяцы, зимой сокращаются сроки ледостава, что также может воздействовать на процессы размножения этих видов. Таким образом, холодолюбивая фауна и ее отдельные виды также могут быть использованы для индикации изменений в водоемах при повышении температуры воды.

Таким образом, в настоящее время существуют несколько способов определения влияния потепления климата: анализ многолетних рядов наблюдений в естественных озерах, сопоставление подогреваемых и не подогреваемых зон водоемов-охладителей, нарушение

фенологических циклов, вертикальной структуры и мониторинг наиболее уязвимой, чувствительной к потеплению холодолюбивой части сообщества зоопланктона.

Работа выполнена при финансовой поддержке БРФФИ, договоры № Б21АРМ-006 и Б23МС-001.

#### Список литературных источников

1. Изменения температуры и осадков в бассейне Ладожского озера по расчетам климатической модели общей циркуляции в XIX–XXI вв. / Голицын Г. С. [и др.] // Изв. РГО. – 2002. – Т. 134, вып. 6. – С. 36–47.
2. Ladoga and Onego – Great European Lakes: Observation and Modeling / Rukhovets L. A., Filatov N. N. (eds.). – Springer-Praxis Publishing, 2009. – 320 p.
3. Кипрушина, К. Н. Многолетняя и сезонная динамика зоопланктона открытой части Южного Байкала / К. Н. Кипрушина, Л. Р. Измestьева // Вест. Томского гос. ун-та. – 2009. – № 328. – С. 191–195.
4. The effects of climatic warming on the properties of boreal lakes and streams at the Experimental Lakes Area, northwestern Ontario / Schindler D. W. [et al.] // Limnol. Oceanogr. – 1996. – Vol. 41, № 5. – P. 1004–1017.
5. Мордухай-Болтовской, Ф. Д. Проблема влияния тепловых и атомных электростанций на гидробиологический режим водоемов / Ф. Д. Мордухай-Болтовской // Труды ИБВВ АН СССР. – 1975. – Вып. 27 (30). – С. 7–69.
6. Логинов, В. Ф. Радиационные факторы и доказательная база изменений климата / В. Ф. Логинов. – Минск : Бел. наука, 2012. – 265 с.
7. Безносков, В. Н. Возможные изменения водной биоты в период глобального потепления климата / В. Н. Безносков, А. Л. Суздалева // Водные ресурсы. – 2004. – Т. 31, № 4. – С. 498–503.
8. Vezhnovets, V. V. Change of *Limnocalanus macrurus* (Copepoda, Calanoida) Population State under High Summer Temperature / V. V. Vezhnovets // Hydrobiological Journal. – 2018. – Vol. 54, № 3. – P. 24–35.
9. Вежновец, В. В. Особенности вертикальной структуры зоопланктона в стратифицированных озерах разной трофности / В. В. Вежновец // Изучение водных и наземных экосистем: история и современность : тез. докл. Междунар. науч. конф., 13–18 сентября 2021 г., Севастополь, РФ. – Севастополь : ФИЦ ИнБЮМ, 2021. – С. 231–233.
10. Сярки, М. Т. Сезонные изменения в зоопланктоне Петрозаводской губы Онежского озера / М. Т. Сярки, Ю. Ю. Фомина // Труды КарНЦ РАН. Сер. Экологические исследования. – 2015. – № 1. – С. 63–68.

### Современные изменения твердого стока наносов на реках Беларуси

Волчек А.А.<sup>1</sup>, Розумец И.Н.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Брестский государственный технический университет, г. Брест, Республика Беларусь, volchak@tut.by

<sup>2</sup>Брестский государственный технический университет, г. Брест, Республика Беларусь

**Резюме.** В современных условиях изучение твердого стока ведется по 11 постам на 8 реках по всей территории Беларуси. Главной задачей работы является показать закономерности современных изменений твердого стока, построить временные ряды, графики зависимостей и рассчитать основные статистические характеристики.

### Modern changes in solid sediment runoff on the rivers of Belarus

Volchek A., Rozumets I.

**Summary.** In modern conditions, the study of solid runoff is carried out only at 11 posts on 8 rivers throughout Belarus. The main task of the work is to show the patterns of modern changes in solid runoff, build time series, dependency graphs and calculate the main statistical characteristics.

**Введение.** Твердый сток является неотъемлемой составляющей водного потока. Закономерности формирования твердого стока необходимы во многих сферах деятельности,

такие как судоходство, сельскохозяйственные нужды, строительство гидротехнических сооружений, добыча нерудных строительных материалов. Твердый сток – масса взвешенных тонко и мелкозернистых влекомых (перекатываемых) по дну и растворенных химических и биогенных веществ, которые сносятся поверхностным стоком в реки, а также породы, отторгнутые водой от русла и берегов. Выделяют внешние и внутренние факторы поступления твердого вещества в реки. К внешним относят почвенную эрозию, климатические условия, выветривание и денудация, а к внутренним русловой и пойменный аллювий [1]. Мутность воды представляет собой наличие в воде взвешенных механических частиц, т.е. мутность – это показатель, характеризующий уменьшение прозрачности воды в связи с наличием неорганических и органических тонкодисперсных взвесей, а также развитием планктонных организмов [2].

Цель работы. Оценить пространственно-временные колебания твердого стока рек Беларуси в современных условиях.

Методы исследования и исходные данные. Исходными данными работы послужили ежегодники государственного водного кадастра «Том III. Ежегодные данные о режиме и ресурсах поверхностных вод».

При определении гидрологических характеристик использовали методы статистического анализа [3].

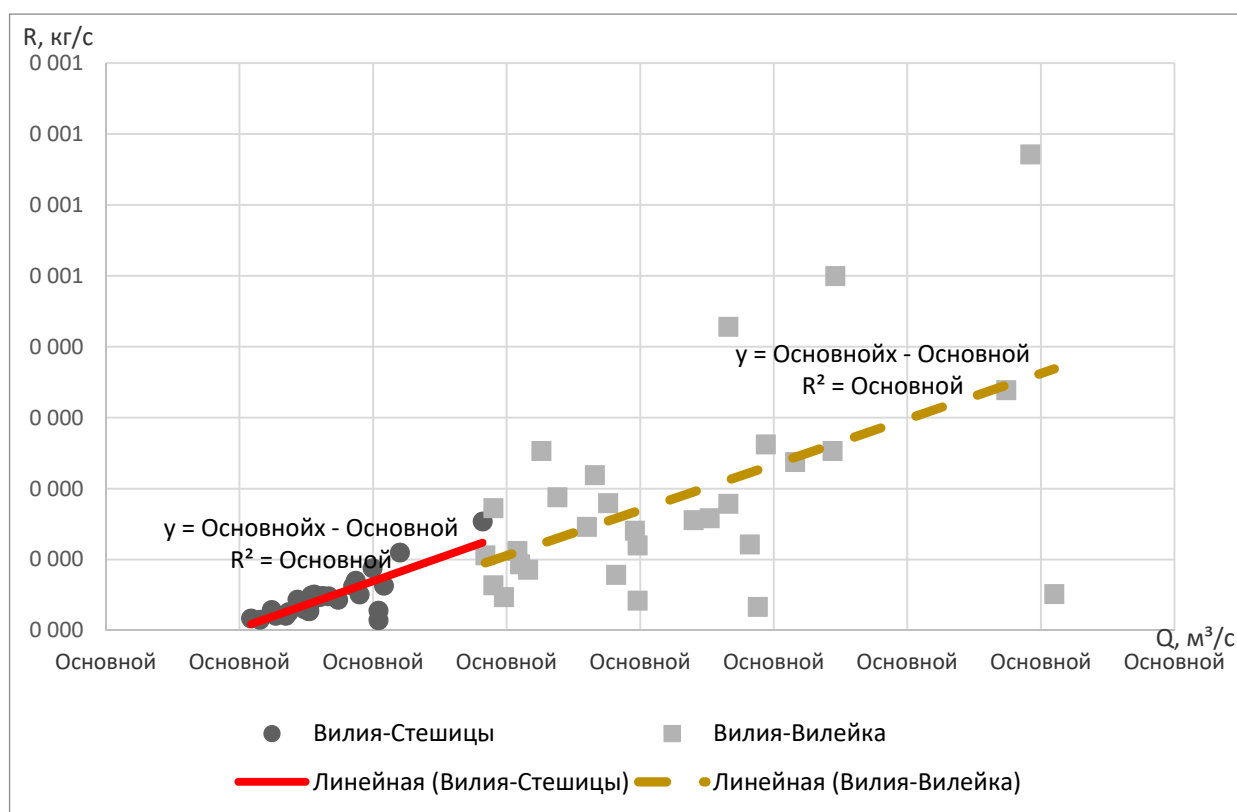


Рисунок 1 – График связей среднегодовых расходов воды ( $Q$  м<sup>3</sup>/с) и наносов ( $R$  кг/с)

Расход наносов и мутность водотока, водоема изменяются как во времени, так и в пространстве. Расход взвешенных наносов вычисляются по результатам ежедневных измерений мутности воды с учетом переходных коэффициентов «К» от единичной мутности к средней мутности потока. Корректность определения величин стока взвешенных наносов анализируется по графикам связи среднегодовых расходов взвешенных наносов и расходов воды. Предельная ошибка составляет  $\pm 20\%$ .

Построены графики связи расходов воды и наносов по зависимости  $R_{\text{ср.год}} = f(Q_{\text{ср.год}})$ . Для большинства постов указанные связи достаточно удовлетворительны, что отражено на рис. 1.



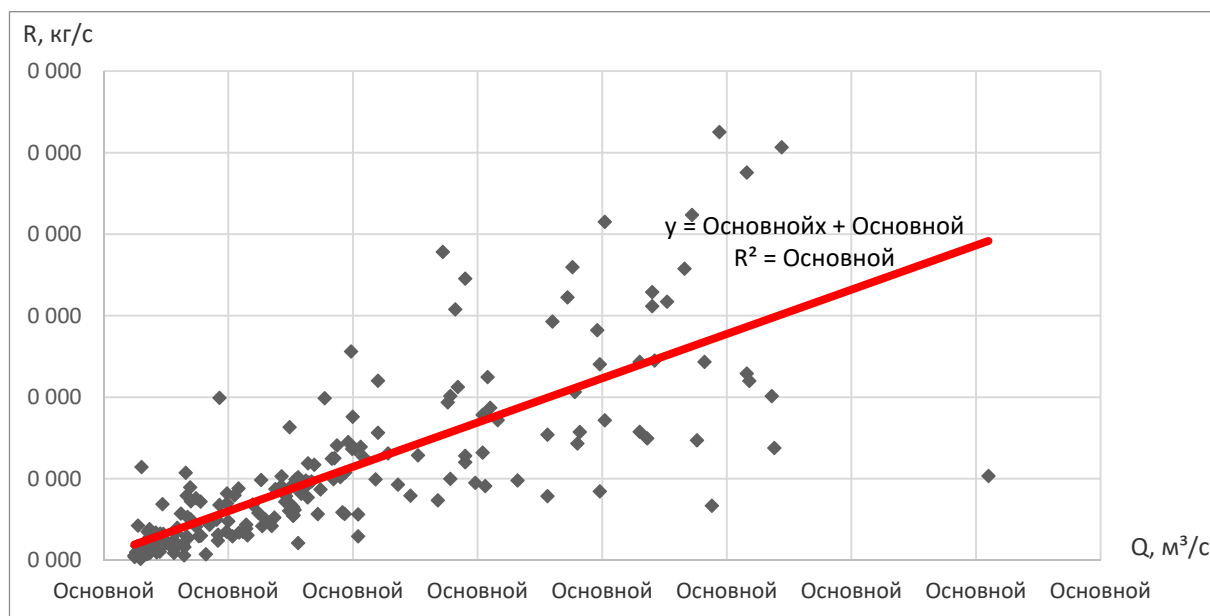


Рисунок 2 – Графики связей среднегодовых расходов воды ( $Q$  м<sup>3</sup>/с) и наносов ( $R$  кг/с) объединенного ряда значений

На территории Беларуси выделяют две зоны мутности: малой – менее 25 г/м<sup>3</sup>, повышенной – 25–50 г/м<sup>3</sup>. Ряд наблюдений, полученный из государственного водного кадастра «Ежегодные данные о режиме и ресурсах поверхностных вод» относится к малой зоне мутности [4].

Таблица 1 – Основные статистические характеристики рядов стока наносов

Река – пункт	Среднее значение ( $\mu$ ), г/с	Коэффициент		
		вариации	асимметрии	корреляции
Полота – с. Янково 1-е	32	0,68	1,96	0,42
Виляя – с. Стешницы	46	0,65	2,07	0,41
Виляя – г. Вилейка	188	0,77	1,81	0,34
Лесная – с. Тюхиничи	55	0,37	1,7	-0,08
Добысна – с. Малевичская Рудня	14	0,8	2,33	-0,09
Уза – с. Прибор	14	0,95	1,26	-0,14
Ясельда – с. Сенин	102	0,47	1,06	0,52

Согласно табл. 2, средние за межень (лето – осень, зима) мутности малых, средних и больших рек несколько ниже годовых от 2,8 до 7,8 г/м<sup>3</sup>. В период весеннего половодья мутность рек колеблется от 6,0 до 15,8 г/м<sup>3</sup>. В зоне малой мутности дождевые паводки существенно не изменяют хода мутности. Наибольшая среднемесячная мутность наблюдается в апреле, реже в марте.

Таблица 2 – Мутность воды рек (г/м<sup>3</sup>) в различные сезоны года

Река – пункт	Период наблюдений	Межень		Весеннее половодье, средняя
		лето – осень	зима	
Полота – с. Янково 1-е	1990–2021	6,2–7,7	5,2–6,1	7,1
Виляя – с. Стешницы	1990–2021	3,6–5,0	3,5–4,2	6,0

Ви́лия – г. Вилейка	1990–2021	6,4–6,6	5,9–6,1	10,2
Лесная – с. Тюхиничи	1990–2021	4,5–5,2	3,9–4,1	6,4
Добысна – с. Малевичская Рудня	1990–2021	2,8–2,9	–	8,4
Уза – с. Прибор	1990–2021	3,6–4,7	–	9,9
Ясельда – с. Сенин	1990–2021	6,8–7,8	4,0–4,6	7,6
Эса – с. Гадивля	1990–2006	5,1–5,2	5,2	13,5
Неман – г. Столбцы	1990–1995	5,7–6,3	7,4–8,6	15,8
Рыта – с. Малые Радваничи	1990–1995	4,7–5,2	4,0–5,1	7,9

Мутность достигает максимальных значений в период весеннего паводка при кратковременном поднятии уровня воды в реках, которое вызвано таянием ледников, снега, обилием дождей. Снижение происходит в летний период межени, наблюдаются низкие расходы и уровни воды. Осенью мутность незначительно повышается за счет дождей. В зимний же период отмечаются минимальные значения мутности (рис. 2).

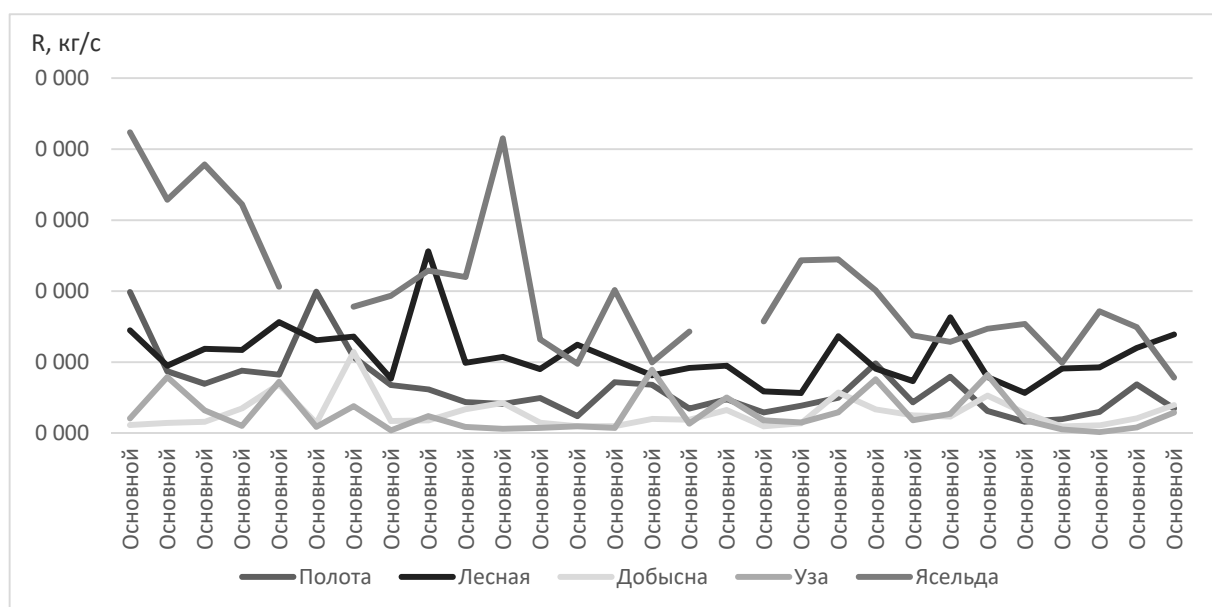


Рисунок 3 – Временной ряд среднемесячных значений мутности воды

На реке весенний сток наносов составляет от 54,3 до 69,6 % от годового. На долю летнего стока наносов приходится от 16,8 до 30,4 %; зимнего от 5,3 до 19,3 %.

Таблица 2 – Сток взвешенных наносов по сезонам в % от годового

Река – пункт	Площадь водосборов, км <sup>2</sup>	Весна	Межень		
			лето – осень	зима	весь период
Полота – с. Янково 1-е	618	56,7	24,3	19,0	43,3
Ви́лия – с. Стешницы	1230	54,3	26,9	18,8	45,7
Ви́лия – г. Вилейка	4190	54,8	27,8	17,4	45,2
Лесная – с. Тюхиничи	2590	56,9	16,8	26,3	43,1
Добысна – с. Малевичская Рудня	454	69,6	30,4	–	30,4
Уза – с. Прибор	760	68,8	25,9	5,3	31,2
Ясельда – с. Сенин	5110	60,1	20,6	19,3	39,9

Выводы. Изменение поверхностного стока имеет различные направления, а мутность рек по всей территории Беларуси уменьшается начиная с 1965–1970 гг. Увеличение доли сельскохозяйственной деятельности приводит к увеличению мутности на 5 %. На фоне изменения климата и уменьшения сельскохозяйственных угодий можно ожидать усиление эрозионных процессов. Изученность твердого стока в современных условиях

неудовлетворительна. Сеть наблюдений насчитывает 12 постов по всей республике, распределенных неравномерно.

#### Список литературных источников

1. Ковязина, И. А. Факторы формирования стока взвешенных наносов рек и методы его количественной оценки / И. А. Ковязина, Д. С. Баяндина. – 2021.
2. Гусева, А. В. Аспекты метрологического обеспечения измерений мутности морской воды / А. В. Гусева, М. Н. Белая // Качество продукции: контроль, управление, повышение, планирование. – 2019. – С. 99–102.
3. Статистические методы в природопользовании / В. Е. Валуев, А. А. Волчек, П. С. Пойта, П. В. Шведовский. – Брест : Изд-во Брестского политехнического института, 1999. – 252 с.
4. Ресурсы поверхностных вод СССР. Белоруссия и Верхнее Поднепровье. – Л. : Гидрометеоиздат, 1966. – Т. 5, ч. 1. – 718 с.
5. Оценка допустимой добычи нерудных строительных материалов из русла на примере реки Припять / А. А. Волчек [и др.] // Гидрометеорология и экология. – 2022. – № 2 (105). – С. 6–24.
6. Инженерная гидрология и регулирование стока. Общая гидрология и гидрометрия : учебно-методическое пособие / А. А. Волчек [и др.]. – Горки : БГСХА, 2021. – 152 с.

### **Изменение дат наступления минимальных уровней воды периода открытого русла на реках Беларуси в современных условиях**

Шпока Д.А.<sup>1</sup>, Волчек А.А.<sup>2</sup>

*Брестский государственный технический университет, г. Брест, Республика Беларусь, volchak@tut.by*

**Резюме.** По результатам анализа суточных гидрографов рек Беларуси по 65 створам за период с 1950 по 2015 г. определены даты наступления минимальных уровней воды периода открытого русла. Показано смещение дат наступления минимальных уровней воды на более ранние сроки.

### **Changes in the dates of the onset of minimum water levels in the period of the open channel on the rivers of Belarus in modern conditions**

Shpoka D., Volchek A.

**Summary.** According to the results of the analysis of daily hydrographs of the rivers of Belarus for 65 gauges for the period from 1950 to 2015. the dates of the onset of minimum water levels during the period of the open channel are determined. The shift of the dates of the occurrence of minimum water levels to earlier dates is shown.

**Введение.** Современные климатические колебания вызвали изменения в гидрологическом режиме рек Беларуси [1, 2, 3 и др.], в том числе изменились минимальные уровни воды периода открытого русла [4]. Изменения минимального стока летне-осеннего периода носит разнонаправленный характер. Как правило, это обусловлено природно-климатическими факторами, хотя, что касается территории Белорусского Полесья, то оно в значительной степени подверглось влиянию антропогенной деятельности, в частности крупномасштабные осушительные мелиорации, начатые в середине 60-х гг. прошлого столетия [1]. Большинство исследований посвящено изменению стока рек и в меньшей степени, изменениям уровней воды и датам наступления их минимальных значений. В тоже время уровенный режим является основной гидрологической характеристикой рек и широко используется при решении как теоретических, так и практических задач в области водного хозяйства, гидрологии, экологии и экономики. Поэтому требуется исследование изменения уровенного режима для получения объективной картины процессов происходящих на водосборах рек. Особый интерес представляют минимальные уровни воды рек во время летне-осенней межени, так как они влияют на пойменные экосистемы и определяют работу гидротехнические сооружения. Кроме того, по характеру изменений уровенного режима

можно в той или иной степени оценить влияние различных факторов. Помимо величин минимальных уровней воды рек, большое значение имеет и время их наступления.

Целью настоящего исследования является установление дат прохождения минимальных уровней воды периода открытого русла на реках Беларуси в современных условиях.

Материалы и методы исследований. Исходными данными явились материалы наблюдений Республиканского гидрометеорологического центра за минимальными уровнями воды периода открытого русла рек по 65 речным створам Беларуси за период с 1950 по 2015 г.

Для определения дат смещения прохождения минимальных уровней воды периода открытого русла на реках Беларуси, вызванных современными климатическими изменениями, исходные временные ряды разбиты на два интервала: с 1950 по 1987 г. и с 1988–2015 гг. Выбор данного периода обусловлен началом современных климатических изменений.

Для каждого интервала определялась дата наступления минимальных уровней воды периода открытого русла реки текущего года, и рассчитывались средние даты, а также разница в средних датах, которая и показывает исходное смещение. Затем с помощью критерия Стьюдента устанавливалась статистическая значимость в различиях вычисленных средних по формуле [5]:

$$t = \frac{\bar{T}_{min 1} - \bar{T}_{min 2}}{\sqrt{n_1 \cdot \sigma_1^2 + n_2 \cdot \sigma_2^2}} \cdot \sqrt{\frac{n_1 \cdot n_2 \cdot (n_1 + n_2 - 2)}{n_1 + n_2}}, \quad (1)$$

где  $\bar{T}_{min 1}, \bar{T}_{min 2}$  – выборочные средние даты минимальных уровней воды периода открытого русла рек за первый и второй интервалы соответственно;  $\sigma_1^2, \sigma_2^2$  – выборочные дисперсии;  $n_1$  и  $n_2$  – объемы выборок.

Полученное значение  $t$ -критерия Стьюдента сравнивалось с их критическими значениями при заданном уровне значимости  $\alpha = 5\%$ . Если  $t > t_\alpha$ , принимается гипотеза статистического различия двух выборочных средних дат рассматриваемых рядов.

Положительные значения на картах означает более раннее наступление минимальных уровней воды, а отрицательные – более позднее по сравнению с периодом до 1987 г.

Обсуждение результатов. Средние даты наступления минимальных уровней воды периода открытого русла реки до современного потепления на территории Беларуси представлены на рис. 1.

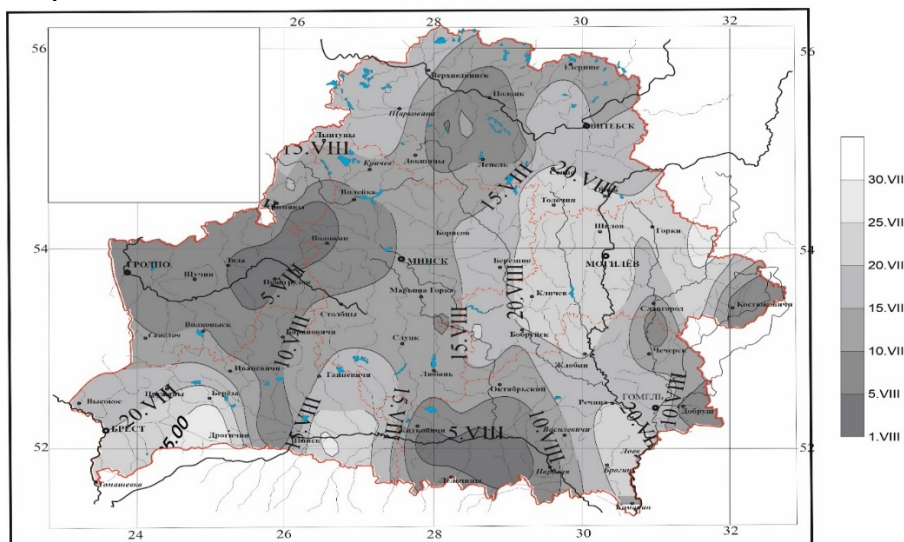


Рисунок 1 – Карта средних дат наступления минимальных уровней воды периода открытого русла на реках Беларуси до потепления климата

В табл. 1 представлены сроки наступления минимальных уровней воды периода открытого русла на современном этапе относительно ранее установленных норм наступления пиков минимальных уровней.

Таблица 1 – Сроки прохождения минимальны уровней воды периода открытого русла на реках Беларуси

Бассейн реки	Ранние сроки	Поздние сроки
Днепр	10	-13
Западная Двина	10	-2
Припять	15	-4
Неман	10	-1

Как видно из рис. 1, ранние даты наступления минимальных уровней воды периода открытого русла на северо-западе Беларуси на юге Белорусского Полесья юго-восточной части страны до 1987 г. приходились на первую декаду августа. Позднее наступление минимальных уровней воды приходились на восточную часть страны – середина-конец августа. В настоящее время эти даты сместились на более ранние сроки по направлению с юго-запада в центральную часть страны. Минимальные уровни воды периода открытого русла приходятся на первую декаду августа, что показано на рис. 2. Процентное соотношение наступления на реках минимальных уровней воды периода открытого русла по декадам приведены в табл. 2.

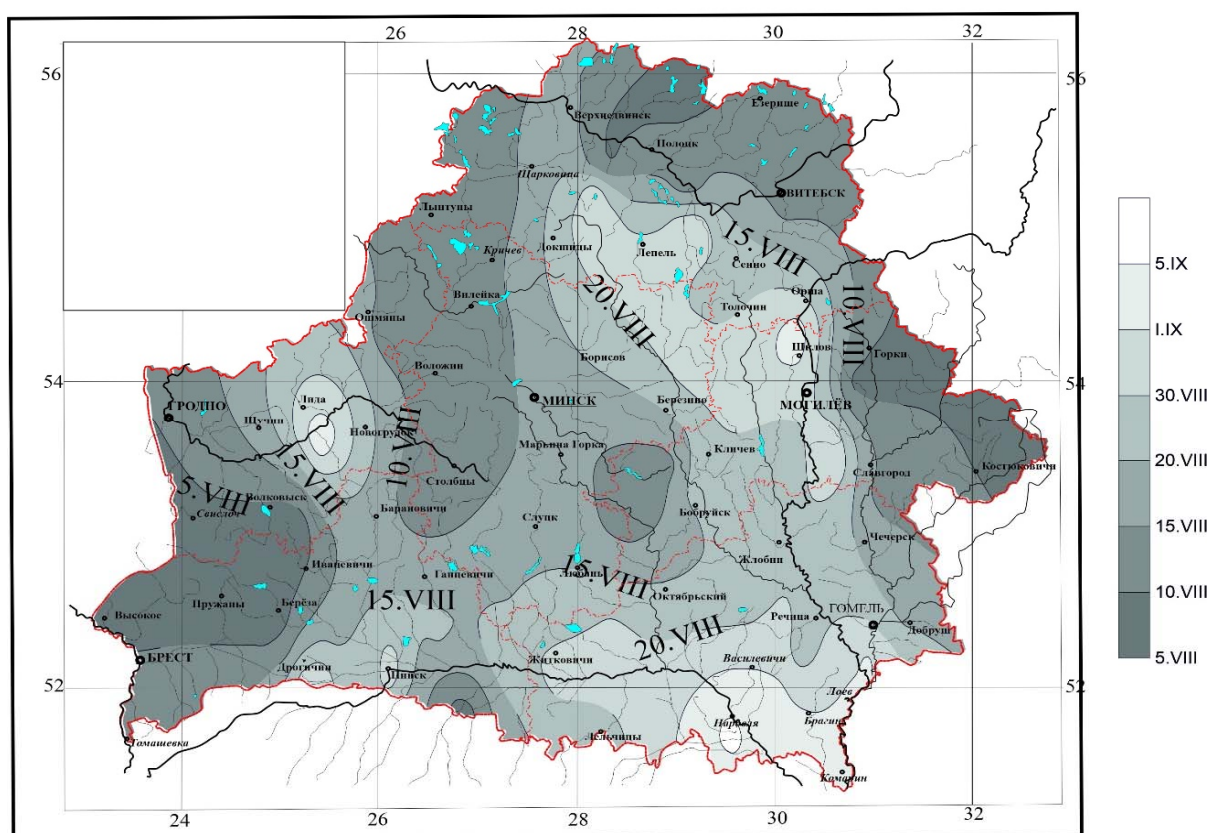


Рисунок 2 – Карта средних дат наступления минимальных уровней воды периода открытого русла на реках Беларуси в современных условиях

Из табл. 2 видно, что наибольшее смещение дат наступления минимальных уровней воды периода открытого русла на более ранние сроки произошло с I декады июня на III декаду на реках бассейна Неман. В целом можно сказать, что произошло существенное смещение наступления минимальных уровней воды периода открытого русла на территории Беларуси.



Таблица 2 – Процентное соотношение количества рек и декады наступления минимальных уровней воды периода открытого русла

Бассейн реки	Июнь		Июль			Август			Сентябрь	
	I декада	III декада	I декада	II декада	III декада	I декада	II декада	III декада	I декада	II декада
Днепр				12,5/4,2	12,5/4,2	16,7/20,8	29,2/29,2	25,0/25,0	0,0/12,5	4,1/4,1
Западная Двина						16,7/16,7	41,7/41,6	8,3/16,7	25,0/25,0	8,3/0,0
Припять			5,6/0	0,0/16,7	5,6/11,0	0,0/16,7	27,8/27,8	22,2/27,8	38,8/0,0	
Неман	0,0/18,2	9,1/9,1	18,2/0			36,3/72,7	27,3/0,0		9,1/0,0	
Итого	0,0/3,1	1,5/1,5	4,5/0,0	4,5/6,2	6,0/4,6	15,0/27,7	30,5/26,2	16,5/20,0	18,5/9,2	3,0/1,5

*Примечание.* В числителе указан процент попадания рек данного бассейна – до 1987 г., в знаменателе в рассматриваемую декаду настоящего времени.

Для наглядного представления смещения дат минимальных уровней воды периода открытого русла построена карта (рис. 3), из которой видно, что наибольшее смещение произошло в центре страны, в западно-белорусской подобласти в районе Минской краевой ледниковой возвышенности, в районе Горецкой моренной равнины с краевыми ледниковыми образованиями.

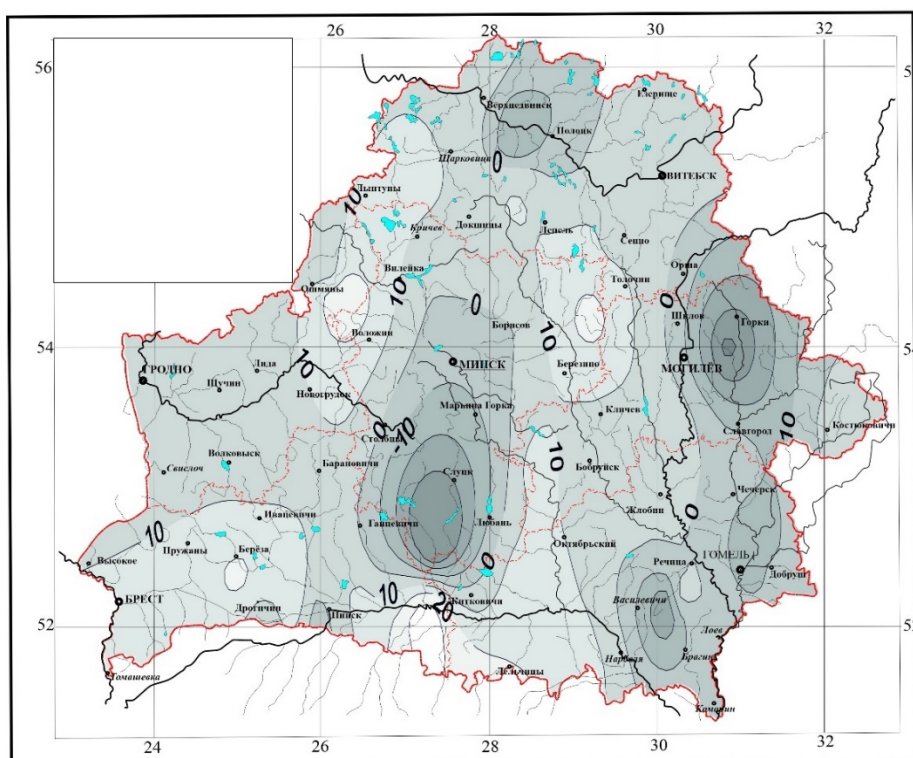


Рисунок 3 – Карта смещений средних дат прохождения минимальных уровней воды периода открытого русла на реках Беларуси

Изменений не произошло на юго-западе Беларуси в районе Малоритской водно-ледниковой равнины. Незначительные сдвиги произошли на западе выше Гродно в районе Озерской водно-ледниковой низины, Лидской моренной равнины, Вороновской водно-ледниковой равнины с краевыми ледниковыми образованиями, на юго-востоке в районе Хойникской водно-ледниковой низины с краевыми ледниковыми образованиями, Комаринской аллювиальной низины.

**Заключение.** В результате проведенных исследований установлено смещение дат наступления минимальных уровней воды периода открытого русла на реках на более ранние сроки практически по всей территории Беларуси, кроме бассейна реки Днепр. В общем виде можно представить таким образом, что в настоящее время в результате климатических

изменений и антропогенных факторов 30,5 % всех рек Беларуси наблюдаются минимальные уровни во второй декаде августа, а в период до 1987 г. минимальные уровни воды наблюдались в первой декаде августа на 27,7 % всех рек.

#### Список литературных источников

1. Логинов, В. Ф. Водный баланс речных водосборов Беларуси / В. Ф. Логинов, А. А. Волчек. – Минск : Тонпик, 2006. – 160 с.
2. Водные ресурсы Беларуси и их прогноз с учетом изменения климата / А. А. Волчек [и др.] ; под общ. ред. А. А. Волчек, В. Н. Корнеева. – Брест : Альтернатива, 2017. – 228 с.
3. Волчек, А. А. Динамика изменения водных ресурсов Беларуси в современных условиях / А. А. Волчек, С. В. Сидак, С. И. Парфомук // Инновации: от теории к практике : сборник научных статей VIII Межд. науч.- практ. конф., Брест, 21–22 октября 2021 г. ; редкол.: В. В. Зазерская [и др.]. – Брест : Издательство БрГТУ, 2021. – С. 81–89.
4. Волчек, А. А. Минимальный сток рек Беларуси / А. А. Волчек, О. И. Грядунова ; Брест. гос. ун-т имени А. С. Пушкина. – Брест : БрГУ, 2010. – 169 с.
5. Статистические методы в природопользовании : учебное пособие для студентов высших учебных заведений / В. Е. Валуев [и др.]. – Брест : Изд-во Брестского политехнического института, 1999. – 252 с.

### **Регистрация воздействия водохранилищ на прилегающие территории с помощью беспилотных летающих аппаратов (БПЛА)**

Левкевич В.Е.<sup>1</sup>, Мильман В.А.<sup>2</sup>, Решетник С.В.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> *Белорусский национальный технический университет, г. Минск, Республика Беларусь, v.lev2014@mail.ru*

<sup>2</sup> *Объединенный институт проблем информатики (ОИПИ) НАН Беларуси, г. Минск, Республика Беларусь*

**Резюме.** Приведены некоторые результаты полевых исследований по оценке масштабов и ширины подтопления прибрежных территорий водохранилищ Беларуси и деформации-размыву берегов с помощью беспилотных летательных аппаратов (БПЛА)

### **Registration of the impact of reservoirs on adjacent territories using unmanned aerial vehicles (UAVs)**

Levkevich V., Milman V., Reshetnik S.

**Summary.** Some results of field studies on the assessment of the scale and width of the flooding of the coastal areas of the reservoirs of Belarus and the deformation-erosion of the banks with the help of unmanned aerial vehicles (UAVs) are presented.

Создание водохранилищ оказывает значительное воздействие на прибрежные территории, что выражается в развитии различных негативных процессов. Например, гидродинамическое воздействие на берега (ветровое волнение, течения, колебания уровней, ледовые явления) вызывает развитие эрозионно-абразионных процессов [1]. Однако, наряду с процессами деформации береговой линии водохранилищ происходят изменения гидрогеологических условий, обусловленных подпором подземных вод, подтоплением и заболачиванием прибрежных территорий.

Для оценки подтопления территории в прибрежной зоне водохранилищ и разрушения – переработки берегов с применением беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) был выбран ряд тестовых водохранилищ: Заславльское, Криницы, Дрозды, Волчковичское, Чижовское, Дубровское, а также водохранилище Витебской ГЭС. Водоохранилища, на которых проводились экспериментальные исследования, имели различное регулирование, морфометрические характеристики, линейные размеры, срок эксплуатации и тип наполнения [1, 2].

При наполнении водохранилища, поднимающийся уровень водной поверхности оказывает значительное давление на водоносные горизонты в береговых склонах. Под

действием гидростатического давления со стороны водоема сток (движение) подземных вод в подпертую реку прекращается. Одновременно вода из водохранилища начинает фильтроваться в затопленные почвы и грунты бортов речной долины. Вследствие фильтрации в породах различного гранулометрического состава возникает фильтрационный поток, направленный от водохранилища. Скорость фильтрации будет зависеть от водопроницаемости грунтов. Показателем водопроницаемости служит коэффициент фильтрации –  $k_f$ . Наименьший коэффициент фильтрации у глин – около 0,01 м/сутки, то есть вода в глине за сутки успевает пройти расстояние в 1 см. С увеличением размеров пор коэффициент фильтрации увеличивается: для песков 2–50 м/сутки, для гравия и галечников – 20–500 м/сутки. В результате инфильтрации из водохранилища уровень подземных вод в прибрежной зоне постепенно повышается [1]. Поскольку изменение режима грунтовых вод имеет большое значение для водоснабжения, строительства и других отраслей хозяйства. Наряду с подтоплением активно развивается абразия – переработка берегов.

Таким образом, в результате строительства гидротехнических подпорных сооружений поверхность подземных вод вблизи водохранилища приобретает криволинейную форму. Со временем, с одной стороны, за счет фильтрации, с другой – за счет постоянного притока с окружающей суши, запасы подземных вод на побережье увеличиваются, а уровень их постоянно поднимается. Подобные явления типичны в основном для водохранилищ районов избыточного увлажнения, каковым является прибрежная зона водохранилищ, которая ведет к подъему уровня подземных вод за счет исключительно утечек из водоема.

Итак, на одних участках прибрежной зоны водохранилища зона влияния достигает своих максимальных размеров уже в первые годы эксплуатации, на других процесс подпора растягивается на последующий период эксплуатации. Изменения уровня верхнего бьефа водохранилища передаются подземным водам. Внешняя граница зоны подтопления, где колебания уровня подземных вод затухают, может быть расположена на расстоянии 1–4 км от уреза верхнего бьефа водохранилища.

Подтопление земель, прилегающих к водохранилищу, обусловлено как подъемом уровня воды при заполнении водохранилища до нормального подпорного уровня, так и соответственно изменением уровня грунтовых вод. Основной потенциальный ущерб от подтопления земель и в целом от изменения режима грунтовых вод связан с возможностью заболачивания территорий, изменением свойств почв, растительного и животного мира [1]. Общая площадь подтопления земель равнинными водохранилищами в зависимости от природных условий может составлять на водоемах Беларуси – до 15 % площади водохранилища [1].

Методика исследований прибрежной зоны, подверженной подтоплению и абразии состояла в проведении наземных съемок по заранее подготовленной системе разбитых контрольных створов и съемке их с помощью БПЛА и дальнейшем сравнении. Для проведения дистанционной съемки использовался БПЛА – квадрокоптер модели DJI Phantom 3 Professional. Данный аппарат профессиональной серии оборудован цифровой 12-мегапиксельной камерой, позволяющей выполнять видеосъемку формата HD и делать фотографии HD качества.

Для оценки точности результатов, полученных в процессе обработки материалов аэросъемок с БПЛА, были привлечены материалы наземного мониторинга, прибрежной зоны тестовых водных объектов, полученные ранее [1, 2].

Максимальная ширина распространения подпора грунтовых вод в береговой зоне в условиях водохранилищ Беларуси достигает 2,0 км [1].

Обработка видео и фотоматериалов полевых исследований показала, что ширина зоны подтопления колеблется от 50 м (водохранилища Криницы, Птичь, Дубровское) до 500 м (водохранилища Петровичи, Заславское) и может достигать 1300 м для больших водохранилищ (водохранилище Витебской ГЭС, правый берег).

Граница распространения подпора подземных вод определялась по данным анализа съемок с БПЛА путем выявления полос изменения цвета растительности, имеющих в зоне подтопления более насыщенную цветовую гамму. К тому же, в зоне подпора, как правило, преобладают травянистые виды растительности, древесные формы находятся в угнетенном состоянии.



На основании набора полученных с БПЛА аэрофотоснимков была создана трехмерная модель местности и цифровая модель рельефа (ЦМР). Для создания трёхмерной модели местности и цифровой модели рельефа (ЦМР) была использована программа Agisoft PhotoScan. Затем на основании полученных данных строилась ЦМР в виде поверхности с рельефными горизонталями. В результате получалась следующая картографическая продукция: трёхмерная модель местности, цифровая модель рельефа и ортофотоплан. Данные виды продукции пригодны для целей картографирования, инженерных изысканий, а также прогнозных расчетов.

Сравнительный анализ данных, полученных при наземных измерениях и данных, полученных в процессе обработки снимков с БПЛА, дан в табл. 1 и 2. В таблицах приведены результаты сравнения прогнозных расчетов подпора грунтовых вод и ширины зоны подтопления прибрежных территорий и переработки берегов тестовых водохранилищ и реальных параметров подтопления побережий и деформаций берегов, полученных с помощью БПЛА.

Таблица 1 – Сравнение результатов прогнозных расчетов подпора подземных вод на тестовых водоемах и данных БПЛА

Тестовое водохранилище	Прогноз подпора УГВ по тестовым участкам		Данные съемки с БПЛА	Погрешность, абсолютная, %
	высота подпора на расстоянии 20 м от уреза воды, м	ширина зоны подтопления, м	ширина зоны подтопления, м	
Заславское	0,40	75,0	65,0	13,3
Дубровское	0,50	35,0	35,0	0
Чижевское	0,30	40,0	42,0	5
Волковичское (Птичь)	0,40	40,0	35,0	12,5

Таблица 2 – Сравнение результатов натуральных измерений переработки берегов тестовых водоемов и данных, полученных при съемке с БПЛА

Тестовый водоем	Измеренная средняя линейная переработка, (St), м	Данные съемки о линейной переработке с БПЛА, (St), м	Погрешность абсолютная, %
Заславское водохранилище	8,50	8,0	5,9
Дубровское водохранилище	4,50	4,0	11,10
Чижевское водохранилище	5,30	5,0	5,70
Волковичское водохранилище (Птичь)	4,0	3,5	12,5

Полученные данные позволяют сделать вывод о том, что: регистрация и наблюдение за развитием процесса подтопления и переработки естественных берегов водохранилищ с помощью беспилотных аппаратов возможны. Причем результаты получаются высокой точности, что подтверждают, как измеренные наземные данные и прогнозные расчеты, так и полученные БПЛА.

#### Список использованных источников

1. Левкевич, В. Е. Инженерная защита и мониторинг прибрежной зоны водохранилищ Беларуси : монография / В. Е. Левкевич. – Минск : Право и экономика, 2020. – 152 с.
2. Оценка сооружений инженерной защиты, систем водоснабжения и водоотведения средствами дистанционной диагностики / В. Е. Левкевич [и др.] // Сборник трудов научно-практической конференции, посвященной 50-летию создания Брестского государственного технического университета, 6–7 октября 2021 г. – Брест : БрГТУ. – 2021. – С. 45–54.

## Гидрогеохимическое разнообразие родниковых источников на территории Беларуси

Пашкевич В.И.

*Институт природопользования Национальной академии наук Беларуси, г. Минск,  
Республика Беларусь, v.i.pashkevich@tut.by*

**Резюме.** Воды родников характеризуются большим разнообразием по химическому составу. Величина их общей минерализации изменяется от 30 до 1100 мг/л, а гидрогеохимические типы вод – от гидрокарбонатных кальциевых до хлоридно-сульфатных или нитратно-хлоридных натриево-кальциевых на участках антропогенного загрязнения. В родниковых источниках техногенного генезиса – на дне глубоких карьеров – минерализация вод может достигать 6–22 г/л, а на солеотвалах калийных шахт – 340–380 г/л при хлоридном натриевом составе.

### Hydrogeochemical diversity of spring sources on the territory of Belarus

Pashkevich V.I.

**Summary.** The waters of the springs are characterized by great diversity in chemical composition. The value of their total mineralization varies from 30 to 1100 mg/l, and the hydrogeochemical types of waters vary from bicarbonate calcium to chloride-sulfate or nitrate-chloride sodium-calcium in areas of anthropogenic pollution. In spring sources of technogenic genesis – at the bottom of deep quarries – water salinity can reach 6–22 g/l, and in salt dumps of potash mines – 340–380 g/l with sodium chloride composition.

Родники являются уникальными природными объектами и с геологической точки зрения представляют собой сосредоточенные выходы подземных вод на земную поверхность. Они формируются на тех участках, где подземные водоносные горизонты (чаще всего это первый от поверхности безнапорный водоносный горизонт – грунтовые воды) вскрываются процессами геологической эрозии в долинах рек и ручьёв, в оврагах, в бортах озёрных котловин, у подножья крутых склонов и т. д. Наиболее часто родниковые источники встречаются в районах с высокой расчлененностью рельефа – в пределах моренных возвышенностей и гряд (Минская, Новогрудская, Ошмянская, Витебская, Горецко-Мстиславская и Волковысская возвышенности, Мозырская, Копыльская, Свенцянские и Браславские гряды и др.). Не менее многочисленными, но в настоящее время почти не изученными, являются субаквальные родники – сосредоточенные выходы подземных вод в руслах рек и на дне водоёмов ниже уровня поверхностных вод. Всё это родники естественного происхождения; но нередко родниковые источники бывают приурочены к мелиоративным каналам и карьерам, то есть могут иметь искусственное («техногенное») происхождение. Известны источники, сформировавшиеся на месте старых самоизливающихся буровых скважин. Условия формирования родников определяют их особенности и отличия от других природных водных объектов (рек, ручьёв и озёр). К особенностям родников относятся сравнительно высокое качество родниковых вод (особенно по органолептическим показателям – вкусу, цветности, мутности и запаху), а также низкая и достаточно стабильная температура воды, составляющая в основном 6–9°C, что близко к среднегодовой температуре воздуха на территории Беларуси.

Дебит родников варьирует в широком диапазоне от 0,001–0,1 до 3–5 л/сек, достигая в отдельных случаях у самых «выдающихся» источников нескольких десятков литров в секунду. Это такие источники как «Голубая крыница» («Сіні калодзеж») в Славгородском районе Могилевской области, «Ясенец» («Кипяток») в Барановичском районе Брестской области, «Большой Болцицкий» («Золотой») в Мядельском районе Минской области и др. В основном преобладают родники, относящиеся к категории малобитных, то есть имеющих расход воды менее 1,0 л/сек. Некоторые источники с очень малым дебитом в период летне-осеннего снижения уровней грунтовых вод (август-сентябрь) могут пересыхать.

По химическому составу воды родников на территории Беларуси характеризуются очень большим разнообразием. Их общая минерализация варьирует от 30 до 1100 мг/л, то есть в родниках представлены воды от ультрапресных (с минерализацией менее 100 мг/л) до

солончатых (с минерализацией более 1,0 г/л). В широком диапазоне изменяется и химический состав родниковых вод – от гидрокарбонатного кальциевого и магниевое-кальциевого, который является характерным для грунтовых вод территории Беларуси на участках с естественным гидрогеохимическим фоном [1, 2], до хлоридно-сульфатного или нитратно-хлоридного натриево-кальциевого в родниках, в которых в наибольшей степени проявляется антропогенное загрязнение. По своему генезису это загрязнение является в основном сельскохозяйственным и, реже, коммунально-бытовым (в родниках на территории населённых пунктов). Такое загрязнение проявляется в росте содержания в родниковых водах ионов  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Na}^+$  и  $\text{K}^+$ , которые относятся к числу хорошо растворимых и подвижных в почво-грунтах и подземных водах компонентов минеральных и органических удобрений, а также животноводческих и коммунально-бытовых стоков [2]. Однако, из всех перечисленных компонентов антропогенного загрязнения родниковых вод только содержание нитрат-иона ( $\text{NO}_3^-$ ) в некоторых источниках превышает допустимый уровень, установленный для питьевых вод – 45 мг/л [3]. Из 256 опробованных родников на территории Беларуси превышение уровня ПДК по нитратам было установлено в 22 % источников. Максимальные содержания этого компонента в родниковых водах достигали 130–150 мг/л.

Родниковые воды характеризуются сравнительно низким содержанием водорастворенного железа ( $\text{Fe}^{2+}$  и  $\text{Fe}^{3+}$ ), что благоприятствует хорошим органолептическим показателям родниковых вод. В водах большинства источников железо не обнаружено либо присутствует в следовых количествах (0,05 мг/л). Превышение уровня ПДК по  $\text{Fe}_{\text{общ}}$  (0,3 мг/л) фиксируется в 10 % изученных источников. Повышенные содержания железа в родниковых водах (до 3–5 мг/л) наблюдается, как правило, в источниках имеющих заболоченные водосборы (геохимическая среда болот способствует накоплению в грунтовых водах железа [2]), либо в источниках, сформировавшихся на месте старых буровых самоизливающихся скважин, питание которых происходит из глубоких напорных горизонтов подземных вод.

Родниковые источники техногенного генезиса часто имеют и другие гидрогеохимические особенности. Так, например, воды источников на дне карьера «Гранит» у г. Микашевичи, глубина которого достигает 120 м, имели минерализацию от 6 до 22 г/л и хлоридный натриевый состав. Они сформировались за счет притока по тектоническим разломам в породах кристаллического фундамента глубинных минерализованных вод и рассолов. В источниках, которые наблюдаются на соленовалах рудоуправлений ОАО «Беларуськалий» (г. Солигорск), минерализация вод (рассолов) достигала 340–380 г/л [4]. По геохимической классификации они относятся к категории крепких и сверхкрепких рассолов хлоридного натриевого типа.

Особого внимания заслуживают природные родники, содержащие в своих водах бальнеологические компоненты. К их числу относится родник «Лазенки» в Браславском районе Витебской области, а также субаквальный источник в оз. Вишневское в Вилейском районе Минской области, которые характеризуются повышенными содержаниями в водах сероводорода – до 1,7–5,7 мг/л [2]. Известно, что на базе источника «Лазенки» в XIX веке действовала водолечебница. Данное проявление уникальных для Беларуси сероводородных вод может иметь значительные перспективы бальнеологического использования в будущем, особенно в связи с выявлением в расположенных рядом озёрах Лазенки и Черное значительных запасов лечебных сульфидных грязей.

#### Список литературных источников

1. Пашкевич, В. И. Оценка естественного геохимического фона подземных вод четвертичных отложений Беларуси / В. И. Пашкевич, С. В. Шелухин // Водные ресурсы и устойчивое развитие экономики Беларуси : материалы научн.-техн. конф. – Минск : ЦНИИКИВР, 1996. – Т. 2. – С. 63–65.
2. Кудельский, А. В. Региональная гидрогеология и геохимия подземных вод Беларуси / А. В. Кудельский, В. И. Пашкевич. – Минск : Беларуская навука, 2014. – 271 с.
3. Гигиенический норматив «Показатели безопасности питьевой воды» : утверждены постановлением Совета Министров Республики Беларусь 25.01.2021 г., № 37. – Минск : Минздрав Респ. Беларусь, 2021. – С. 77.

4. Роткин, С. М. Результаты гидрогеологических исследований солеотвалов / С. М. Роткин, Е. Я. Алексеенко // Гидрогеология и охрана недр при разработке соляных месторождений // Труды ВНИИГ. – Л., 1976. – С. 39–44.

## **Оценка химического загрязнения вод колодцев сельских населенных пунктов Гомельской области**

Струк М.И.<sup>1</sup>, Флерко Т.Г.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Институт природопользования Национальной академии наук Беларуси, г. Минск,  
Республика Беларусь, struk-17@mail.ru*

<sup>2</sup>*Гомельский государственный университет имени Ф. Скорины, г. Гомель,  
Республика Беларусь, tflerco@mail.ru*

**Резюме.** В статье представлены результаты оценки химического загрязнения вод колодцев сельских населенных пунктов Гомельской области применительно к поселениям различной величины, ландшафтной приуроченности и районной принадлежности. В качестве показателей оценки выступают удельный вес поселений с менее защищенными грунтовыми водами и с превышением допустимых концентраций по нитратам и прочим веществам в каждом районе.

## **Assessment of chemical contamination of water from wells in rural settlements of the Gomel region**

Struk M., Flerko T.

**Summary.** The article presents the results of the assessment of chemical contamination of water from wells in rural settlements of the Gomel region in relation to settlements of various sizes, landscape locations and district affiliations. The assessment indicators are the proportion of settlements with less protected ground water and with excess of permissible concentrations of nitrates and other substances in each area.

В Гомельской области в питьевых целях колодезную воду употребляют 2,5% городского и 36% сельского населения, что составляет примерно 113 тыс. чел. В качестве источников нецентрализованного водоснабжения используется около 6 тыс. общественных и более 48 тыс. индивидуальных колодцев. В 130 населенных пунктах, колодцы являются единственным источником водоснабжения [1].

Качество вод колодцев контролируется в стране Министерством здравоохранения Республики Беларусь, для чего действует специальный мониторинг. Данные этого мониторинга, полученные санитарно-эпидемиологической службой Гомельской области, составили фактическую основу исследования.

Состояние вод колодцев зависит от двух основных факторов – естественной защищенности грунтовых вод, формирующих водные ресурсы колодцев и наличия источников их загрязнения. Степень естественной защищенности грунтовых вод отражает лишь предпосылки подобного загрязнения, реализация которых возможна только при воздействии на них источников поступления загрязняющих веществ. В качестве таких источников выступают вносимые на сельскохозяйственные угодья органические и минеральные удобрения, сточные воды животноводческих комплексов и ферм, объекты захоронения производственных и коммунальных отходов, промышленные предприятия и др. Соответственно, химическое загрязнение вод колодцев выступает как результирующая величина естественной защищенности грунтовых вод и оказываемых на них воздействий.

На региональном уровне прослеживается зависимость указанного загрязнения от ландшафтной специфики территории. Так, в Беларуси, регулярно фиксируется более высокое загрязнение вод колодцев административных областей, расположенных большей частью в Полесской ландшафтной провинции, которая отличается низкой естественной защищенностью грунтовых вод. В частности, в Гомельской области на протяжении 2000-х гг. уровень санитарно-химического загрязнения вод колодцев в 1,1–1,6 раза был выше среднего по стране [1, 2].

Для оценки химического загрязнения вод колодцев по районам Гомельской области рассчитаны средние показатели по данным наблюдений санитарных служб за 2007–2009, 2013, 2017–2018 гг. В целом по региону доля нестандартных проб составляет 46,7%. По отношению к населению это означает, что загрязненную воду потребляют около 50 тыс. чел., или шестая часть сельских жителей.

Между отдельными районами имеют место существенные различия по доле нестандартных проб. Наименьшей она является в Буда-Кошелевском (27,1%), наибольшей – в Ельском районе (86,5%). Районы с более высоким загрязнением вод колодцев располагаются в южной части области на правом берегу р. Припять и в восточной на левобережье р. Днепр. Менее высоким оно является на территории между р. Днепр и Припять.

Со временем химическое загрязнение вод колодцев снижается. Так, средний показатель доли нестандартных проб по области в целом за десятилетний период с 2007–2009 по 2017–2018 гг. уменьшился с 46,3 до 42,9%. Подобная отрицательная динамика затронула 12 районов.

Отмеченному снижению могло способствовать уменьшение интенсивности воздействий таких источников как поголовье КРС в хозяйствах населения, а также внесение минеральных удобрений. За указанный временной интервал данное поголовье сократилось в 5 раз, а внесение минеральных удобрений – примерно в 1,5 раза.

В вещественном составе химического загрязнения вод колодцев преобладающую роль играют нитраты. Доля нитратов в формировании нестандартных проб в целом по области составляет 77%. В большинстве районов (в 12 из 21) они присутствуют в более чем 80% отобранных проб.

Оценка химического загрязнения вод колодцев. Оценочные баллы по районам рассчитаны, исходя из данных о доле проб с превышением допустимых концентраций по нитратам и прочим веществам в каждом районе. Для учета различий в степени концентрации нитратов введен дополнительный множитель, который составил 1,0 при концентрации 1–2 ПДК, 1,1 – 2–5 ПДК, 1,2 – 5–10 ПДК и 1,3 – свыше 10 ПДК. Обобщающий балл получен как сумма частных баллов.

Индекс вычислен относительно среднего балла по области (табл.). Увеличение значение индекса показывает ухудшение качества питьевых вод. На основе полученных индексов принята следующая шкала степени химического загрязнения вод колодцев: низкая – 0,5–0,7; относительно низкая – 0,8–1,0; средняя – 1,1–1,3; высокая – 1,4 и более.

Пространственное распределение районов с разной степенью химического загрязнения питьевых вод отражено на рис.



Рисунок – Химическое загрязнение питьевых вод колодцев сельских населенных пунктов Гомельской области

Районы с высокой и средней степенью загрязнения располагаются, преимущественно, в южной и западной частях области, где они образуют сплошной ареал из семи районов,

простирающийся вдоль р. Припять. В восточной части имеется только 2 таких района – Кормянский и Гомельский.

Для оценки экологической напряженности по проблеме загрязнения питьевых вод колодцев применительно к поселениям различной величины и ландшафтной приуроченности использован показатель удельного веса таковых с менее защищенными грунтовыми водами, в общем количестве населенных пунктов рассматриваемой величины. Принята оценочная шкала с выделением четырех ступеней: низкая напряженность – наличие проблемы у 10% поселений, относительно низкая – 10,1–20; средняя – 20,1–50; высокая – более 50%.

Согласно полученным результатам, в малых, средних и больших поселениях, а также в целом по данной проблеме экологическая напряженность является средней, в крупных – относительно низкой. В поселениях возвышенных ландшафтов она имеет низкую степень напряженности, средневысотных – относительно низкую. В населенных пунктах низинных ландшафтов проблема загрязнения питьевых вод колодцев является приоритетной (высокая экологическая напряженность).

Оценка степени химического загрязнения питьевых вод колодцев, основанная на данных о доле водных проб с превышением допустимых концентраций по нитратам и прочим веществам, дополненная оценкой естественной защищенности грунтовых вод, позволяет обосновать выбор мест отбора проб воды с целью контроля их качества, а также обеспечить принятие оптимальных решений о переводе сельских населенных пунктов на систему централизованного водоснабжения. Кроме того, с опорой на такие оценки возможно целенаправленное планирование мероприятий по благоустройству и санитарной очистке колодцев.

Проблема загрязнения питьевых вод нецентрализованных источников водоснабжения в сельских населенных пунктах является актуальной, при этом острота ее снижается, поскольку уменьшаются объемы вносимых органических удобрений на приусадебных участках, а также сокращается применение минеральных удобрений на пахотных землях сельскохозяйственных организаций. Для решения данной проблемы рекомендуется провести инвентаризацию и обследование источников нецентрализованного водоснабжения, разработать и реализовать мероприятия по улучшению их санитарного состояния.

Вывод. Химическое загрязнение вод колодцев сельских поселений Гомельской области выше среднего для страны уровня, что соответствует их более низкой естественной защищенности и отмечается в различные годы у 33–63% водных проб. Решающий вклад в него вносят нитраты, на которые приходится 3/4 таких проб. За 2000-е годы прослеживается снижение уровня данного загрязнения, которое согласуется с уменьшением применения органических удобрений в хозяйствах населения и минеральных – в сельскохозяйственных организациях. В большей степени химическое загрязнение вод колодцев проявляется в южной и западной частях области, которые заняты преимущественно низинными ландшафтами.

#### Список литературных источников

1. Информационно-аналитический бюллетень «Здоровье населения и окружающая среда Гомельской области в 2017 году» / под ред. А. А. Тарасенко. – Гомель, 2018. – Вып. 23. – 71 с.
2. Государственный водный кадастр (за 2000–2021 гг.) / М-во природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь, М-во здравоохранения Республики Беларусь, Комгидромет Респ. Беларусь. – Минск, 2001–2022.

Таблица 1 – Оценка степени химического загрязнения питьевых вод сельских населенных пунктов Гомельской области, 2007–2009, 2013, 2017–2018 гг.

Районы	Удельный вес нестандартных проб, %	Удельный вес проб с превышением ПДК по нитратам, %					Удельный вес проб с превышением ПДК прочих веществ	Баллы						Индекс	
		Всего	1-2 ПДК	2-5 ПДК	5-10 ПДК	более 10 ПДК		Нитратное загрязнение							
								1,0 (1-2 ПДК)	1,1 (2-5 ПДК)	1,2 (5-10 ПДК)	1,3 (более 10 ПДК)	Сумма	Загрязнение прочими веществами		Всего
Брагинский	48,1	30,3	23,4	6,1	0,8	–	17,8	0,23	0,07	0,01	–	0,31	0,18	0,49	0,9
Буда-Кошелевский	27,1	22,1	16,7	5,3	0,1	–	5,0	0,17	0,06	–	–	0,23	0,05	0,28	0,5
Ветковский	33,2	29,5	18,3	9,7	1,5	–	3,7	0,18	0,11	0,02	–	0,31	0,04	0,34	0,7
Гомельский	62,6	38,4	35,1	3,3	–	–	24,2	0,35	0,04	–	–	0,39	0,24	0,63	1,2
Добрушский	31,6	19,3	14,0	4,8	0,5	–	12,3	0,14	0,05	0,01	–	0,20	0,12	0,32	0,6
Ельский	86,5	83,3	67,9	13,0	2,3	–	3,3	0,68	0,14	0,03	–	0,85	0,03	0,88	1,7
Житковичский	56,5	54,8	37,0	17,9	–	–	1,7	0,37	0,20	–	–	0,57	0,02	0,58	1,1
Жлобинский	37,3	29,8	27,1	2,7	–	–	7,5	0,27	0,03	–	–	0,30	0,08	0,38	0,7
Калинковичский	56,8	36,0	31,4	4,6	–	–	20,8	0,31	0,05	–	–	0,36	0,21	0,57	1,1
Кормянский	68,3	59,6	42,6	13,7	0,8	2,5	8,7	0,43	0,15	0,01	0,03	0,62	0,09	0,71	1,4
Лельчицкий	66,8	60,6	49,2	10,0	1,4	–	6,2	0,49	0,11	0,02	–	0,62	0,06	0,68	1,3
Лоевский	51,7	29,1	27,4	1,7	–	–	22,6	0,27	0,02	–	–	0,29	0,23	0,52	1,0
Мозырский	77,9	58,3	40,3	15,5	2,5	–	19,6	0,40	0,17	0,03	–	0,60	0,20	0,80	1,5
Наровлянский	65,3	54,9	26,4	17,4	11,1	–	10,4	0,26	0,19	0,13	–	0,59	0,10	0,69	1,3
Октябрьский	36,8	6,9	6,6	0,2	–	–	30,0	0,07	0,00	–	–	0,07	0,30	0,37	0,7
Петриковский	52,9	47,8	35,9	11,2	0,7	–	5,1	0,36	0,12	0,01	–	0,49	0,05	0,54	1,0
Речицкий	38,6	36,0	23,3	12,0	0,7	–	2,6	0,23	0,13	0,01	–	0,37	0,03	0,40	0,8
Рогачевский	44,9	43,1	22,4	20,3	0,4	–	1,8	0,22	0,22	–	–	0,45	0,02	0,47	0,9
Светлогорский	35,5	34,7	33,2	1,5	–	–	0,9	0,33	0,02	–	–	0,35	0,01	0,36	0,7
Хойникский	55,6	35,9	27,7	7,6	0,6	–	19,7	0,28	0,08	0,01	–	0,37	0,20	0,56	1,1
Чечерский	48,5	44,0	43,4	0,6	–	–	4,5	0,43	0,01	–	–	0,44	0,04	0,49	0,9
Средний показатель	46,7	36,5	27,8	8,1	0,6	0	10,2	0,28	0,09	0,01	0	0,42	0,10	0,52	1,0

## **Анализ многолетней динамики нитритов и фосфатов в бассейне реки Днепр в пределах Республики Беларусь**

Ивашко Е.А., Волчек А.А., Таврыкина О.М.

*Республиканское унитарное предприятие «Центральный научно-исследовательский институт комплексного использования водных ресурсов», г. Минск, Республика Беларусь, ivashkoegal@gmail.com*

**Резюме.** Рассматривается концентрация нитрит- и фосфат-ионов в поверхностных водах бассейна реки Днепр. Отражена многолетняя динамика содержания нитритов и фосфатов за период 1991–2021 гг. Отмечается снижение концентраций ионов, начиная с 2010 года.

### **Analysis of long-term dynamics of nitrites and phosphates in the Dnieper River basin within the Republic of Belarus**

Ivashko E., Volchek A., Tavrykina O.

**Summary.** The concentration of nitrite and phosphate ions in the surface waters of the Dnieper River basin is considered. The long-term dynamics of the content of nitrites and phosphates for the period 1991–2021 is reflected. There has been a decrease in ion concentrations since 2010.

Одним из наиболее актуальных вопросов в сфере экологического состояния поверхностных водных объектов является их антропогенное загрязнение. Антропогенное загрязнение поверхностных вод наносит существенный ущерб экосистеме водного объекта, последствия которого непосредственно сказываются на здоровье, экономическом развитии и продовольственной безопасности страны.

Основную нагрузку на водные объекты республики оказывают биогенные элементы – азот и фосфор. В наших исследованиях был проведен анализ по изменению содержания минеральных форм азота и фосфора – нитрит- и фосфат-ионов. Содержание нитритов и фосфатов является важным санитарным показателем, указывающим на загрязнение водного объекта. Повышение концентрации нитрит-ионов указывает на свежее загрязнение, избыточное содержание фосфатов может быть отражением присутствия в водном объекте примесей удобрений, компонентов хозяйственно-бытовых сточных вод, разлагающейся биомассы и т. д. [1, 2].

В случае отсутствия антропогенного загрязнения сезонные колебания содержания нитритов характеризуются отсутствием их зимой и появлением весной при разложении органического вещества. Наибольшая концентрация нитритов наблюдается в конце лета, их присутствие связано с активностью фитопланктона (установлена способность диатомовых и зеленых водорослей восстанавливать нитраты до нитритов). Осенью содержание нитритов уменьшается. Одной из особенностей распределения нитритов по глубине водного объекта являются хорошо выраженные максимумы, обычно вблизи нижней границы термоклина и в гипolimнионе, где концентрация кислорода снижается наиболее резко [1].

Минимальные концентрации фосфатов в поверхностных водах наблюдаются обычно весной и летом, максимальные – осенью и зимой. Чрезмерное поступление фосфора в окружающую среду вызывает цветение водорослей, которое влияет не только на органолептические свойства воды, но и сильно ухудшает кислородный режим водного объекта после массового их отмирания [1].

Река Днепр – крупнейший трансграничный водоток, протекающий по территориям трех стран: Российской Федерации, Республики Беларусь и Украины. Длина реки на всем протяжении составляет 2201 км, в пределах Беларуси – 700 км. Площадь водосборной территории в пределах страны – 63,7 тыс. км<sup>2</sup>. Среднегодовой расход воды у границы с Украиной – 11,1 км<sup>3</sup>/год. Уклон реки – 0,09 м/км. Густота речной сети бассейна Днепра на территории Беларуси 0,39 км/км<sup>2</sup> [3, 4, 5, 6].

Воды бассейна Днепра в пределах Республики Беларусь относятся к гидрокарбонатно-кальциевому классу, с умеренной жесткостью, повышенной и средней минерализацией. Антропогенная нагрузка на экосистему р. Днепр в пределах страны формируется под воздействием предприятий жилищно-коммунального хозяйства, машиностроительной,



металлообрабатывающей, химической, топливно-энергетической, деревообрабатывающей, легкой промышленности и сельскохозяйственного производства [4, 5].

С целью организации рационального использования и сохранения водной среды, в том числе и реки Днепр в пределах Республики Беларусь, начиная с 1993 года создана Национальная система мониторинга окружающей среды (НСМОС) [7].

Цель работы – оценка многолетней динамики нитритов и фосфатов в воде бассейна реки Днепра за период 1991–2021 гг.

Для проведения анализа динамики нитритов и фосфатов использовались многолетние данные по химическому составу водных объектов, собранные ГУ «Республиканский центр по гидрометеорологии, контролю радиоактивного загрязнения и мониторингу окружающей среды» и издания Государственного водного кадастра (ГВК), составленные РУП «Центральный научно-исследовательский институт комплексного использования водных ресурсов».

При оценке динамики нитрит- и фосфат-ионов в расчет брался период 1991–2021 гг. Данные для оценки брались по 13 репрезентативным постам, расположенным на водотоках бассейна Днепра: Днепр (Орша, Могилев, Жлобин, Речица, Лоев), Березина (Борисов, Бобруйск), Сож (Кричев, Славгород, Гомель) и Свислочь (Хмелевка, Минск, Королищевичи). Расположение постов наблюдений представлено на рис. 1. Периодичность проведения наблюдений по гидрохимическим показателям на представленных створах – семь раз в год в периоды основных гидрологических фаз поверхностного водного объекта.

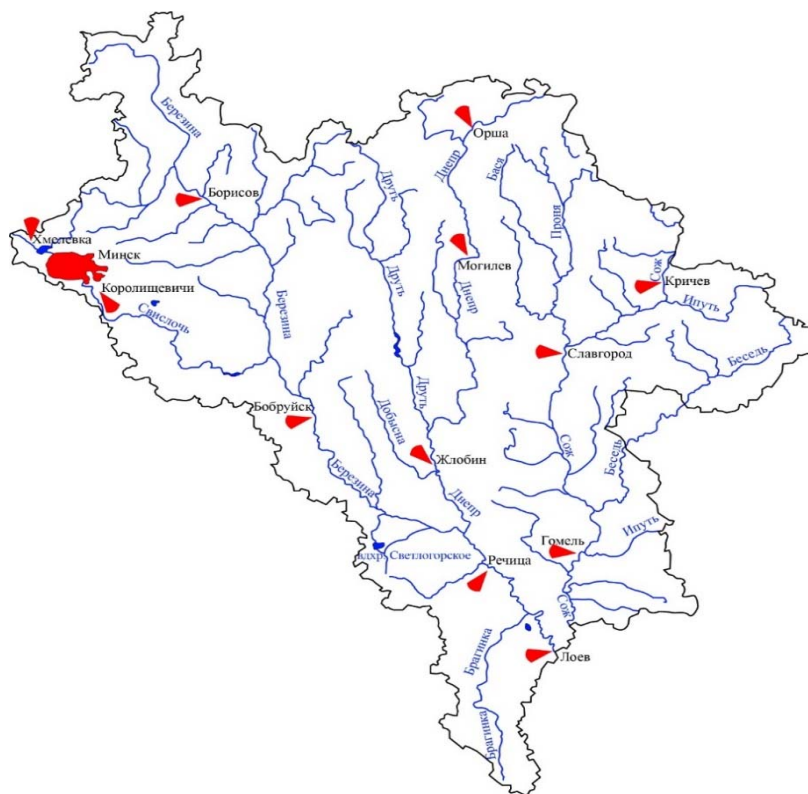


Рисунок 1 – Гидрографическая схема бассейна Днепра со створами регулярных наблюдений

Для анализа многолетней динамики были рассчитаны среднегодовые значения концентраций нитрит- и фосфат-ионов в воде бассейна Днепра (рис. 2). Результаты анализа многолетних данных по гидрохимическому составу вод бассейна Днепр показали, что содержание нитрит-ионов изменялось от 0,018 до 0,029 мгN/л, содержание фосфат-ионов – от 0,062 до 0,08 мгP/л, наблюдается постепенное снижение содержания нитритов и фосфатов в пробах, отобранных согласно системе мониторинга.

Максимальные значения концентрации нитрит-ионов наблюдались в весенний период и составили от 0,025 до 0,034 мгN/л. В это время обычно происходит активное разложение органического вещества в воде, начинается интенсивное внесение минеральных удобрений и эксплуатация пастбищ. Минимальные концентрации нитрит-ионов отмечались в период с

июля по сентябрь и составили от 0,011 до 0,024 мгN/л, во время наиболее интенсивного эвтрофирования. Наибольшая среднегодовая концентрация нитрит-ионов в Днепре отмечалась в 1997 году – 0,029 мгN/л, наименьшая – 0,018 мгN/л в 2019 году.

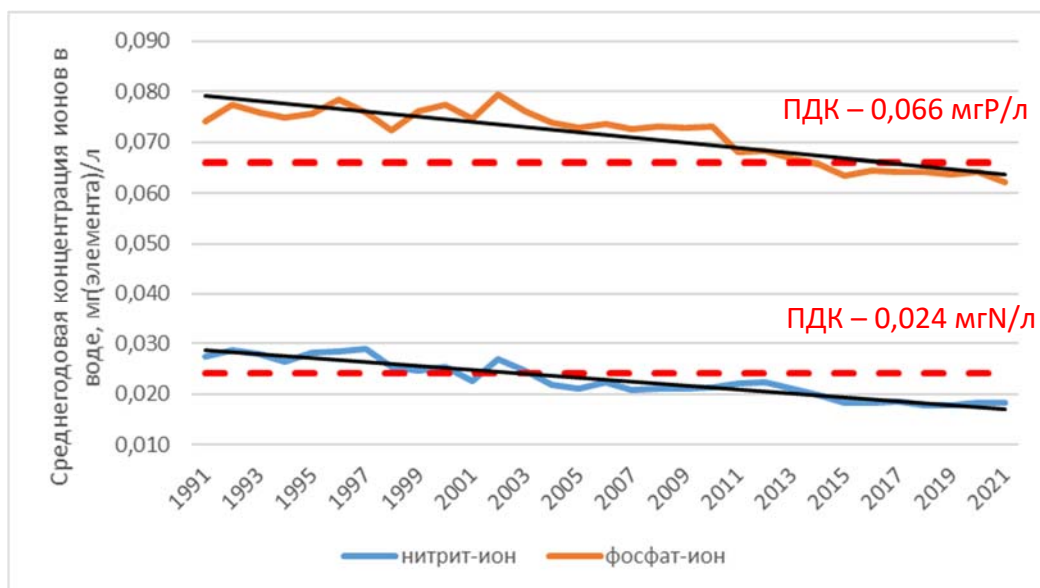


Рисунок 2 – Динамика ионов в бассейне Днепра за период 1991–2021 гг.

Для фосфат-ионов минимальные концентрации отмечались, как правило, в конце апреля – начале июня, содержание иона варьировало от 0,061 до 0,065 мгP/л. Максимальные концентрации фосфат-иона, составившие от 0,065 до 0,095 мгP/л, наблюдались в различные периоды года, при этом четкой закономерности выявлено не было. Наибольшая среднегодовая концентрация фосфат-ионов отмечалась в 2003 году – 0,080 мгP/л, наименьшая – 0,063 мгP/л в 2015 и 2021 гг. Также следует отметить, что максимальные и минимальные концентрации фосфат-ионов во всех створах наблюдений отличались по годам, что связано в том числе с водностью года.

При анализе концентрации ионов на соответствие ПДК в поверхностных водах выявлено, что содержание нитрит-ионов в воде бассейна Днепра до 2004 года превышало предельно допустимые концентрации в 1,05–1,20 раза (ПДК – 0,024 мгN/л). Для фосфат-ионов превышение ПДК (0,066 мгP/л) отмечалось вплоть до 2014 года, оно составило 1,03–1,21 раза.

По итогу работы были получены следующие результаты:

1) Максимальные среднегодовые значения концентраций нитрит- и фосфат-ионов отмечались в 1997 году – 0,029 мгN/л и 2003 году – 0,080 мгP/л соответственно. Минимальные значения отмечались в 2019 году для нитрит-ионов – 0,018 мгN/л и в 2015, 2021 годах для фосфат-ионов – 0,063 мгP/л.

2) Превышение нормы ПДК отмечалось до 2004 года для нитритов (1,05–1,20 ПДК), для фосфатов – до 2014 года (1,03–1,21 ПДК).

3) В последние годы отмечается заметное снижение концентраций нитрит- и фосфат-ионов в воде бассейна Днепра на всем протяжении водотока.

#### Список литературных источников

1. Логинова, Е. В. Гидроэкология : курс лекций / Е. В. Логинова, П. С. Лопух. – Минск : БГУ, 2011. – 300 с.
2. Никаноров, А. М. Фундаментальные и прикладные проблемы гидрохимии и гидроэкологии : учебное пособие / А. М. Никаноров. – Ростов н/Дону : Изд-во ЮФУ, 2015. – 572 с.
3. Блакітная кніга Беларусі : энцыкл. / Беларус. Энцыкл. ; рэдкал.: Н. А. Дзісько [і інш.]. – Мінск : БелЭн, 1994. – 415 с.
4. Состояние системы контроля качества поверхностных вод в Республике Беларусь / Д. Л. Иванов // М-лы Межд. науч.-практ. конференции молодых ученых «Молодежь и инновации – 2020». – Горки, 2020. – С. 86–91.
5. Поддубная, О. В. Гидрохимия. Учебно-методический комплекс : учебно-методическое пособие / О. В. Поддубная [и др.]. – Горки : БГСХА, 2015. – 122 с.

6. Реестр водных объектов Республики Беларусь [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://195.50.7.216:8081/watres/makelist/>. – Дата доступа: 20.02.2023.

7. Национальная система мониторинга окружающей среды [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.nsmos.by/content/150.html>. – Дата доступа: 20.02.2023.

8. Кольмакова, Е. Г. Антропогенные изменения стока растворенных веществ рек бассейна Немана / Е. Г. Кольмакова. – Минск : БГУ, 2009. – 123 с.

### **Результаты инвентаризации водохозяйственных систем и отдельно расположенных гидротехнических сооружений на водоемах и естественных водотоках**

Таврыкина О.М., Бладыко В.Д., Макусъ А.З.

*Республиканское унитарное предприятие «Центральный научно-исследовательский институт комплексного использования водных ресурсов», г. Минск, Республика Беларусь, tavyrykina@cricuwr.by*

**Резюме.** В статье описаны результаты проведенного в РУП «ЦНИИКИВР» первого этапа инвентаризации водохозяйственных систем и отдельно расположенных гидротехнических сооружений и устройств на естественных водотоках и их канализованных участках, в том числе с применением которых связана эксплуатация прудов и водохранилищ, за исключением сооружений, расположенных на мелиоративных системах Республики Беларусь.

### **Results of an inventory of water management systems and separately located hydraulic structures located hydro-engineering facilities on water bodies and natural water courses**

Tavyrykina O., Bladyko V., Makus A.

**Summary.** The article describes the results of the first stage of the inventory of water management systems and separately located hydraulic structures and devices on natural watercourses and their sewer sections, including the use of which is associated with the operation of ponds and reservoirs, with the exception of structures located on the reclamation systems of the Republic of Belarus carried out at RUE «Central Research Institute for Complex Use of Water Resources».

Гидротехнические сооружения (далее – ГТС) и устройства – инженерные сооружения и устройства, предназначенные для добычи (изъятия), транспортировки, обработки вод, сброса сточных вод, регулирования водных потоков, нужд судоходства, охраны вод и предотвращения вредного воздействия [1].

Устройства ГТС оказывают прямое и косвенное влияние на окружающую среду, к которой относятся природная (режимы водотока, элементы атмосферы, литосферы и биосферы) и антропогенная (хозяйственная деятельность, социальная среда) составляющие.

В соответствии с требованиями Водного кодекса Республики Беларусь эксплуатация отдельно расположенных ГТС осуществляется на основании проектной документации и в соответствии с инструкциями по их эксплуатации, которые разрабатываются и утверждаются собственниками этих систем, сооружений и устройств или уполномоченными ими лицами, которыми также осуществляется поддержание сооружений в надлежащем состоянии [1].

ГТС, как и другие техногенные объекты, для правильного функционирования требуют постоянно контроля и поддержания в проектом состоянии, иначе возникает вероятность их интенсивного засорения, заиления, в результате чего возникает негативное влияние на связанные с данными сооружениями системы природного и антропогенного происхождения. Например, вследствие обследования участка реки Исlochь специалистами РУП «ЦНИИКИВР» было обнаружено ГТС, содержащееся в ненадлежащем состоянии длительное время (рисунок 1), в результате подпора значительно изменился гидрологический режим водотока на данном участке – образовалось новое русло (рис. 2). Старый участок русла поддерживался небольшим стоком со стороны шлюза-регулятора по причине его протечки.





Рисунок 1 – Состояние шлюза-регулятора на реке Исlochь 29.07.2022 г.



Рисунок 2 – Место образования нового русла реки Исlochь

Большинство ГТС находятся на балансе организаций различных форм собственности, в то же время большое количество сооружений на водотоках и водоемах используются без определенного контроля, не имея необходимой документации, что приводит к негативному влиянию на поверхностный водный объект.

Собственники водохозяйственных систем (далее – ВХС) и отдельно расположенных ГТС, чьи сооружения и устройства не подлежат дальнейшему использованию, обязаны их ликвидировать. В случае невозможности установления собственника заброшенных и не подлежащих дальнейшему использованию гидротехнических сооружений и устройств, в том числе водозаборных сооружений, их ликвидация обеспечивается местными исполнительными и распорядительными органами.

В связи возникающими проблемами вследствие отсутствия правильного функционирования сооружений требовалось проведение инвентаризации ВХС и отдельно расположенных ГТС и устройств, предназначенных для регулирования водных потоков.

Инвентаризация ВХС и отдельно расположенных ГТС в административно-территориальном разрезе проводится РУП «ЦНИИКИВР» по заданию Минприроды в рамках Государственной программы «Охрана окружающей среды и устойчивое использование природных ресурсов» на 2021–2025 годы [2].

В 2022 году была проведена инвентаризация систем и отдельно расположенных ГТС в границах Гродненской и Минской областей.

В качестве исходных данных для определения первоначального перечня ГТС были использованы: характеристика ГТС информационной системы государственного водного кадастра; доступные данные дистанционного зондирования Земли и космоснимки; материалы инвентаризации мелиоративных систем Республики Беларусь 2014 года, выполненной

Государственным объединением по мелиорации земель, водному и рыбному хозяйству «Белводхоз» Министерства сельского хозяйства и продовольствия Республики Беларусь.

При проведении работ, связанных со сбором, обработкой и анализом информации о ГТС предварительный перечень составлял 1222 сооружения, среди которых 587 расположено в границе Гродненской области и 635 – Минской области.

При анализе исходных данных наблюдались несоответствия между различными источниками информации:

- сооружения имелись в инвентаризации мелиоративных систем, но отсутствовали в перечне гидротехнических сооружений и устройств государственного водного кадастра;

- сооружения имелись в перечне государственного водного кадастра, но отсутствовали в инвентаризации мелиоративных систем;

- сооружения отсутствовали в инвентаризации мелиоративных систем, перечне государственного водного кадастра, но имелись по данным космоснимков или материалам дистанционного зондирования Земли;

- несоответствие данных по типу сооружения согласно перечню государственного водного кадастра, инвентаризации мелиоративных систем и космоснимкам.

Такие сооружения проверялись во время экспедиционных исследований с уточнением их типа и расположения в исследуемой точке.

После проведения инвентаризации перечень ГТС составил 1294 сооружения, среди которых 610 расположено в границе Гродненской области и 684 – в Минской области (рис. 3).



Рисунок 3 – Карта-схема расположения ГТС на водотоках и водоемах в границах Гродненской и Минской областей

Основными сооружениями, составляющими финальный перечень, являются:

- регулирующие сооружения (шлюз-регулятор, труба-регулятор) – 1170 (561 в Гродненской области, 609 в Минской области);

- водосбросные сооружения – 112 (43 в Гродненской области, 69 в Минской области);

- водоспускные сооружения – 1 в Гродненской области;

- ГЭС (в том числе МГЭС) – 11 (5 в Гродненской области, 6 в Минской области).

В результате экспедиционных исследований было обследовано 575 объектов в границах обеих областей, среди них у 30 % был уточнен тип ГТС, у 60 % – точное местоположение, 10 % обследованных исключено из перечня, так как местоположение данных сооружений не подтвердилось.

Полученные результаты были использованы для разработки и наполнения электронной базы данных по ГТС, расположенной в разделе информационной системы «Характеристика гидротехнических сооружений и устройств» государственного водного кадастра [3].

В электронной базе указываются: наименование ГТС; учетный номер ГТС (индивидуален для каждой ВХС и ГТС, относительно этого номера производится привязка данного сооружения к месту его расположения); водный объект, на котором расположено сооружение (содержит тип водного объекта и его название согласно существующей инвентаризации водных объектов, разработанной РУП «ЦНИИКИВР»); местоположение

(район и населенный пункт, вблизи или в котором расположено сооружение); координаты расположения; назначение ВХС и ГТС; сведения о собственности ГТС и наличие инструкции по эксплуатации, сведения о дате ее утверждения, исходя из Государственного водного кадастра; фактическое состояние (рабочее/не рабочее).

Разработанная база данных позволяет обобщить данные о ГТС и ВХС пользовательским запросом с возможностью актуализации информации, благодаря чему в дальнейшем возможно отслеживать степень износа ГТС, определять его собственника и выявлять заброшенные и не подлежащие эксплуатации сооружения с целью снижения негативного влияния вод на околотоводные естественные и искусственные системы.

#### Список литературных источников

1. Водный кодекс Республики Беларусь [Электронный ресурс] : 30 апреля 2014 № 149-З : принят Палатой представителей 2 апреля 2014 г. : одобр. Советом Респ. 11 апреля 2014 г. // ЭТАЛОН. Законодательство Республики Беларусь / Нац. центр правовой информ Респ. Беларусь, 2018. – Дата доступа: 10.02.2023.

2. Государственная программа «Охрана окружающей среды и устойчивое использование природных ресурсов» на 2021–2025 гг. : утв. постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 19 февраля 2021 г. № 99.

3. Официальный сайт РУП «Центральный научно-исследовательский институт комплексного использования водных ресурсов» [Электронный ресурс] / Республиканское унитарное предприятие «Центральный научно-исследовательский институт комплексного использования водных ресурсов» (ЦНИИКИВР). – Режим доступа: <http://www.cricuwr.by>. – Дата доступа: 10.02.2023.

### Современные подходы к оценке твердого стока рек

Шмакова М.В.

*ИНОЗ РАН – СПб ФИЦ РАН, Санкт-Петербург, Россия, m-shmakova@yandex.ru*

**Резюме.** Нередко алгоритмы расчета стока речных наносов в различных приложениях (расходов взвешенных, влекомых наносов, транспортирующей способности потока) получены для разных типов рек, имеют эмпирическую или полуэмпирическую основу и не связаны между собой. В ИНОЗ РАН разработана система взаимосвязанных методов и моделей, имеющих единую концептуальную основу, для расчета гидравлических переменных состояния двухфазного потока для разных пространственно-временных масштабов.

### Modern approaches to the assessment of solid river runoff

Shmakova M.

**Summary.** Often, algorithms for calculating river sediment flow in various applications (suspended and bedload discharges, flow transport capacity) are derived for different types of rivers, have an empirical or semi-empirical basis and are not linked to each other. Institute of Limnology RAS has developed a system of interconnected methods and models with a common conceptual framework for calculating hydraulic variables of two-phase flow state for different spatial and temporal scales.

В настоящее время существует большое количество формул для расчета расхода взвешенных и влекомых наносов, общего расхода наносов, транспортирующей способности потока. При этом высокий порядок степени аргументов в формулах транспорта наносов в речном потоке приводит к большой ошибке вычислений. Также, одной из значимых ошибок расчета по таким формулам является использование в качестве аргумента квантиля крупности донных отложений, который отличается большой изменчивостью в русле реки. Для объективной оценки значения этой величины требуется отбор проб донного грунта всего поперечного сечения водотока, что в ряде случаев не представляется возможным. Известные формулы расчета расхода наносов не учитывают взаимосвязанное влияние гидравлики потока и переносимых им твердых частиц. Также вопрос задания параметров трения на твердой

границе речного потока, несмотря на многолетние исследования этого процесса, остается до сих пор недостаточно изучен.

Известные проблемы в точность вычислений привносят и алгоритмы расчета транспорта наносов, разработанные отдельно для взвешенной и влекомой форм перемещения твердой фазы в речном потоке. Движение наносов обусловлено лишь энергией потока и крупностью транспортируемых частиц. Речной поток характеризуется транспортирующим потенциалом, в соответствии с которым определяется и количество (масса) перемещаемых частиц. И в зависимости от гранулометрического состава транспортируемого материала часть наносов поднимается в водной толще и переносится водным телом потока, а часть волочится и перекатывается по дну. Причем соотношение взвешенной и влекомой форм транспорта крайне изменчиво. Оно зависит от гидродинамического режима потока и поступления твердого вещества извне (например, со стороны водосбора или в результате отвала грунта в русле реки). Гидродинамический режим потока в свою очередь определяется неравномерностью русла, изменчивостью уклона и крупностью донных отложений, а также расходом воды и наносов верхнего створа.

Создание способа расчета общего расхода наносов, построенного на балансе сил, действующих в двухфазном речном потоке, позволит учесть взаимосвязанное влияние гидравлически переменных состояния потока и переносимое потоком твердое вещество. При этом основной камень преткновения речной гидравлики – взаимодействие движущегося потока и дна, следует рассматривать не со стороны пограничного слоя жидкости, а со стороны донных отложений, их хорошо изученных в грунтоведении свойств. Задание крупности донных отложений посредством их качественной характеристики (категориями, которые включают в себя широкие диапазоны изменения крупности) позволяет уйти от ошибок расчета, возникающих при использовании конкретных значений квантилей донных отложений. В институте Озероведения РАН разработана методология решения геоэкологических задач, связанных с оценкой твердого стока водных объектов [5]. Методология представлена принципами исследования (взаимосопряжение и взаимоопределение твердого стока и гидравлических переменных состояния потока) и основанным на них комплексом следующих методов и моделей – математическая модель движения воды и твердого вещества; аналитическая формула расхода наносов и основанные на ней формулы транспортирующей способности потока, расхода взвешенных и влекомых наносов; двумерная модель гидродинамики и транспорта наносов в мелководном водоеме; стохастическая модель годового твердого стока. Формулы обеспечиваются данными стандартных гидрометрических наблюдений, имеют простую структуру и физически обоснованные параметры. Интеграция этих формул в гидродинамические модели водоемов предоставляет возможность получать поля распространения мутности воды и расхода наносов в том числе и при допущении о максимальной нагрузке водного потока взвешенными веществами, например, при дноуглубительных работах.

Концепция фазового гидравлического пространства (или пространства состояний гидравлических переменных двухфазного речного потока) подробно рассмотрена в [5]. В основе этой концепции лежит соотношение средней глубины и скорости потока в пределах одного расхода воды (рис. 1). Каждому сочетанию глубины и скорости соответствует расход наносов  $G = [0; G_{\max}]$ , где  $G_{\max}$  – максимально возможное количество наносов, переносимое данным расходом воды за единицу времени или транспортирующая способность потока. При  $G = 0$  поток будет осветленным и его скорость будет минимальной, а глубина возрастет.  $G = [0; G_{\max}]$ , где  $G_{\max}$  – максимально возможное количество наносов, переносимое данным расходом воды за единицу времени или транспортирующая способность потока. При  $G = 0$  поток будет осветленным и его скорость будет минимальной, а глубина возрастет. При  $G = G_{\max}$  скорость возрастет, а глубина потока уменьшится [7, 8].

Фазовое гидравлическое пространство характеризуется морфометрией русла и характером подстилающей поверхности, а транспортирующий потенциал потока определяется в соответствии с количеством поступившего в поток твердого вещества. Вид функции, аппроксимирующей фазовое гидравлическое пространство, определяется формой



поперечного сечения, а сама функция представляет собой соотношение скорости и глубины для постоянного расхода воды в расчетном створе.

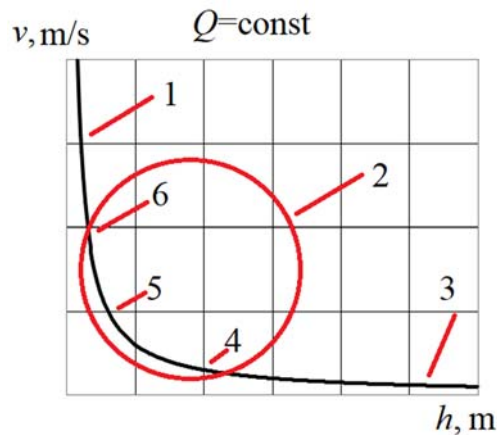


Рисунок 1 – Схематичное представление фазового гидравлического пространства для русла прямоугольной формы (1 – область максимально возможной нагрузки на поток; 2 – область физически возможных значений; 3 – осветленный поток; 4 – неразмывающая скорость (начало движения взвешенных частиц); 5 – срывающая скорость (движение взвешенных и влекомых наносов); 6 – незаиляющая скорость)

В пределах возможного диапазона изменения своих значений при заданном расходе воды, скорость потока может соответствовать критическим значениям, которые определяют условия транспорта наносов и изменения отметок дна. Например, для двухфазного речного потока выделяют следующие критические скорости [2]: неразмывающая скорость (предельная скорость, при которой основная часть донного грунта находится в состоянии покоя); срывающая скорость (начало массового передвижения частиц); незаиляющая скорость (предельная скорость, при которой частицы остаются во взвешенном состоянии).

Очевидно, что область осветленного потока будет характеризоваться нижним пределом неразмывающей скорости, тогда как область максимальной взвесенесущей нагрузки на поток – незаиляющей скоростью. При этом полагается, что начало движения частиц в речном потоке преимущественно сальтацией и во взвешенной форме соответствует скорости, находящейся в диапазоне между неразмывающей и срывающей скоростями. Последнее можно объяснить тем, что при падении транспортирующего потенциала речного потока при перемещении разнофракционных наносов первыми откладываются на дно частицы наибольшей крупности. Верхний же слой отложившихся наносов будет представлен тонкодисперсными фракциями. Тогда при увеличении транспортирующего потенциала первым в движение придет верхний слой донных отложений, представленных частицами наименьшего размера. В подтверждение последнему рассмотрим выражения, полученные для критических скоростей начала движения влечением  $v_{cr\ bed}$  и взвешиванием  $v_{cr\ suspend}$  [6].

$$v_{cr\ bed} = 5.75 \lg \left( 2 \frac{h}{d_{50}} \right) \sqrt{\theta_{cr\ bed} \left( \frac{\rho_s}{\rho_w} - 1 \right) g d_{50}},$$

$$v_{cr\ suspend} = 5.75 \lg \left( \frac{12h}{6d_{50}} \right) \sqrt{\theta_{cr\ suspend} \left( \frac{\rho_s}{\rho_w} - 1 \right) g d_{50}},$$

$$\theta_{cr\ bed} = \frac{0.3}{1 + 1.2D^*} + 0.055 \left( 1 - \exp[-0.02D^*] \right),$$

$$\theta_{cr\ suspend} = \frac{0.3}{1 + D^*} + 0.1 \left( 1 - \exp[-0.05D^*] \right),$$

$$D^* = d_{50} \left( g \frac{\rho_s / \rho_w - 1}{v^2} \right)^{1/3},$$

где  $d_{50}$  – диаметр частиц, обеспеченностью 50 %, м;  $g$  – ускорение свободного падения, м/с<sup>2</sup>;  $\nu$  – коэффициент кинематической вязкости, м<sup>2</sup>/с;  $\rho_s$  и  $\rho_w$  – плотности грунта и воды соответственно, кг/м<sup>3</sup>;  $h$  – средняя глубина потока, м.



Из этих соотношений следует, что движение взвешенных частиц, крупность которых менее 30 % общей крупности частиц, перемещающихся влечением, определяется меньшим значением критической скорости. В условиях большого гранулометрического разнообразия минеральных частиц, находящихся в речном русле, это означает, что начало движения наносов придется на взвешенную форму. При этом, имеет место следующее соотношение критических скоростей потока и характера транспорта разнофракционных наносов:  $v_1$  – скорость, меньшая минимальной неразмывающей скорости (движения наносов нет  $G = 0$ );  $v_2$  – неразмывающая скорость (начало движения взвешенных наносов  $G_{\text{suspend}}$ );  $v_3$  – срывающая скорость (начало движения влекомых и взвешенных наносов  $G_{\text{suspend+bedload}}$ );  $v_4$  – незаиляющая скорость (транспортирующая способность потока  $G_{\text{max}}$ ).

Рассмотрим вывод формул расхода взвешенных и влекомых наносов и транспортирующей способности потока. Аналитическая формула общего расхода наносов имеет вид

$$G = \frac{\rho_s}{\rho_s - \rho_w} Q \left[ \frac{c}{hg} - (1-f)I\rho_w \right]. \quad (1)$$

где  $\rho_s$  и  $\rho_w$  – плотности грунта и воды соответственно, кг/м<sup>3</sup>;  $Q$  – расход воды, м<sup>3</sup>/с;  $f$  – коэффициент внутреннего трения, б/р;  $c$  – параметр сцепления частиц грунта при сдвиге, кг/(м·с<sup>2</sup>);  $g$  – ускорение свободного падения, м/с<sup>2</sup>;  $I$  – уклон дна, б/р;  $h$  – средняя глубина потока, м.

Эта формула является следствием основного уравнения движения воды и твердого вещества в речном потоке [5], которое основано на балансе сил, действующих в системе «водный поток – донные отложения – наносы» на движущуюся частицу наносов. Параметры  $f$  и  $c$  формулы (1) зависят от фазы водности водотока и крупности донных отложений. Исходя из концепции фазового гидравлического пространства полагаем транспортирующую способность потока  $G_{\text{max}}$  равной расходу наносов при максимальном значении скорости потока (и минимальной глубине). Процедура выведения формулы транспортирующей способности потока и ее апробация приведены в [5]. Формула основана на аналитической формуле расхода наносов [5], формуле сопротивления грунта сдвигу [1] и формуле граничной скорости осаждения частиц в потоке воды [3] и имеет вид

$$G_{\text{max}} = \frac{\rho_s}{\rho_s - \rho_w} Q \left[ \frac{c}{g \sqrt[3]{2 \frac{\rho_s - \rho_w}{\rho_s} \frac{Q^2}{B^2 g}}} - (1-f)I\rho_w \right]. \quad (2)$$

Начало взвешивания наносов сопряжено с превышением средней скорости потока над неразмывающей скоростью. Полученная на основании многочисленных исследований формула неразмывающей скорости потока  $v_{cr}$  имеет вид [4]

$$v_{cr} = 1.15 \sqrt{g} (h_{cr} d)^{0.25}. \quad (3)$$

Выразив из выражения (3) глубину и подставив полученное выражение в формулу общего расхода наносов (1) и получаем формулу для расхода взвешенных наносов  $G_{\text{suspend}}$

$$G_{\text{suspend}} = \frac{\rho_s}{\rho_s - \rho_w} Q \left( 1.15^4 \frac{c g d}{v^4} - (1-f)I\rho_w \right). \quad (4)$$

где  $v$  – скорость потока, м/с;  $d$  – средний диаметр частиц, м;  $B$  – ширина потока, м.

Исходя из того, что общий расход наносов представляет сумму расходов взвешенных и влекомых наносов, получим выражение для расхода влекомых наносов  $G_{\text{bedload}}$

$$G_{\text{bedload}} = \frac{\rho_s}{\rho_s - \rho_w} Q c \left( \frac{1}{gh} - 1.15^4 \frac{gd}{v^4} \right). \quad (5)$$

Таким образом, все полученные формулы расхода взвешенных и влекомых наносов и транспортирующей способности потока основаны на уравнении движения воды и твердого вещества, концепции фазового гидравлического пространства и соотношений, описывающих критические состояния потока. Все приведенные выше формулы были апробированы на водотоках разной физико-географической принадлежности и показали хорошие результаты.

Существующие методы расчета транспорта наносов не всегда являются универсальными и подходят для потоков любого масштаба и разных гидравлических условий. При этом

процесс транспорта наносов в любой форме (взвешенной или влекомой) и любой степени насыщения твердой фазой потока (от осветленной до транспортирующей способности) един для всех типов русел для любого периода водности. В основе этого процесса лежит мощность речного потока, определяющая количество транспортируемого твердого вещества. В соответствии с этим, алгоритмы оценки расхода наносов любой формы должны явиться следствием теоретических уравнений, описывающих гидродинамику двухфазного речного потока. Это означает, что эти алгоритмы (расчетные формулы) должны быть полностью взаимосвязаны между собой, вытекать один из другого. А структура формул транспорта наносов должна быть полностью скоординирована с возможностями измерительной базы. В частности, крайне изменчивая в поперечном сечении потока величина средней крупности донных отложений или ее квантильные значения заданной обеспеченности снижают точность вычислений. Более удобно в этом случае оперировать интегральными характеристиками русла, такими как категории крупности донных отложений. Приведенные в данной работе алгоритмы в целом позволяют избежать обозначенных выше недостатков и повысить точность расчетов расхода наносов для разных типов рек.

Работа выполнена при финансовом обеспечении за счет средств федерального бюджета в рамках темы FFZF-2024-0001.

#### Список литературных источников

1. Грунтоведение и механика грунтов / Бабков В. Ф. [и др.]. – М. : Дориздат, 1950. – 334 с.
2. Карасев, И. Ф. Руслые процессы при переброске стока / И. Ф. Карасев. – Л. : Гидрометеоздат, 1975. – 288 с.
3. Лямаев, Б. Ф. Гидроструйные насосы и установки / Б. Ф. Лямаев. – Л. : Машиностроение, 1988. – 256 с.
4. Студеничников, Б. И. Размывающая способность потока и методы русловых расчетов / Б. И. Студеничников. – М. : Госстройиздат, 1964. – 183 с.
5. Shmakova, M. Sediment Transport in River Flows: New Approaches and Formulas / M. Shmakova // Sediment Transport / ed. by Davide Pasquali. – London : IntechOpen, 2022. – DOI: 10.5772/intechopen.103942.
6. Soulsby, R. Dynamics of marine sands. Thomas Telford / Soulsby R. – UK, 1997.
7. Vanoni, V. A. Sediment transportation mechanics: suspension of sediment / V. A. Vanoni // J. Hydr. Div. Proc. Am. Soc. Civ. Engrs. 89. – 1963.
8. Vanoni, V. A. Fifty years of sedimentation / V. A. Vanoni // J. Hydraul. Eng. – 1980. – № 110 (8).

## **СЕКЦИЯ 2**

**Мониторинг поверхностных  
и подземных вод. Государственный  
водный кадастр.**

**Чрезвычайные ситуации на водных  
объектах. Моделирование**

## Новая форма государственной статистической отчетности 1-вода (Минприроды)

Русина А.О.

*Республиканское унитарное предприятие «Центральный научно-исследовательский институт комплексного использования водных ресурсов», г. Минск, Республика Беларусь,  
otgwk@cricuwr.by*

**Резюме.** Приводится краткое описание новой формы 1-вода (Минприроды), срок и порядок её заполнения, перечень отчитывающихся респондентов (водопользователей), исходные данные для заполнения формы 1-вода (Минприроды) и внесение исправлений в первичные статистические данные.

### **New form of state statistical reporting 1-Water (Ministry of Natural Resources)**

Rusina A.

**Summary.** A brief description of the new Form 1-Water (Ministry of Natural Resources), the term and procedure for filling it out, a list of reporting respondents (water users), initial data for filling out Form 1-Water (Ministry of Natural Resources) and making corrections to primary statistics.

01.01.2023 вступило в силу постановление Национального статистического комитета Республики Беларусь от 28.11.2022 № 125, которым утверждены новая форма государственной статистической отчетности 1-вода (Минприроды) «Отчет об использовании вод» (далее – форма 1-вода) и указания по ее заполнению [1]. Меняется также порядок представления отчетности.

Ранее респонденты представляли форму государственной статистической отчетности на бумажном носителе областным и городскому комитетам природных ресурсов и охраны окружающей среды, а далее комитеты направляли бумажные отчеты в республиканское унитарное предприятие «Центральный научно-исследовательский институт комплексного использования водных ресурсов» (далее – РУП «ЦНИИКИВР»).

С 2023 года отчет по форме 1-вода представляется в виде электронного документа с использованием специализированного программного обеспечения, которое размещается вместе с необходимыми инструктивными материалами по его развертыванию и использованию на официальном сайте Национального статистического комитета в глобальной компьютерной сети Интернет <http://www.belstat.gov.by> в разделе «Электронный респондент».

Для работы с веб-порталом Белстата необходимо использовать браузер Internet Explorer версии 11. Перед началом работы рабочее место респондента настраивается согласно «Требованиям к рабочему месту респондента», разработанным и размещенным Белстатом в разделе «Электронный респондент».

Заполнение формы 1-вода осуществляется с использованием сертификата открытого ключа, изданного в Государственной системе управления открытыми ключами проверки электронной цифровой подписи Республики Беларусь (далее – ГосСУОК). Без наличия средства электронно-цифровой подписи ГосСУОК функция доступа и заполнения формы 1-вода будет отсутствовать [2].

Срок представления отчета по форме 1-вода (Минприроды) – с 9 января по 10 февраля. Ранее отчет представлялся до 30 января.

Перечень респондентов относительно прошлых лет не изменился. Согласно п. 1 Указаний по заполнению формы 1-вода отчет представляют:

– юридические лица, обособленные подразделения юридических лиц, имеющие отдельный баланс (собственную ЭЦП) в структуре которых имеются подразделения, не имеющие отдельного баланса, расположенные на одной с ними территории (район области, город областного подчинения, город Минск), составляют отчет, включая данные по входящим в их структуру подразделениям (т.е. все данные вносятся в один отчет разными строками, но в комментариях указывается код ГВК (например, заправки).

– если у юридического лица есть структурные подразделения, не имеющие отдельного баланса, но они находятся на разных территориях, то заполняется количество отчетов, равное

количеству территорий нахождения структурного подразделения.

**Отчет не представляют:**

- садоводческие товарищества и дачные кооперативы;
- крестьянские (фермерские) хозяйства.

**Исходные данные для заполнения формы 1-вода (Минприроды)**

В соответствии с п. 7 Указаний по заполнению формы 1-вода отчет составляется по данным:

- журналов учета водопотребления и водоотведения с применением средств измерений расхода (объема) вод по форме ПОД-6;
- журналов учета водопотребления и водоотведения неинструментальными методами по форме ПОД-7;
- журналов учета сбросов загрязняющих веществ в составе сточных вод по форме ПОД-8;
- других установленных водопользователем форм учета вод.

Первичные учетные и иные документы заполняются в соответствии с требованиями экологических норм и правил ЭкоНиП 17.01.06-001-2017 «Охрана окружающей среды и природопользование. Требования экологической безопасности», утвержденных постановлением Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь от 18.07.2017 № 5-Т (в ред. от 21.09.2021) [2].

**Порядок заполнения формы 1-вода**

Отчет состоит из четырех разделов:

- раздел I «Водопотребление» (три таблицы);
- раздел II «Водоотведение (две таблицы)»;
- раздел III «Загрязняющие вещества в составе вод, сбрасываемых в поверхностные водные объекты» (две таблицы);
- раздел IV «Справочная информация» (одна таблица).

Данные отчета отражаются в тысячах кубических метров, тоннах – заполняются с тремя знаками после запятой; в кубических метрах в сутки, литрах в секунду – с двумя знаками после запятой; в гектарах – с одним знаком после запятой; в сутках, человеках, единицах – в целых числах.

**Порядок заполнения раздела I «Водопотребление»**

**Таблица 1 «Добыча (изъятие) вод и их использование»** заполняется водопользователями, которые добывают воду из собственных скважин или водозаборов, или изымают воду из поверхностных водных объектов.

**Таблица 2 «Получение вод и их использование»** заполняется водопользователями, которые получают воду из систем водоснабжения, водоотведения (канализации) других водопользователей, в том числе сточных вод в системы канализации населенных пунктов, а также в системах дождевой канализации, которых образуются поверхностные сточные воды.

В таблицах 1 и 2 отражается код источника водоснабжения<sup>1</sup>, категория качества воды, объем добычи (изъятия) и получения вод, их использование, расход вод в системах оборотного водоснабжения, объем вод в системах повторного (последовательного) водоснабжения, передача вод без использования, потери и безвозвратное водопотребление

**Таблица 3 «Транзит вод»** заполняется при осуществлении транзита вод (получения и последующей передачи) внутри системы водоснабжения одного водопользователя. В Республике Беларусь таким предприятием является только УП «Минскводоканал», поэтому данную таблицу заполняет только это юридическое лицо.

---

<sup>1</sup> С 2023 года каждый источник водоснабжения закодирован в соответствии с приказом Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды от 27.10.2022 № 333-ОД «Об организации предоставления первичных статистических данных в электронном виде» [3]. Код можно предварительно узнать в Справочнике водных объектов на сайте РУП «ЦНИИКИВР» в разделе «Государственная статотчетность 1-вода (Минприроды)» (<http://www.cricuwr.by/statvoda/>).

## **Порядок заполнения раздела II «Водоотведение»**

**Таблица 4 «Передача сточных вод в системы водоотведения (канализации)»** заполняется водопользователями, которые осуществляют передачу сточных вод после их использования на основании договоров на оказание услуг водоотведения

**Таблица 5 «Сброс вод в окружающую среду»** заполняется водопользователями, осуществляющими сброс вод в окружающую среду, в том числе в земляные накопители и (или) водонепроницаемые выгребы.

Сведения по каждому приемнику вод приводятся в отдельной строке.

Также в новой форме 1-вода каждый выпуск сточных вод и водоприемник, как и в случае с источником водоснабжения, закодирован. Код водоприемника сточных вод можно посмотреть на сайте РУП «ЦНИИКИВР» в разделе «Государственная статотчетность 1-вода (Минприроды)».

## **Порядок заполнения раздела III «Загрязняющие вещества в составе вод, сбрасываемых в поверхностные водные объекты»**

В разделе III отражается масса загрязняющих веществ в составе вод, сбрасываемых в поверхностные водные объекты, по показателям, установленным в разрешениях, а в случае аварий (инцидентов) в системах водоотведения – по показателям, указанным в протоколах проведения измерений в области охраны окружающей среды.

**В таблице 6 «Основные загрязняющие вещества в составе вод, сбрасываемых в поверхностные водные объекты»** отражаются основные загрязняющие вещества в составе вод, сбрасываемых в поверхностные водные объекты

**В таблице 7 «Иные загрязняющие вещества в составе вод, сбрасываемых в поверхностные водные объекты»** отражаются иные загрязняющие вещества в составе вод, сбрасываемых в поверхностные водные объекты». Алгоритм заполнения таблицы 7 идентичен алгоритму заполнения таблицы 6.

Среднегодовая концентрация загрязняющего вещества определяется на основании результатов отбора проб и проведения измерений в области охраны окружающей среды в рамках осуществления контроля в области охраны окружающей среды, рационального использования природных ресурсов и производственных наблюдений в указанной области, выполненных аккредитованными в соответствии с законодательством юридическими лицами и индивидуальными предпринимателями с использованием средств измерений и методик выполнения измерений, соответствующих требованиям законодательства об обеспечении единства измерений.

## **Порядок заполнения раздела IV «Справочная информация»**

В разделе IV отражается дополнительная информация по водопользователям.

### **Внесение исправлений в первичные статистические данные**

Исправления вносятся в первичные статистические данные по форме 1-вода за тот отчетный период, в котором были представлены недостоверные первичные статистические данные (за тот отчетный период, в котором были внесены исправления в первичные учетные и иные документы).

Исправления в первичные статистические данные вносятся за период, не превышающий двух лет.

### Список литературных источников

1. Постановление Национального статистического комитета Республики Беларусь от 28.11.2022 № 125 «Об утверждении формы государственной статистической отчетности 1-вода (Минприроды) «Отчет об использовании вод» и указаний по ее заполнению».
2. Указания по заполнению формы государственной статистической отчетности 1-вода (Минприроды) «Отчет об использовании вод».
3. Приказ Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды от 27.10.2022 № 333-ОД «Об организации предоставления первичных статистических данных в электронном виде».
4. 1-вода (Минприроды): форма и указания [Электронный ресурс] // Информационные ресурсы на сайте РУП «ЦНИИКИВР». – Режим доступа: <http://cricuwr.by/statvoda/>.

## Оценка экологических рисков при прорыве плотин водохранилищ

Булак И.А., Корнеев В.Н., Русина А.О.

Республиканское унитарное предприятие «Центральный научно-исследовательский институт комплексного использования водных ресурсов», г. Минск, Беларусь,  
omgwk@cricuwr.by

**Резюме.** Приводятся подходы к оценке и управлению экологическими рисками при прорыве плотин водохранилищ путем картирования опасности и рисков затоплений волной прорыва с разработкой мероприятий по предупреждению и минимизации негативных последствий затоплений.

### Assessment of environmental risks during reservoir dam breakes

Bulak I., Korneev V., Rusina A.

**Summary.** Approaches to assessment and management of environmental risks during reservoir dam breakes by mapping the hazard and risks of floods by a breakwater wave with the development of measures to prevent and minimize the negative effects of flooding are presented.

**Введение.** В Республике Беларусь насчитывается 84 водохранилища, имеющих плотины. Из указанного количества водохранилищ плотины некоторых могут представлять потенциальную опасность в случае их разрушения из-за последующего затопления в нижнем бьефе и негативного воздействия волны прорыва на территории, население и объекты, а также окружающую среду в нижнем бьефе водохранилищ.

Определение потенциально опасных водохранилищ с актуализацией морфометрической информации, проведением расчетов параметров волны прорыва и определением зон вероятного затопления и объектов, попадающих в эти зоны, при наихудшем гидрологическом сценарии, а также разработка мероприятий по минимизации рисков и негативных последствий затоплений, является актуальной задачей экологической безопасности.

Из общего количества 84 водохранилищ около 15 могут представлять максимальную опасность при возможном прорыве плотин и затоплении волной прорыва по совокупности причин: длительный период эксплуатации гидротехнических сооружений, значительный общего объема и напора водохранилища, местоположения населенных пунктов и в нижнем бьефе.

Комплекс научно-исследовательских работ по оценке экологических рисков при прорыве плотин водохранилищ включает в себя следующее:

- проведение полевых экспедиционных исследований;
- разработку цифровых моделей рельефа нижнего бьефа водохранилищ и прилегающих территорий;
- выполнение расчетов морфометрических и гидравлических параметров поперечных сечений вдоль движения волны прорыва;
- проведение гидравлических расчетов движения волны прорыва с определением характеристик режима стока, уровня и скоростного режимов;
- разработку карт опасностей, карт рисков затоплений и состава мероприятий по предотвращению и минимизации последствий прорыва плотин

В рамках выполнения задания ГНТП «Зеленые технологии ресурсопользования и экобезопасности» данный комплекс работ в 2022 году проведен для водохранилищ Селец, Погост, Локтыши (Брестская область), Бобруйковское, Княжеборское (Гомельская область).

В ходе экспедиционных исследований проведены гидрометрические измерения в характерных поперечных сечениях рек в нижних бьефах водохранилищ вдоль всего ориентировочного участка движения волны прорыва: на реках Ясельда, Бобрик, Лань в нижнем бьефе водохранилищ Селец, Погост, Локтыши (Брестская область); на реках Мытва и Млынок в нижнем бьефе водохранилищ Бобруйковское и Княжеборское. Результаты данных исследований позволят провести гидравлические расчеты движения волны прорыва с

использованием математических моделей водных объектов при образовании прорана в створах плотин с определением характеристик режима стока, уровенного и скоростного режимов. Для определения значений расходов воды на каждом из створов, ближайших к плотинам, были произведены измерения скоростного режима рек Ясельда, Бобрик, Лань.

Визуализация уровенного режима и картирование риска затоплений подразумевает на начальном этапе разработку цифровой модели рельефа местности в виде поверхности рельефа. Цифровая модель рельефа местности – средство цифрового представления рельефа изучаемой местности в виде трехмерных данных «х», «у», а также «z», как совокупность высотных отметок рельефа и иных значений координат z (отметок глубин) в узлах сети координат x и y. Для подготовки и определения координат поперечных сечений рельефа изучаемых участков рек в нижнем бьефе водохранилищ и актуальных характеристик землепользования использовано программное ГИС обеспечение с открытым кодом QGIS 3.12 и его инструмент Terrain profile. В качестве картографических основ использованы следующие растровые слои различных масштабов: растровая топографическая карта масштаба 1:50 000; растровая топографическая карта масштаба 1:100 000; растровая карта веб сервиса Open street maps; растровые снимки ДЗЗ 2021 года сервиса digital globe.

Для проведения гидравлических расчетов движения волны прорыва с определением характеристик режима стока, уровенного и скоростного режимов в нижнем бьефе пяти рассматриваемых в 2022 году водохранилищ созданы математические модели водотоков, на которых расположены водохранилища. Математические модели включают привязанные по длине водотоков от плотин гидроузлов водохранилищ координаты характерных поперечных сечений с учетом русла и поймы и рассчитанные для каждого поперечного сечения для десяти характерных уровней воды (от наиболее низкого уровня до наиболее высокого уровня) морфометрические и гидравлические параметры.

Основные морфометрические параметры, которые были рассчитаны для каждого из десяти характерных уровней воды – площадь поперечного сечения, максимальная его глубина и отметка дна, ширина поверху. К гидравлическим параметрам относятся гидравлический радиус, пропускная способность или «модуль расхода», приведенный коэффициент шероховатости.

Методология проведения расчетов движения волны прорыва основана на решении с использованием численных методов систем уравнений математической физики гиперболического типа, описывающих неустановившееся движение воды для разрывных и непрерывных течений. В настоящей работе выполняются расчеты для фактических условий нижнего бьефа с учетом морфометрических и гидравлических особенностей течения жидкости по произвольному рельефу местности.

С использованием разработанных математических моделей расчетных участков водотоков проведены гидравлические расчеты движения волны прорыва с определением характеристик режима стока, уровенного и скоростного режимов. Выполнена верификация (калибровка) математических моделей с использованием результатов проведенных экспедиционных исследований.

При проведении гидравлических расчетов использовались следующие обобщенные расчетные характеристики опорожнения водохранилищ при прорыве их плотин, представленные в табл.

Таблица – Обобщенные расчетные характеристики опорожнения водохранилищ

Наименование водохранилища	Объем водохранилища, млн м <sup>3</sup>	Расчетный объем опорожнения водохранилища, млн м <sup>3</sup>	Процент объема опорожнения от объема водохранилища	Максимальный расход воды через проран при опорожении водохранилища	Ориентировочное время опорожнения водохранилища, часы: минуты
Селец	56,3	25,875	46%	1 732	6:10
Погост	50,2	31,8	63%	665	13:17
Локтыши	54,48	32,92	60%	118	93:15
Бобруйковское	1,83	0,915	50%	263	1:05
Княжеборское	2,3	1,47	64%	128	3:11





1. Скворцов, А. В. Триангуляция Делоне и ее применение / А. В. Скворцов. – Томск : Изд-во Том. ун-та, 2002. – 128 с.
2. Прокофьев, В. А. Современные численные схемы на базе метода контрольного объема для моделирования бурных потоков и волн прорыва / В. А. Прокофьев // Гидротехн. стр-во. – 2002. – № 7. – С. 22–29.
3. ТКП 45-3.04-168-2009 Расчетные гидрологические характеристики. Порядок определения / Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь. – Минск, 2010. – 55 с.

### **Сравнение информативности двух биоиндикационных индексов на примере**

#### **Иваньковского водохранилища**

Разумовский Л.В., Кушнарева Т.Н.

*Институт водных проблем Российской академии наук, г. Москва, Россия,  
lazy-lion@mail.ru*

**Резюме.** В работе приведены результаты одного из этапов апробации новой концепции комплексного мониторинга. Новизна концепции подразумевает совместный анализ диатомовых комплексов из колонок донных отложений и современных фитопланктонных комплексов. В качестве объекта исследований выбрано Иваньковское водохранилище. Рассмотрены результаты оценки качества вод по двум индексам: индексу сапробности (S) и интегральному индексу качества (QI). Проведено сопоставление и пространственно-временной анализ полученных результатов.

### **Comparison of two bioindication indexes with Ivankovo reservoir as an example**

Razumovsky L., Kushnareva T.

**Summary.** The paper presents one of the testing stages for a new concept of integrated monitoring. The novelty of the concept involves a joint analysis of diatom complexes from bottom sediment columns and modern phytoplankton complexes. The Ivankovo reservoir was chosen as the object study. The results of the water quality assessment by two indexes are investigated: the saprobity index (S) and the integral quality index (QI). The comparison and spatial-temporal analysis of the obtained results were carried out.

#### **Введение**

Новая концепция комплексного мониторинга (НККМ) подразумевает совмещение двух традиционных методов: анализа диатомовых комплексов из колонок донных отложений (ДО), что применяется в палеолимнологии, и анализа фитопланктонных комплексов, который применяется при биомониторинге [7, 10]. Ранее, в рамках НККМ был проведен анализ информативности индекса сапробности (S) по Сладечку [6, 12]. В данной работе по аналогичному алгоритму оценивается информативность интегрального индекса качества QI [3, 4].

#### **Материал и методы**

Структуру и объем первичного материала составили более 200 фитопланктонных проб, отобранных на всех участках акватории Иваньковского водохранилища в 2017–2019 гг. Отбор проб проводился на 5 створах: Шошинский плес (д. Безбородово), Верхневолжский плес (с. Городня), Средневолжский плес (д. Карачарово и г. Конаково), а так же в районе о. Шевница (Иваньковский плес) (рис. 1).

Одновременно с анализом видового состава фитопланктонных комплексов проводился химический анализ проб воды. Химические анализы проб воды проводили в лабораторных условиях и выполнялись по единым методикам, в соответствии с рекомендациями [9], в лабораториях Института водных проблем РАН (ИВП РАН).

Диатомовые комплексы были так же изучены из 2 колонок донных отложений (ДО), отобранных в районе Перетрусовского залива, и между малыми островами и западной

оконечностью о. Грабиловка (далее – Острова), в июле 2017 г. (рис. 1). Всего из колонок ДО был изучен 41 образец на диатомовый анализ.

Отбор колонок ДО осуществлялся колонкой ГОИН. Пробы воды отбирали батометром «Рутнера», с глубины 1 м. Образцы на диатомовый анализ выделялись из ДО по традиционной методике, с интервалом 1 см [5]. Обработка проб воды и проб ДО, изготовление постоянных препаратов, подсчет и идентификация створок диатомей осуществлялись по стандартным методикам [2, 11].

Исследование постоянных препаратов проводили при помощи светового микроскопа, оснащенного 100-кратным масляно-иммерсионным объективом. Обработка и просмотр фитопланктонных проб также проводилась по стандартным методикам [8].



Рисунок 1 – Карта-схема Ивановского водохранилища: линии – створы мониторинга; цилиндрическими фигурами обозначены месторасположения отобранных колонок ДО:  
1 – Острова; 2 – Перетрусовский залив

При комплексном мониторинге водохранилища по фитопланктону и диатомовым комплексам из ДО вычислялся QI [3, 4]. Методика расчета QI основана на совмещении гидрохимических и гидробиологических данных. Для расчета QI используются концентрации химических веществ, установленных для каждой станции на створе в данный момент времени. Это способствует и более объективной оценке комплексного загрязнения по биологическим показателям. Расчет QI подразумевал предварительный расчет гидрохимического индекса загрязнения вод (ИЗВ) [1].

Преимущество QI перед S заключается в том, что при определении значений экологических валентностей учитывается не только загрязнение легкоокисляемой органикой, но и токсическое загрязнение воды, характерное для исследуемого водоема. Ввиду этого, QI более объективно отражает качество вод и экологическую обстановку конкретного водоема.

#### Результаты исследований и их обсуждение

Расчет изменения численных значений QI по разрезу двух колонок ДО проводился по 16 видам-индикаторам в р-не Островов и по 19 видам-индикаторам в р-не Перетрусовского залива, которые были идентифицированы в диатомовых комплексах. В отличие от результатов, полученных при долговременном изменении численных значений S, при расчете численных значений QI, констатируется направленное ухудшение качества вод как на открытых участках водохранилища (Острова), так и в прибрежной зоне (Перетрусовский залив) (рис. 2).

Ранее, при изложении методики расчета QI было упомянуто, что она предваряется расчетами ИЗВ. Расчеты ИЗВ для Ивановского водохранилища проводился по следующим 6 параметрам: БПК<sub>5</sub>, содержание кислорода (O<sub>2</sub>), концентрация железа (Fe), марганца (Mn), нефтепродуктов и иона аммония (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>). В группу превалирующих, загрязняющих

компонентов были включены два параметра имеющие выраженный антропогенный генезис: нефтепродукты и  $\text{NH}_4^+$ .

Процессы изменения трофического статуса водоема могут иметь двойственную природу и контролироваться естественными природными процессами и антропогенным воздействием. Именно поэтому долговременные изменения численных значений S существенно различаются в прибрежной зоне с низкой проточностью (Перетрусовский залив), и в открытых участках акватории (Острова) (см. рис. 2).

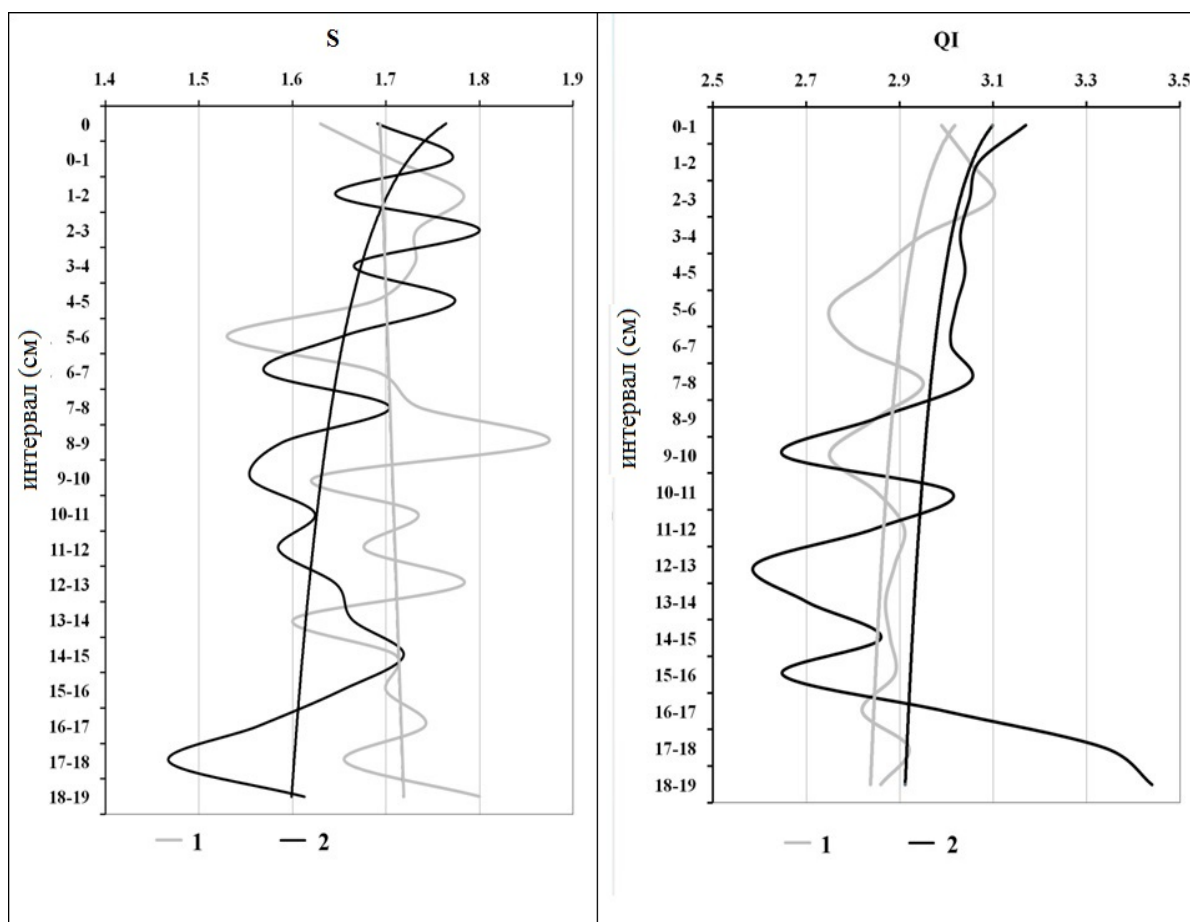


Рисунок 2 – Долговременные изменения численных значений S и QI в Ивановском водохранилище. Цифрами обозначены численные значения S и QI: 1 – в Перетрусовском заливе; 2 – в р-не Островов. Серым цветом обозначены численные значения и результирующая линия в районе Островов (1); черным цветом обозначены численные значения и результирующая линия в Перетрусовском заливе (2)

Долговременное изменение численных значений QI, однозначно свидетельствует о повышении антропогенной нагрузки, что оказывает негативное воздействие на все участки акватории Ивановского водохранилища (см. рис. 2).

#### Заключение

Наглядной демонстрацией применения новой концепции комплексного мониторинга, было проведение исследований по оценке достоверности и информативности рассчитываемого индекса сапробности (S) и интегрального индекса качества (QI).

Ранее, полученные результаты подтвердили, что принятый при биомониторинге расчет индекса сапробности (S) обладает исходным методологическим недостатком и происходит «выравнивание» или нивелирование реальной сапробиологической обстановки на акватории водохранилища (Шитиков и др., 2003). Численные значения интегрального индекса качества (QI) более информативны, но их расчет более сложен.

*Работа выполнена в рамках темы № FMWZ-2022-0002 Государственного задания ИВП РАН. Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов, требующего раскрытия в данном сообщении.*

## Список литературных источников

1. Временные методические указания, по комплексной оценке, качества поверхностных и морских вод. Утв. Госкомгидрометом СССР 22.09.1986 г. № 250-1163. – М., 1986. – 5 с.
2. Давыдова, Н. Н. Диатомовые водоросли – индикаторы природных условий водоемов в голоцене / Н. Н. Давыдова. – Л. : Наука, 1985. – 244 с.
3. Зеленевская, Н. А. Мониторинг фитопланктона и оценка экологического состояния Саратовского водохранилища : автореф. дис. ... канд. биол. наук / Н. А. Зеленевская. – Тольятти, 1998. – 25 с.
4. Зеленевская, Н. А. Фитопланктон Саратовского водохранилища в 2006–2010 годах / Н. А. Зеленевская // Вестник Волжского университета им. В. Н. Татищева. – 2011. – № 12. – С. 130–137.
5. Полякова, Е. И. Диатомовый анализ. Методы палеогеографических реконструкций / Е. И. Полякова. – М. : Изд-во МГУ, 2010. – С. 126–160.
6. Разумовский, В. Л. Комплексная оценка темпов сапробизации водохранилищ / В. Л. Разумовский // Вопросы современной альгологии. – 2022. – № 1 (27).
7. Разумовский, Л. В. Оценка информативности новой концепции комплексного мониторинга на примере трех водохранилищ / В. Л. Разумовский // Сб. трудов XVII Международной научной конференции диатомологов (Минск 23–28 августа 2021 г.). – Минск : Колоград, 2021. – С. 106–112.
8. Руководство по гидробиологическому мониторингу пресноводных экосистем. – СПб. : Гидрометеиздат, 1992. – 320 с.
9. Руководство по химическому анализу поверхностных вод суши. – Л. : Наука, 1977. – 541 с.
10. Razumovsky, L. V. Application of paleolimnological methods in study of ecosystem transformations in reservoirs / L. V. Razumovsky // Limnology and Freshwater Biology (Special issue PaleoEurasia – 2020). – 2020. – № 4 : (SI PALO 2020). – P. 474–475. – DOI.10.31951/2658-3518-2020-A-4-474.
11. Renberg, I. A procedure for preparing large sets of diatom slides from sediment cores / I. Renberg // Journal of Paleolimnology. – 1990. – Vol. 4. – P. 87–90.
12. Sládeček, V. System of water quality from biological point of view / V. Sládeček // Arch. Hydrobiol. Ergeb. Limnol. – 1973. – № 7. – 218 p.

### **Оценка достоверности полученных результатов в рамках новой концепции комплексного мониторинга**

Разумовский В.Л., Кушнарева Т.Н.

*Институт водных проблем РАН, г. Москва, Россия*

**Резюме.** Работа посвящена оценке результатов практического применения новой концепции комплексного мониторинга. Теоретическая новизна концепции состоит в совместном анализе диатомовых комплексов из колонок донных отложений и современных фитопланктонных комплексов. В работе доказательно демонстрируется, что во всех проанализированных колонках отсутствуют процессы переотложения при формировании осадков. Это подтвердило достоверность полученной информации о долговременных изменениях в исследованных водохранилищах.

### **Reliability assessment of the results obtained within the framework of the new concept of integrated monitoring**

Razumovsky V., Kushnareva T.

**Summary.** The work is devoted to the evaluation of the new concept of integrated monitoring practical application results. The theoretical novelty of the concept consists in the joint analysis of diatom complexes from columns of bottom sediments and modern phytoplankton complexes. The work proves that in all the analyzed columns there are no processes of redeposition during sedimentation process. This confirms the reliability of data regarding long-term changes in the studied reservoirs.



## Введение

На сегодняшний день объективная оценка возобновляемых запасов пресных вод, и достоверный анализ их качества, является приоритетным направлением цивилизационного развития. Накопление значительных масс загрязняющих веществ в донных осадках верхневолжских водохранилищ, являющихся источниками водоснабжения городов, ставят проблему оценки рисков, связанных с возможным изменением качества их вод и сохранением устойчивости экосистем водохранилищ в условиях антропогенных нагрузок. За прошедшие десятилетия, экосистемы водохранилища, их берега и ложе, претерпели существенные трансформации. Значимой проблемой последних десятилетий является нерегулируемый и неконтролируемый характер застройки прибрежных зон. Нелинейность и стохастичность антропогенного воздействия на экосистемы водохранилищ приводит к устойчивому формированию группы неоправданных рисков при их эксплуатации.

## Цель и задачи

Основная цель проведенных исследований состояла во внедрении более объективных методов оценки возможных негативных трансформаций, происходящих в водохранилищах, в первую очередь, под воздействием многолетней антропогенной нагрузки. Основными задачами было формирование новых долговременных рядов наблюдений с момента создания водохранилищ, а также анализ и переосмысление существующих экологических рисков.

В 2017–2019 гг. была сформулирована новая концепция комплексного мониторинга (НККМ). Новизна предлагаемого подхода исследований состояла в совмещении двух традиционных методов: анализа колонок донных отложений (ДО), что ранее применялось только при палеорекострукциях, и в изучении фитопланктона, который традиционно проводится на акватории водохранилищ при биомониторинге [4, 5, 6].

## Материал и методы

Диатомовые комплексы были изучены из 4 колонок ДО, отобранных в трех водохранилищах: Ивановском, Рыбинском и Клязьминском (рис. 1). Образцы на диатомовый анализ выделялись из ДО по традиционной методике, с интервалом 1 см [3]. Обработка проб из ДО, изготовление постоянных препаратов, подсчет и идентификация створок диатомей осуществлялись по стандартным методикам [1, 9]. Всего из колонок ДО было изучено более 100 образцов на диатомовый анализ.

В тех же образцах был проанализирован химический состав ДО в Аналитическом сертификационном испытательном центре Института проблем технологии микроэлектроники и особо чистых материалов РАН (АСИЦ ИПТМ РАН). Анализ проводился атомно-эмиссионными и масс-спектральными методами с индуктивно-связанной плазмой. Подробное описание методики изложено в работе В.К. Карандашева с соавторами [10].

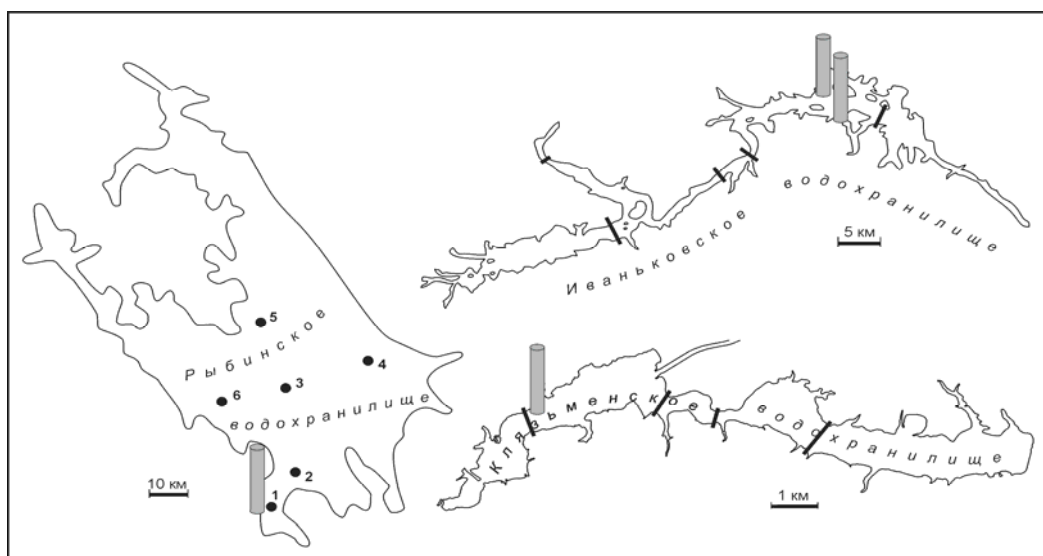


Рисунок 1 – Карта-схема Рыбинского, Ивановского и Клязьминского водохранилищ; цилиндрическими фигурами обозначены колонки ДО; точками и отрезками обозначены пункты и створы мониторинга

## Результаты и обсуждение

Во всех колонках ДО анализ таксономических пропорций не выявил по очертаниям построенных гистограмм признаков переотложения. Это позволило провести достоверный анализ изменения концентраций тяжелых металлов и реконструкцию долговременных изменений трофического статуса водохранилища по концентрации соединения фосфора.

К наиболее значимым результатам следует отнести увеличение концентрации тяжелых металлов в нижних горизонтах колонок ДО. Данная закономерность характерна для всех обследованных водохранилищ (рис. 2).

Наибольшая мощность ДО была отобрана на акватории Рыбинского водохранилища в районе Коприно (52 см). Предположительно, проанализированные отложения охватывают весь период осадконакопления, с момента создания водохранилища. Отмечено повышение концентрации  $P_2O_5$ , что свидетельствует об окончании периода умеренного эвтрофного статуса Рыбинского водохранилища [2], и очередного периода эвтрофирования водоема [7, 8].

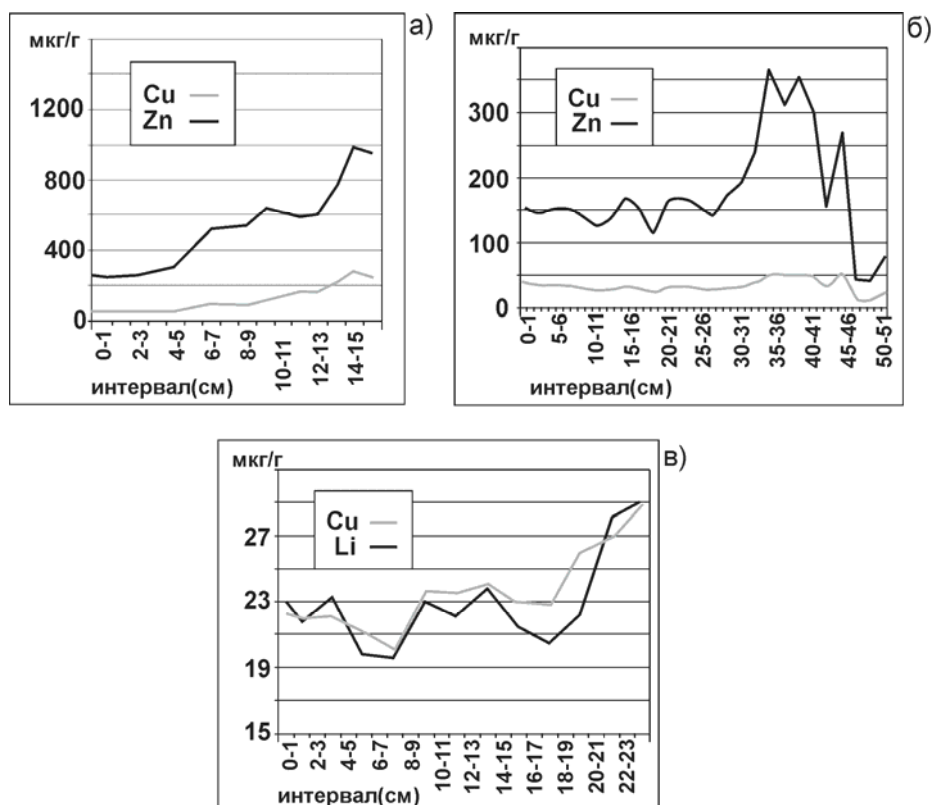


Рисунок 2 – Распределение концентраций (мкг/г) тяжелых металлов по разрезу колонок ДО в Иваньковском (а), Рыбинском (б) и Клязьменском (в) водохранилищах

## Заключение

В результате ожидается получение новых сведений о долговременных трансформациях, происходящих в водохранилищах под воздействием антропогенных нагрузок и природных изменений. Это даст возможность выработать оптимальную стратегию водопользования и природоохранных мероприятий. На основе проведенных исследований будет сформулирован обоснованный прогноз, подразумевающий анализ живых и неживых компонентов водохранилищ, как единой, совместно-функционирующей гидроэкологической системы.

*Работа выполнена в рамках темы № FMWZ-2022-0002 Государственного задания ИВП РАН. Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов, требующего раскрытия в данном сообщении.*

## Список литературных источников

1. Давыдова, Н. Н. Диатомовые водоросли – индикаторы природных условий водоемов в голоцене / Н. Н. Давыдова. – Л. : Наука, 1985. – 244 с.

2. Минеева, Н. М. Растительные пигменты в воде волжских водохранилищ / Н. М. Минеева. – М. : Наука, 2004. – 156 с.
3. Полякова, Е. И. Диатомовый анализ. Методы палеогеографических реконструкций / Е. И. Полякова. – М. : Изд-во МГУ, 2010. – С. 126–160.
4. Разумовский, В. Л. Сравнительный анализ темпов и характера изменения трофического статуса в Ивановском и Клязьменском водохранилищах / Разумовский В. Л., Шелехова Т. С. // Сб. трудов XVII Международной научной конференции диатомологов. Диатомовые водоросли: морфология, биология, систематика, флористика, экология, палеогеография, биостратиграфия (Минск, 23–28 августа 2021 г.). – Минск : Колоград, 2021. – С. 102–105.
5. Оценка долговременных трансформаций экосистемы Рыбинского водохранилища по фитопланктонным комплексам / Разумовский Л. В. [и др.] // Сб. трудов XVII Международной научной конференции диатомологов (Минск, 23–28 августа 2021 г.). – Минск : Колоград, 2021. – С. 113–116.
6. Разумовский, Л. В. Комплексный мониторинг Ивановского водохранилища по диатомеям из фитопланктона и донных отложений / Разумовский Л. В., Черных Л. П. // Сб. трудов XVII Международной научной конференции диатомологов (Минск, 23–28 августа 2021 г.). – Минск : Колоград, 2021. – С. 117–120.
7. Осадочные пигменты и скорость илонакопления как показатели трофического состояния Рыбинского водохранилища / Сигарева Л. Е. [и др.] // Водные ресурсы. – 2013. – Т. 40, № 1. – С. 62–69.
8. Сигарева, Л. Е. Содержание растительных пигментов в донных отложениях водохранилищ Волги / Сигарева Л. Е., Тимофеева Н. А. // Труды ИБВВ РАН. – 2018. – Вып. 81 (84). – С. 105–114.
9. Renberg, I. A procedure for preparing large sets of diatom slides from sediment cores / I. Renberg // Journal of Paleolimnology. – 1990. – Vol. 4. – P. 87–90.
10. Water Analysis by Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry. Inorganic Materials / Karandashev V. K. [et al.]. – 2016. – Vol. 52, № 14. – P. 1391–1404.

**Мониторинг подземных вод в Национальной системе мониторинга  
окружающей среды Республики Беларусь: организация наблюдений, анализ данных,  
перспективы развития**

Берёзко О.А., Васнёва О.В., Черевач Е.М., Буйневич О.А.

*Филиал «Институт геологии» Государственного предприятия  
«НПЦ по геологии», Минск, Республика Беларусь, gidrogeol@geologiya.by*

**Резюме.** Представлены основные аспекты проведения мониторинга подземных вод в Национальной системе мониторинга окружающей среды Республики Беларусь. Изложены вопросы организации наблюдений, проведен анализ данных мониторинга подземных вод по качественным и количественным показателям. Предложены направления и перспективы развития мониторинга подземных вод Республики Беларусь.

**Groundwater monitoring in the National Environmental Monitoring System of the  
Republic of Belarus: organization of observations, data analysis, development prospects**

Berezko O., Vasneva O., Cherevach E., Buinevich O.

**Summary.** The main aspects of groundwater monitoring in the National Environmental Monitoring System of the Republic of Belarus are presented. The issues of organizing observations are outlined, the analysis of groundwater monitoring data in terms of qualitative and quantitative indicators is carried out. Directions and prospects for the development of groundwater monitoring in the Republic of Belarus are proposed.

**Организация наблюдений**

Мониторинг подземных вод представляет собой комплексную систему сбора, накопления, хранения, обработки и выдачи органам управления и хозяйствования аналитической информации о состоянии подземной гидросферы под влиянием естественных и техногенных факторов для решения общегосударственных задач охраны окружающей среды и рационального недропользования, предусматривающей периодически повторяющиеся наблюдения за состоянием подземных вод, изменением их гидродинамического и гидрогеохимического режима для разработки мер по охране и рациональному использованию



подземных вод, и входит в состав Национальной системы мониторинга окружающей среды в Республике Беларусь (далее – НСМОС), созданной в 1993 г. Постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 20.04.93 № 247 «О создании Национальной системы мониторинга окружающей среды в Республике Беларусь».

Объектами наблюдения при проведении мониторинга подземных вод в Республике Беларусь являются грунтовые и артезианские подземные воды [1].

Пункты наблюдений за состоянием подземных вод – наблюдательные скважины или группа скважин (гидрогеологические посты), оборудованные на различные водоносные горизонты (комплексы) и включенные в государственный реестр пунктов наблюдений НСМОС в Республике Беларусь.

В настоящее время работы по проведению мониторинга подземных вод осуществляются структурными подразделениями государственного предприятия «НПЦ по геологии». Отбор проб воды из наблюдательных скважин проводится специалистами филиала «Белорусская комплексная геологоразведочная экспедиция». Химический анализ воды выполняется филиалом «Центральная лаборатория». Обработка, хранение и анализ данных по уровенному режиму и качеству подземных вод осуществляются информационно-аналитическим центром мониторинга подземных вод филиала «Институт геологии».

На территории Республики Беларусь режимная сеть расположена в пределах пяти речных бассейнов – рр. Днепр, Неман, Западная Двина, Припять, Западный Буг (рис. 1).

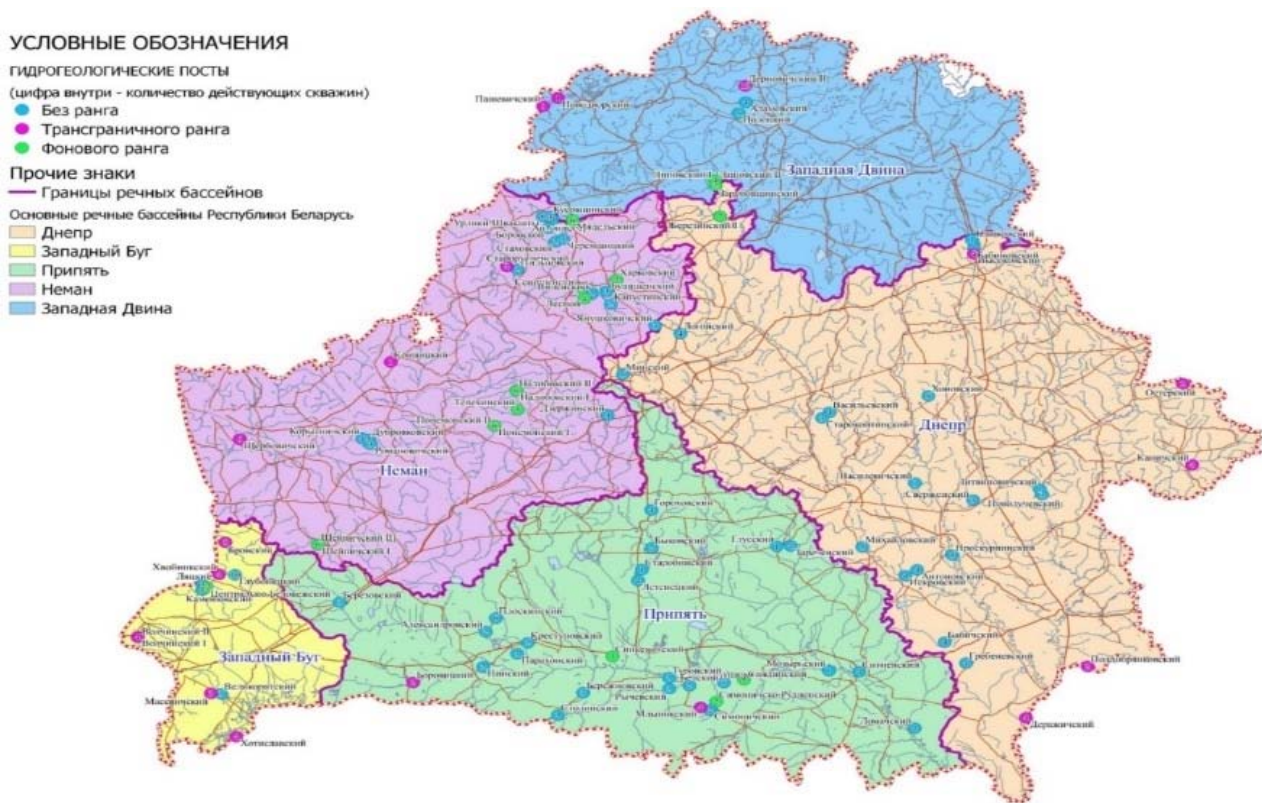


Рисунок 1 – Карта-схема пунктов наблюдения за уровнем режимом и качеством подземных вод (по состоянию на 01.01.2023 г.)

Мониторинг подземных вод в Беларуси в настоящее время проводится на 101 гидрогеологическом посту по 355 режимным наблюдательным скважинам

Ранжирование государственной сети наблюдений. Государственная сеть наблюдений за состоянием подземных вод организовывается с учетом границ речных бассейнов и включает в себя, в том числе, фоновые и трансграничные пункты наблюдений.

Фоновые пункты наблюдений предназначены для осуществления наблюдений за состоянием подземных вод в их взаимодействии с биосферными явлениями без наложения на них региональных антропогенных воздействий и с учетом общей гидродинамической и гидрогеохимической зональности подземных вод.

Трансграничные пункты наблюдений предназначены для осуществления наблюдений за состоянием подземных вод, данные которых используются для оценки трансграничного воздействия на окружающую среду и представляются в рамках международного сотрудничества.

В настоящее время, к фоновому рангу отнесен 21 г/г пост (75 скв.), к трансграничному – 20 г/г постов (70 скв.), также 60 г/г постов (210 скв.) без ранга.

Для повышения достоверности информации об уровне режиме и температуре подземных вод на территории республики, пункты наблюдений (скважины) оборудуются автоматическими уровнемерами. В настоящее время в скважинах функционирует 66 уровнемеров, в том числе: 9 уровнемеров «Микрорадар-217»; 53 уровнемера «InSitu Level TROLL-400» и 4 уровнемера «Друид».

Анализ данных мониторинга подземных вод

*Качество подземных вод.* Оценка химического состава и качества подземных вод в естественных условиях выполняется в соответствии с требованиями «Питьевая вода и водоснабжение населенных мест. Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества. Санитарные правила и нормы СанПиН 10-124 Республики Беларусь 99» (далее – СанПиН 10-124 Республики Беларусь 99).

Исследования показывают, что физико-химический состав подземных вод на пунктах наблюдений по определяемым компонентам в основном, соответствует установленным требованиям. Исключение составляют превышающие ПДК показатели органолептических свойств воды (мутность, цветность, запах), а также показатели по окисляемости перманганатной, жесткости общей, окиси кремния. Следует также отметить практически повсеместное превышение предельно допустимых концентраций по железу (Fe, суммарно). Такие показатели, не удовлетворяющие установленным нормам, формируются под влиянием природных геолого-гидрогеологических условий (высокая проницаемость покровных отложений, присутствие фульво- и гуминовых веществ в почве, литологический состав водовмещающих пород, обильные выпадения атмосферных осадков) [2].

В отдельных скважинах фиксируется загрязнение азотсодержащими соединениями (нитрат-ионами, нитрит-ионами, аммоний-ионами), обусловленное влиянием антропогенных факторов. В большинстве случаев превышения ПДК по азотсодержащим соединениям отмечаются в скважинах, оборудованных на неглубоко залегающие, литологически незащищенные грунтовые воды, расположенные вблизи населенных пунктов или сельхозугодий (распаханных полей), на которые периодически вносят минеральные/органические удобрения. Удобрения с талыми, дождевыми водами могут попадать в грунтовые воды и фиксироваться в наблюдательных скважинах.

Следует отметить также, что за рассматриваемый период наблюдались единичные случаи превышений предельно допустимых концентраций по общей минерализации, сульфатам, хлоридам, мутности.

За 30-летний период наблюдений количество отобранных проб подземных вод на гидрохимические показатели составляло от 187 до 350, а с 2017 г. до настоящего времени количество отобранных проб значительно уменьшилось (до 20–40 отборов в год). Таким образом, в период с 2017 по 2022 г. дать объективную оценку изменения качества подземных вод по результатам мониторинга, проводимого в рамках НСМОС в Республике Беларусь довольно сложно из-за малого количества отбираемых ежегодно проб.

В целом за период с 1993 по 2022 г. качество подземных вод отвечало установленным требованиям от 92,7–92,84 % (в 1992 г. и в 2015 г. соответственно) до 99,2 % (в 2002 г.) проб подземных вод. В среднем этот показатель находился на уровне 94–96 % (за исключением железа общего (Fe, суммарно)).

*Температурный режим* подземных вод при отборе проб находился в пределах 6,0–10,0 °С.

*Гидродинамический режим подземных вод* в естественных условиях изучается в пределах пяти речных бассейнов: рр. Западная Двина, Днепр, Неман, Припять, Западный Буг и формируется, в основном, под влиянием метеорологических, гидрологических и геологических факторов.

Для обобщенного анализа сезонных изменений уровней подземных вод в каждом речном бассейне были взяты отдельные скважины с наиболее полными рядами наблюдений. Установлено, что за период с 1993 по 2022 год в отдельных скважинах фиксируется как повышение, так и понижение уровней подземных вод (грунтовых и артезианских).

Так, в бассейне р. Днепр в районе расположения скважин 69, 73 Бабичского, 197, 297 Васильевского г/г постов уровень подземных вод за анализируемый период повысился на 0,01–0,26 м, а в районе расположения скважин 1255, 1258 Высоковского г/г поста уровень подземных вод незначительно снизился на 0,01–0,04 м.

В бассейне р. Неман в районе расположения скважин 5, 49 Боровского, 364, 1343 Налибокского, 47, 62 Черемшицкого г/г постов уровень подземных вод за анализируемый период повысился на 0,02–0,2 м, а в районе расположения скважин 493, 485 Корытницкого г/г поста уровень подземных вод снизился на 0,1–0,24 м.

В бассейне р. Припять в районе расположения скважин 1233, 1234 Зареченского г/г поста уровень подземных вод за анализируемый период повысился на 0,03–0,47 м, а в районе расположения скважин 4, 6 Березовского, 1299, 1300 Симоничско-Рудненского, 225, 1275 Плоскинского г/г постов уровень подземных вод снизился на 0,1–0,66 м.

В бассейне р. Западная Двина в районе расположения скважин 281, 288, 290 Дерновичского г/г поста уровень подземных вод за анализируемый период повысился на 0,07–0,3 м, а в районе расположения скважин 810, 953 Полоцкого, 204 Дерновичского 210 Адамовского г/г постов уровень подземных вод снизился на 0,15–0,25 м.

В бассейне р. Западный Буг в районе расположения скважин 532, 533 Волчинского, 660, 662 Бровского и 656 Центрально-Беловежского г/г постов уровень подземных вод за анализируемый период повысился на 0,03–0,28 м, а в районе расположения скважины 655 Центрально-Беловежского г/г поста уровень подземных вод снизился на 0,17 м.

Таким образом, выявлены основные особенности формирования уровенного режима подземных вод.

Сезонные колебания уровня обусловлены неравномерностью выпадения осадков и изменениями температуры воздуха в течение года. Питание подземных вод осуществляется на всей территории республики, причем площади инфильтрации и разгрузки чередуются в зависимости от особенностей рельефа и распределения гидрографической сети;

Территория Беларуси, с почти постоянным сезонным промерзанием почво-грунтов, характеризуется весенним и осенним питанием. В связи с этим четко выражены весенний и осенний максимумы высотного положения уровня и наличие двух периодов (летнего и зимнего), для которых свойственно снижение уровня в результате испарения и оттока;

Колебания уровней артезианских вод практически повторяют (иногда с запаздыванием) колебания уровней грунтовых вод, что подтверждает хорошую гидравлическую взаимосвязь между водоносными горизонтами;

Годовой ход изменения уровня подземных вод в разных регионах республики и разные годы различен. Основные экстремумы в уровенном режиме подземных вод связаны с периодами питания водоносных горизонтов. Однако следует отметить, что за последние несколько лет изменилась годовая цикличность хода уровней подземных вод. В годовом цикле практически полностью пропали зимние спады (минимумы) уровней и летние минимумы сместились на осенние месяцы сентябрь–октябрь и только в отдельных случаях попадают на июнь и август.

Проблемные вопросы. В целом по республике существующая система мониторинга подземных вод функционирует достаточно эффективно, однако существуют определенные проблемы, требующие решения, а именно:

- недостаточно пунктов наблюдений, оборудованных на дочетвертичные отложения;
- неравномерная плотность сети наблюдательных скважин по различным речным бассейнам;
- отсутствие пунктов наблюдений в некоторых административных районах;
- отсутствие пунктов наблюдений на приграничных территориях на севере, северо-востоке и востоке республики;
- сокращение количества наблюдений по гидрохимическим показателям подземных вод по режимной сети пунктов НСМОС.

Перспективы развития мониторинга подземных вод. В будущем необходимо дальнейшее совершенствование системы наблюдений, структуры режимной сети, методов исследований применительно к решению проблем охраны подземных вод и рационального недропользования, а именно:

- оптимизация режимной сети с целью создания минимально необходимого, но достаточного для поставленных задач количества наблюдательных пунктов;
- оборудование всех пунктов наблюдений автоматизированными приборами для измерения уровней и температуры воды;
- развитие и совершенствование автоматизированной системы баз данных мониторинга подземных вод в соответствии с современными информационными технологиями;
- разработка постоянно действующих математических моделей, прогнозирование изменения качества подземных вод в естественных условиях и на участках загрязнений.

#### Список литературных источников

1. Инструкция по технологии работ по организации и проведению государственной сети наблюдений за состоянием подземных вод : приказ Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь от 19.07.2019 г. № 180-ОД.
2. Мониторинг подземных вод / О. А. Березко [и др.] // Национальная система мониторинга окружающей среды Республики Беларусь : результаты наблюдений, 2021 год / под общей редакцией М. И. Лемутовой. – Минск : Государственное учреждение «Республиканский центр по гидрометеорологии, контролю радиоактивного загрязнения и мониторингу окружающей среды», 2022. – С. 142–177.

### **Влияние аммонийного азота на состав и очистку подземных вод**

Велюго Е.С.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Полоцкий государственный университет имени Евфросинии Полоцкой, г. Полоцк, Республика Беларусь, e.velugo@psu.by*

**Резюме.** Аммонийный азот в концентрации свыше 0,5–0,7 мг/дм<sup>3</sup> затрудняет удаление железа и требует применения большого воздухо-водяного соотношения подачи воздуха в подземную воду перед скорыми фильтрами (5–6,5):1. Следует отметить, что на окисление железа в данном случае расходуется незначительная часть кислорода воздуха, но при этом не решается задача снижения концентрации аммонийного азота до 1,5–2,0 мг/дм<sup>3</sup>.

### **Influence of ammonium nitrogen on the composition and treatment of underground water** Velyugo E.

**Summary.** Ammonium nitrogen at a concentration of more than 0.5–0.7 mg/dm<sup>3</sup> makes it difficult to remove iron and requires the use of a large air-to-water ratio of air supply to groundwater in front of rapid filters (5–6.5):1. It should be noted that, in this case, an insignificant part of air oxygen is consumed for the oxidation of iron, but the problem of reducing the concentration of ammonium nitrogen to 1.5–2.0 mg/dm<sup>3</sup> is not solved.

Введение. Обеспечение населения качественной питьевой водой является одной из основных задач, которая приобрела особую актуальность в связи с наблюдаемым ухудшением общей экологической обстановки и чрезмерным загрязнением источников водоснабжения. Помимо повышенных концентраций железа в большинстве источников подземных вод, часто наблюдаются избыток азотсодержащих веществ.

Известно, что совместное присутствие нескольких загрязняющих веществ может затруднить процесс очистки природных вод, прежде всего от общего железа [1, 2]. Несмотря на достаточно простое удаление железа, присутствие аммонийного азота и марганца может существенно усложнить процесс их окисления, в основном из-за различных значений окислительно-восстановительного потенциала [3]. Этот параметр влияет на последовательность удаления этих загрязнений в водной среде, а значит, на возможность разработки последовательности и количества необходимых элементов технологической схемы очистки природной воды сложного состава.

Концентрация аммонийного азота в питьевой воде не должна превышать 2 мг/л. В соответствии с требованиями системы мониторинга окружающей среды аммонийный азот, нитрит- и нитрат-ионы включены в программы обязательных наблюдений за составом питьевой воды и являются важными индикаторами степени загрязнения и трофического состояния водоемов. поверхностные и подземные природные водные ресурсы [4].

Целью данной работы является изучение эффективности удаления соединений аммония из природных вод и его индивидуального влияния на удаление присутствующего в воде железа и марганца.

Методология исследования. Исследования проводились путем изменения количества подаваемого воздуха в воду на существующих двух станциях обезжелезивания в Полоцком районе Витебской области. Для станции № 1 качество исходной подземной воды составило по содержанию железа и марганца 3,3–3,5 и 0,14–0,16 мг/дм<sup>3</sup>, перманганатная окисляемость – 3,5–3,6 мгО<sub>2</sub>/дм<sup>3</sup>, величины рН = 7,2–7,3 и Eh ≈ 100 мВ. Подземная вода по станции № 2 характеризовалась аналогичным составом, но в присутствие аммонийного азота до 2,6 мг/дм<sup>3</sup>.

В существующих станциях обезжелезивания принята параллельная технологическая схема работы для двух напорных фильтров диаметром 0,5 м каждый. Предварительная аэрация осуществлялась компрессорной установкой соотношение воздуха и воды (1,2–3,6):1 в диапазоне 70–210 л/мин, в смесительные вставки с измерением подачи воздуха на стеклянных ротаметрах. Производительность двух станций обезжелезивания была отрегулирована подачей воды от скважины в 2,5 м<sup>3</sup>/ч. Количество промывок установлено 2 раза в неделю (фильтроцикл – 72 ч), продолжительность 5–6 мин и скоростью промывной воды 55 м/ч. В качестве загрузки фильтров использовался кварцевый песок, высотой 0,8 м.

Определение показателей воды проводили после 10 часов работы фильтра после выхода на рабочую эффективность. Определение концентрации общего железа в очищенных подземных водах в опытно-промышленных экспериментах было основано на взаимодействии ионов железа в щелочной среде с сульфосалициловой кислотой с образованием окрашенного в желтый цвет комплексного соединения по СТБ 17.13.05-45-2016. Аммоний-ионы были определены согласно ГОСТ 33045–2014 метод А, марганец – ГОСТ 4974–2014 раздел 6.5. Растворенный кислород в фильтрате с помощью портативного водонепроницаемого кислородомера ПН9146-04. По каждому параметру анализировали параллельно три образца.

Результаты и обсуждения. Исходная вода в поселках имела превышение по содержанию железа (3,5 мг/л) и марганца (0,14 мг/л). Существующие установки работали в исходном режиме установленной производительностью 2,5 м<sup>3</sup>/ч под наблюдением более 3-х месяцев (август – сентябрь). В течение этого времени, концентрация железа при соотношении воздуха и воды (1,68–1,8):1 на установке обезжелезивания на станции 1 в фильтрате снизилась с 3,5 до 1,95 мг/л, марганца осталось равной исходной 0,14 мг/л, что значительно выше требуемых нормативных значений (рис. 1).

Далее в ходе эксперимента увеличивалась подача воздуха в смесительные ставки компрессорной установкой до соотношения 3,6:1. С увеличением подачи кислорода воздуха повышается окислительный потенциал системы свыше 100 мВ, что свидетельствует об интенсификации перехода растворенных ионов Fe<sup>2+</sup> в Fe<sup>3+</sup>, с образованием гидроксила железа,

который удаляется на песчаных фильтрах. Данный эксперимент подтверждает, что скорость окисления двухвалентного железа в трехвалентное возрастает с увеличением концентрации в ней растворенного кислорода [1].

Как видно из рисунка 1а, при соотношении подачи воздуха и воды на фильтры уже более 3:1 происходит снижение концентрации общего железа до нормативного значения при условии, что в воде отсутствует аммонийный азот. Тем не менее концентрация марганца практически не снижалась, так как количества кислорода было еще недостаточно для его окисления. Двухвалентный марганец окисляется значительно медленнее, чем железо, и при  $pH < 8$  без катализаторов окисление практически не происходит (рис. 2). В таких случаях следует предусматривать применение реагентных методов или модифицированную загрузку [5, 6].

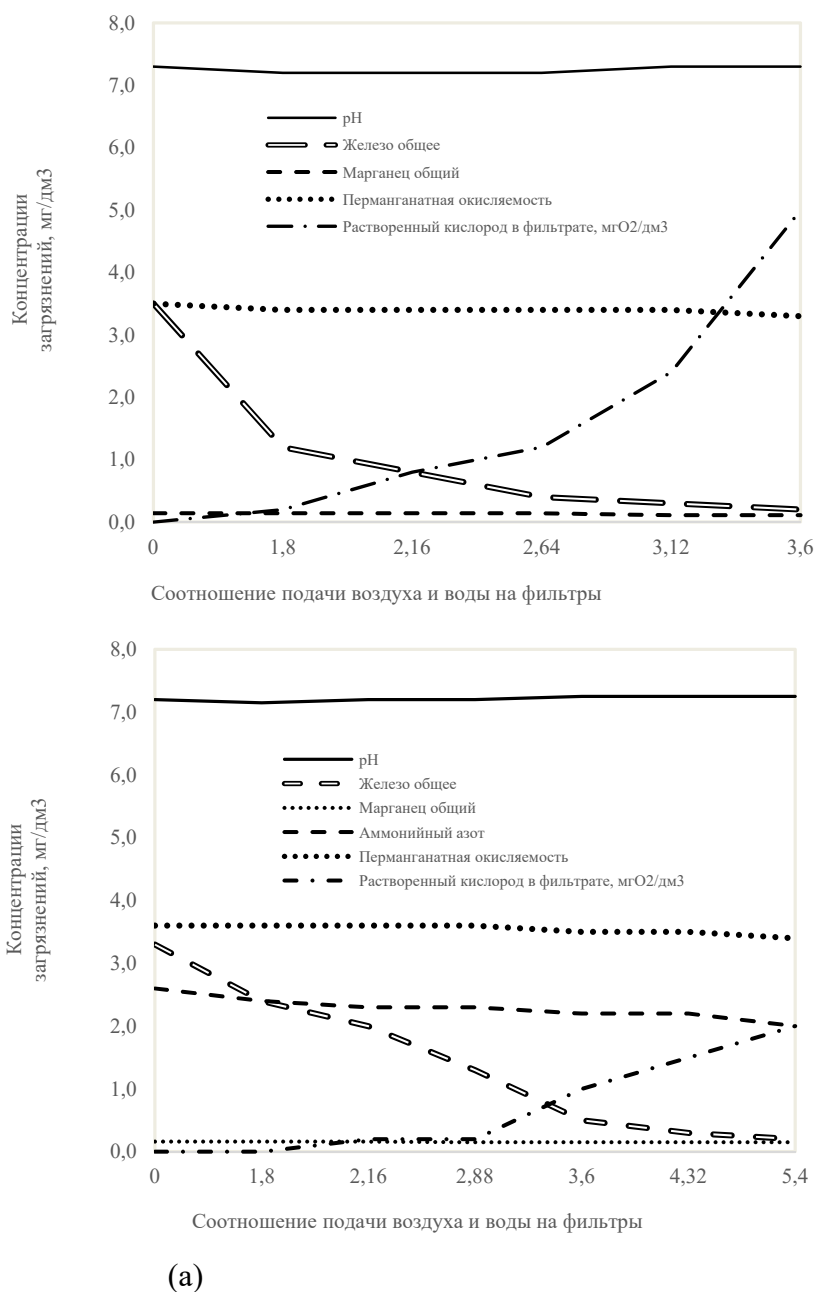


Рисунок 1 – Результаты очистки подземных вод на станции 1 в отсутствие аммонийного азота (а) и на станции 2 в присутствии аммонийного азота (б)



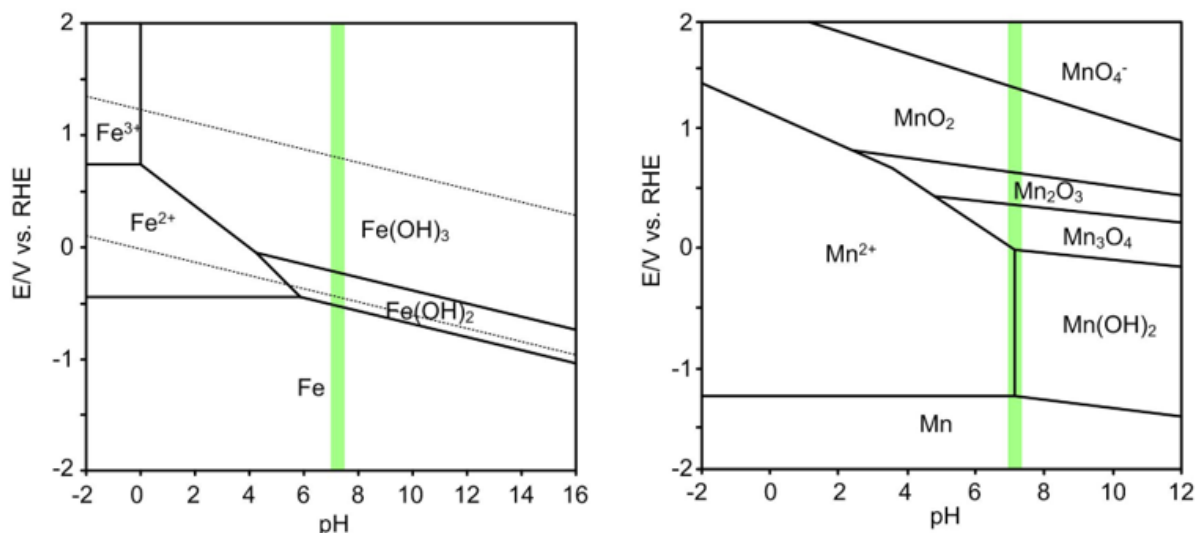


Рисунок 2 – Диаграмма Пурбе для железа (а) и марганца (б)

На станции 2 установка аналогично работала более 3-х месяцев. Полученные результаты в течение этого времени, при соотношении воздуха и воды 1:1 и производительности 2,5 м<sup>3</sup>/ч: концентрация железа снизилась с 3,3 до 2,5, марганца осталось равной исходной 0,16 мг/л, аммонийного азота – 2,5 мг/дм<sup>3</sup>, что значительно выше требуемых нормативных значений (рис. 1 б). Поэтому была увеличена подача воздуха компрессорной установкой до 210 л/мин (соотношение подачи воздуха и воды от 5:1. В результате при таком соотношении подачи воздуха и воды на фильтры наблюдается снижение показателей по железу до нормативных значений, а аммонийному азоту 1,8–2,1 мг/дм<sup>3</sup>. Зависимость концентраций загрязнений и растворенного кислорода от соотношений подачи воздуха и воды представлена на рис. 1 б.

#### Выводы:

- при отсутствии аммонийного азота снижение концентрации общего железа до нормативного значения 0,3 мг/л происходит при отношении воздуха к воде уже более 3:1;
- в присутствии аммонийного азота снижение концентрации общего железа до нормирующего значения 0,3 мг/л происходит только при соотношении воздуха и воды более 5:1, то есть аммонийный азот значительно замедляет снижение концентрация железа, и требуется применять высокую интенсивность воздуха;
- для аммонийного азота концентрации его после обработки воды имели значения до 2 мг/дм<sup>3</sup>, что можно назвать относительно положительным результатом, однако в фильтрах с песчаной загрузкой снижения концентрации этого загрязнение происходит очень медленно и нестабильно;
- не удалось достичь нормирующего значения концентрации общего марганца (0,1 мг/л). Как показывает практика, обычно это происходит через 6–8 месяцев эксплуатации фильтра.

#### Список литературных источников

1. Николадзе, Г. И. Обезжелезивание природных и оборотных вод / Г. И. Николадзе. – М. : Стройиздат, 1978. – 160 с.
2. Крайнов, С. Р. Геохимия подземных вод. Теоретические, прикладные и экологические аспекты / С. Р. Крайнов, Б. Н. Рыженко, В. М. Швец ; отв. ред. академик Н. П. Лаверов. – Издание второе, дополненное. – М. : ЦентрЛитНефтеГаз, 2012. – 672 с.
3. Simultaneous removal of iron, manganese and ammonia from groundwater: upgrading of waterworks in northeast China. Desalin / Zeng H. [et al.] // Water Treat. – 2020. – № 175. – P. 196–204.
4. Мониторинг подземных вод Республики Беларусь [Электронный ресурс] // Результаты наблюдений 2019 года. – URL: <http://www.nsmos.by/content/175.html>. – Дата доступа: 28.10.2020.
5. Ющенко, В. Д. Инновации в технологии очистки подземных вод сложного состава / Ющенко В. Д., Велюго Е. С., Козицин Т. В. // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия Ф. Строительство. Прикладные науки, № 8. – Новополоцк, 2019. – С. 101–104.
6. Ющенко, В. Д. К вопросу совместного удаления железа и аммонийного азота при аэрационной обработке подземных вод малых населенных пунктов / Ющенко В. Д., Велюго Е. С.,

## Поверхностные водные ресурсы Беларуси на современном этапе

Волчек А.А., Парфомук С.И., Сидак С.В.

<sup>1</sup>*Брестский государственный технический университет, г. Брест, Республика Беларусь, volchak@tut.by*

**Резюме.** Выполнена оценка изменений годового стока рек Беларуси и основных факторов, формирующих сток, за период 1988–2018 гг. по отношению к периоду 1949–1987 гг. С учетом мультимодельного ансамбля из четырех сценариев изменения климата получены прогнозные оценки годового стока на период до 2035 г. Установлено, что средние многолетние значения годового стока рек Беларуси могут измениться от -10% в бассейне Припяти до 10% в бассейне Западной Двины.

## Surface water resources of Belarus at the present stage

Volchek A., Parfomuk S., Sidak S.

**Summary.** The assessment of changes in the annual runoff of the rivers in Belarus and the main factors forming the runoff for the period 1988–2018 in relation to the period 1949–1987 was carried out. Taking into account the multimodel ensemble of four climate change scenarios, the forecast estimates of the annual runoff for the period up to 2035 are obtained. It is established that the average long-term values of the annual runoff of the rivers of Belarus can vary from -10% in the Pripyat River basin to 10% in the Western Dvina River basin.

Рациональное управление водными ресурсами в современных условиях является одной из приоритетных задач в области водных ресурсов не только в Беларуси, но и во всем мире. В процессе разработки стратегии управления водными ресурсами, планировании и реализации водохозяйственных мероприятий, решении задач оптимального регулирования речного стока, необходимо иметь научно-обоснованные оценки происходящих и ожидаемых в будущем изменений гидрологических характеристик под влиянием непрерывного и возрастающего антропогенного воздействия, и меняющегося климата. В последние 30 лет на территории Беларуси наблюдается существенная динамика климатических показателей, которая вызывает ответную реакцию в гидрологических процессах [1]. Изучению закономерностей формирования стока рек Беларуси, изменчивости характеристик стока в пространственно-временном аспекте посвящено множество работ [2]. Однако данные исследования не охватывают последние годы наблюдений, когда произошло глобальное изменение климата.

Целью данного исследования является оценка современной трансформации годового стока рек Беларуси, а также получение прогнозных оценок их изменений при вероятных климатических сценариях будущего.

В исследовании использованы материалы наблюдений Государственного учреждения «Республиканский центр по гидрометеорологии, контролю радиоактивного загрязнения и мониторингу окружающей среды» Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь по действующим гидрологическим постам за период инструментальных наблюдений, опубликованные в материалах государственных кадастров. Для выявления пространственно-временной изменчивости речного стока, температуры воздуха и атмосферных осадков обработаны временные ряды за период с 1949 по 2018 г. ( $n = 70$  лет). В качестве исходной гидрометеорологической информации использованы данные наблюдений за месячными и годовыми суммами атмосферных осадков, среднемесячными и среднегодовыми температурами атмосферного воздуха на 50 метеостанциях, среднемесячными расходами воды на 84 гидрологических постах, равномерно расположенных по территории Беларуси. Приведение рядов с малой продолжительностью периодов наблюдений



по выбранным для исследования гидропостам произведено с помощью компьютерного программного комплекса «Гидролог-2» [3].

В основе методологии исследования лежит систематизация и анализ многолетних рядов наблюдений за среднегодовыми расходами воды рек Беларуси. Анализ многолетней изменчивости характеристик стока изучаемых рек проводился дифференцированно, так как гидрологический режим средних и особенно малых рек не идентичен таковому крупных рек. Малые реки особенно чувствительны к условиям их формирования и служат интегральным индикатором сложных природно-антропогенных процессов, происходящих на их водосборах. Условно реки отнесены к следующим группам:

- реки с площадью водосбора более 30 000 км<sup>2</sup>;
- реки с площадью водосбора от 10 000 км<sup>2</sup> до 30 000 км<sup>2</sup>;
- реки с площадью водосбора от 2 000 км<sup>2</sup> до 10 000 км<sup>2</sup>;
- реки с площадью водосбора до 2 000 км<sup>2</sup>.

В силу того, что одним из основных факторов, определяющих общую величину и внутригодовое распределение стока, является климат, целесообразно изучать весь гидрологический цикл в речном бассейне, включая изменение во времени и пространстве количества атмосферных осадков и температуры воздуха.

За период 1949–2018 гг. средняя скорость роста температуры на территории Беларуси составила около 0,31°C/10 лет, тогда как в течение периода с 1969 по 2018 г. она увеличилась до 0,46°C /10 лет.

Для выявления особенностей колебания температуры воздуха в бассейнах крупных рек Беларуси построены разностные интегральные кривые за 1949–2018 гг. по 8 метеостанциям (рис. 1).

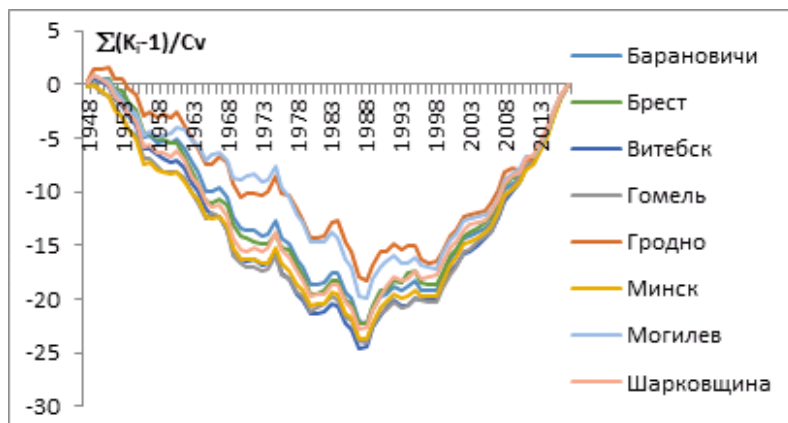


Рисунок 1 – Разностные интегральные кривые среднегодовых температур воздуха по метеостанциям Беларуси

Ординаты разностно-интегральных кривых вычислены как нарастающая сумма  $\sum(K_i - 1)/c_v$ , где  $K_i = Q_i/\bar{Q}$  – модульный коэффициент,  $Q_i$  – среднегодовые температуры воздуха,  $i$  – номер вычисляемого члена последовательности,  $\bar{Q}$  – среднемноголетнее значение температуры воздуха,  $c_v$  – коэффициент вариации.

Построенные разностные интегральные кривые среднегодовой температуры атмосферного воздуха показывают, что расчетный период 1949–2018 гг. включает периоды понижения и повышения температуры, причем с 1988 г. находится в положительной фазе – тенденции повышения. Из рис. 1 видно, что 1988 г. соответствует началу интенсивного роста среднегодовых температур воздуха. Для оценки климатических изменений в соответствии с рекомендациями Всемирной метеорологической организации исходный ряд был разбит на два периода продолжительностью 30 лет и более: 1) с 1949 по 1987 г. и 2) с 1988 по 2018 г.

Анализ данных о температуре воздуха за период 1988–2018 гг. по сравнению с периодом 1949–1987 гг. указывает на её рост по всей территории Беларуси. Рост среднегодовой температуры по территории Беларуси за второй исследуемый период составил 1,31°C.

Так как изменение температуры носит неравномерный характер как внутри года, так и в пространстве, дальнейшее исследование температур атмосферного воздуха выполнено по группам, показанным на рис. 2.

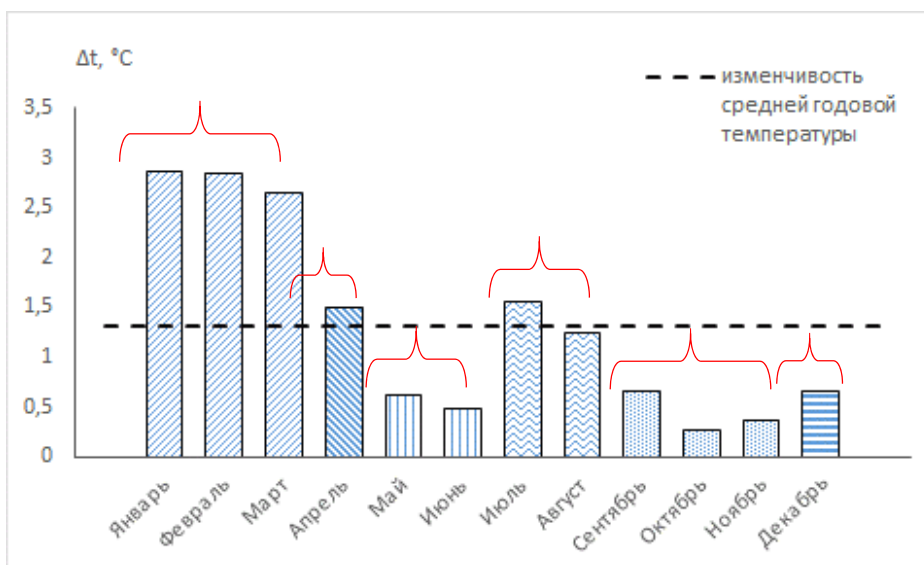


Рисунок 2 – Изменение среднегодовой и среднемесячных температур воздуха за период 1988–2018 гг. по отношению к периоду 1949–1987 гг., °С

В отличие от изменения температуры воздуха, существенного изменения суммарного количества осадков в годовом разрезе не произошло (рис. 3). Стоит отметить, что изменение количества осадков, как и температуры, характеризуется неоднозначность по бассейнам и месяцам. Наибольшая положительная динамика в изменении осадков ( $\Delta P$ ) наблюдается в феврале, марте, июле. В октябре увеличение осадков наблюдается в бассейнах рек Березина, Днепр, Западная Двина и Сож. Отрицательная тенденция в изменении количества осадков характерна для апреля и августа (кроме бассейна реки Западная Двина).

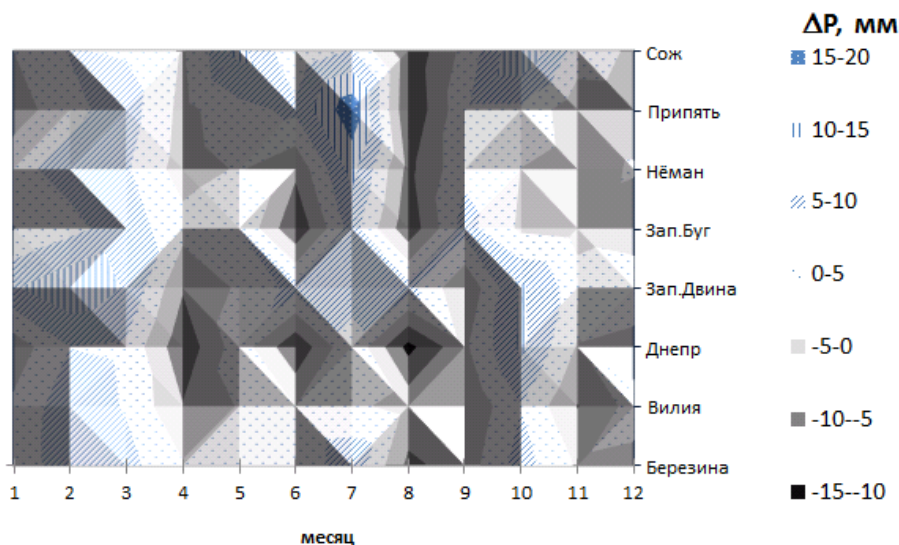


Рисунок 3 – Изменение количества осадков по месяцам для бассейнов рек Беларуси за период 1988–2018 гг. по отношению к периоду 1949–1987 гг.

Как показал анализ изменения стока на исследуемых гидрологических постах, наибольшее изменение среднегодового стока произошло для крупных рек (в среднем по Беларуси составляет 6%), а изменение максимального стока наиболее выражено для мелких и средних рек (снижение стока в среднем на 43%). Для крупных рек снижение максимального стока достигает 37%. Результаты пространственного обобщения изменений среднего годового стока позволяют сделать вывод, что увеличение годового стока произошло для бассейнов рек Западной Двины и Днепра. Для остальной части Беларуси в основном характерно незначительное снижение годового стока.

Рассмотренные выше климатические изменения оказывают непосредственное влияние на водный режим рек Беларуси. Для оценки зависимости между величинами стока, температурами воздуха и осадками определены коэффициенты корреляции в рамках корреляционных матриц между этими величинами. Анализ тесноты связи расходов речного

стока с метеопараметрами показал, что основными климатическими факторами, определяющими сток, являются осадки за зимний и весенний периоды и температура воздуха за январь – март и август. Коэффициент корреляции среднегодовых расходов с суммарным количеством осадков за январь – сентябрь для большинства рядов стока статистически значим и достигает наибольших значений.

Для получения прогнозных оценок изменения стока рек Беларуси на период до 2035 г. адаптирован метод гидролого-климатических расчетов, предложенный В. С. Мезенцевым, основанный на совместном решении уравнений водного и теплоэнергетического балансов [4]. Разработанная модель использована для оценки возможных изменений водных ресурсов рек в зависимости от климатических колебаний и антропогенных воздействий на характеристики водосборов. Обобщенные прогнозные оценки изменения стока получены с учетом комбинации сценариев А1В и В1 изменения климата, а также уточнения с использованием мультимодельного ансамбля из четырех сценариев СМIP5, предложенного Межправительственной группой экспертов по изменению климата (МГЭИК) в 2013 году в Пятом докладе по изменению климата [5]. Карты прогнозных оценок стока рек Беларуси на период до 2035 года приведены на рис. 4.

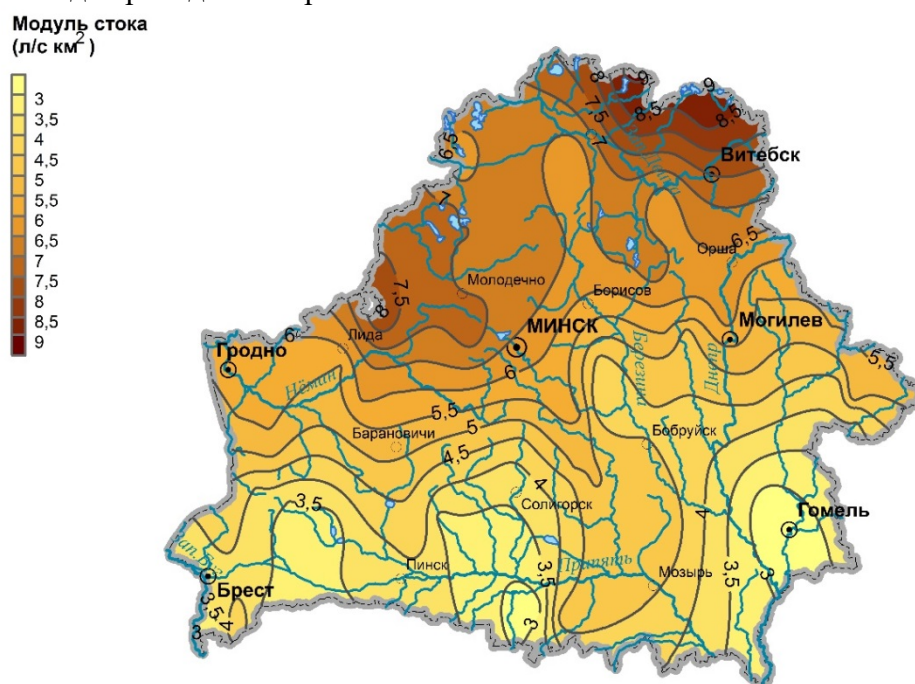


Рисунок 4 – Прогнозные оценки изменения среднегодового стока рек Беларуси до 2035 года

По результатам полученных прогнозных среднееголетние значения годового стока рек Беларуси в целом могут измениться к 2035 году от -10% в бассейне Припяти до 10 % в бассейне Западной Двины.

*Работа выполнена в рамках задания 1.04 НИР «Оценка гидролого-климатических режимов территории Беларуси в современных условиях» (подпрограммы «10.1 Природные ресурсы и их рациональное использование» ГПНИ «Природные ресурсы и окружающая среда» на 2021–2025 годы).*

#### Список литературных источников

1. Лысенко, С. А. Пространственно-временные изменения начальной фазы современного потепления климата / С. А. Лысенко, В. Ф. Логинов // Докл. Нац. акад. наук Беларуси. – 2021. – Т. 65, № 5. – С. 618–627.
2. Комлев, А. М. Закономерности формирования и методы расчетов речного стока / А. М. Комлев. – Пермь : Изд-во ПГУ, 2002. – 162 с.
3. Волчек, А. А. Пакет прикладных программ для определения расчетных характеристик речного стока / А. А. Волчек, С. И. Парфомук // Веснік Палескага дзяржаўнага ўніверсітэта.
4. Мезенцев, В. С. Гидролого-климатическая гипотеза и примеры ее использования / В. С. Мезенцев // Водные ресурсы. – 1995. – Т. 22, № 3. – С. 299–301.

5. Водные ресурсы Беларуси и их прогноз с учетом изменения климата / А. А. Волчек [и др.] ; под общ. ред. А. А. Волчек, В. Н. Корнеева. – Брест : Альтернатива, 2017. – 225 с.

### **Современные тенденции в режиме зимних паводков на реках Беларуси**

Данилович И.С.<sup>1</sup>, Квач Е.Г.<sup>2</sup>, Близнац О.А.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>*Институт природопользования Национальной академии наук Беларуси, г. Минск, Республика Беларусь, irina-danilovich@yandex.ru*

<sup>2</sup>*Республиканский центр по гидрометеорологии, контролю радиоактивного загрязнения и мониторингу окружающей среды, г. Минск, Республика Беларусь*

<sup>3</sup>*Белорусский государственный университет, г. Минск, Республика Беларусь*

**Резюме.** Выполнена оценка современных изменений характеристик стока в зимний сезон. Представлены количественные характеристики продолжающегося увеличения зимнего меженного стока. Отмечено повышение максимальных расходов зимних паводков в восточной половине страны, которое связано с накоплением снеготопливных запасов по сравнению с южной и западной частями, где отмечается снижение высоты зимних паводков и более часто их отсутствие.

### **Current trends in winter floods regime on the rivers of Belarus**

Danilovich I., Kvach E., Bliznets O.

**Summary.** The study presents an assessment of current changes in winter streamflow during last decades. A continuing increase in winter streamflow rate is shown. The maximal discharge increase is observed during winter floods in the eastern half of the country and associated with the snow accumulation while there is a decrease in the height of winter floods in the southern and western parts, and more often their absence.

**Введение.** Рациональное использование водных ресурсов подразумевает постоянный мониторинг и количественный учет, а также оценку их колебаний и анализ причин происходящих изменений в режиме речного стока. Среди стокообразующих факторов основная роль в формировании гидрологического режима рек Беларуси принадлежит увлажнению, определяемое количеством выпавших осадков на водосборы. Исследования предыдущих лет [1, 2, 3, 4, 5] показали, что в последние десятилетия отсутствует однонаправленный многолетний значимый тренд годовых сумм осадков и годового стока по всей территории страны. Однако отмечается внутригодовое перераспределение стока рек, которое выражается в увеличении доли зимнего меженного стока, что связано ростом повторяемости оттепельного характера погоды, и приводит к формированию зимних паводков, а также снижению доли весеннего стока и более редкой повторяемости наводнений в период весеннего половодья. В связи с продолжающимся периодом потепления климата и тенденциями повышения зимнего меженного стока, цель работы заключалась в оценке величины изменения зимнего стока и максимальных расходов зимних паводков и их пространственного распределения.

**Результаты.** Климатические изменения в регионе, в первую очередь коснувшиеся температурного режима в зимний сезон, обусловили изменения гидрологического режима в период зимней межени. В течение последних десятилетий начало осенних ледовых явлений, которые обычно появляются в последней декаде ноября – начале декабря, отмечалось позже обычных сроков в среднем на 8–13 дней, начало ледостава (обычно вторая декада декабря) на 5–8 дней. При этом сроки окончания ледовых явлений (обычно в третьей декаде марта – первой декаде апреля) изменились на более ранние на 13–21 дней. Толщина льда на реках также заметно уменьшилась. Максимальные значения толщины льда в среднем составляют 25–45 см, и за период изменения климата уменьшились в среднем на 9–25 см.

За период потепления начало зимней межени сместилось в сторону более поздних сроков: для рек бассейна Западной Двины – на 4–11 дней, рек бассейна Немана – 6–10 дней, Западного Буга – 11–12 дней, для рек бассейнов Днепра и Припяти – на 6–13 дней. Поздние

даты начала зимней межени периода потепления приходится на середину – конец января (2007, 2012 гг.). В результате чего продолжительность периода зимней межени на реках всех бассейнов сократилась в среднем на 14–26 дней и составляет от 89–99 дней на реках юга страны до 113–123 дней на севере страны.

На большей части территории страны заметно увеличились средние месячные расходы воды в январе – марте [2]. Увеличение доли зимнего стока отмечается во всех речных бассейнах страны, что связано с повышением температуры воздуха, увеличением частоты оттепелей, прохождением зимних паводков, смещением на более ранние сроки дат начала весеннего половодья и дат прохождения наибольшего расхода воды.

На рисунке 1 представлено распределение величины изменения доли стока за последние 75 лет, которое характеризуется увеличением на 13–18% на севере страны – в бассейне реки Западная Двина и крайнем востоке – верховье реки Сож. На большей части страны рост доли зимнего стока составил 9–12%, наименьшее увеличение характерно для южной части – бассейна реки Припять – в пределах 7–9%. Увеличение доли зимнего стока в бассейне р. Припять по сравнению с другими речными бассейнами является наименьшим и объясняется ежегодным осенним подъемом уровня воды в результате дождевых паводков. Подъем растягивается на длительное время, и повышенная водность рек сохраняется в течение всего зимнего периода.

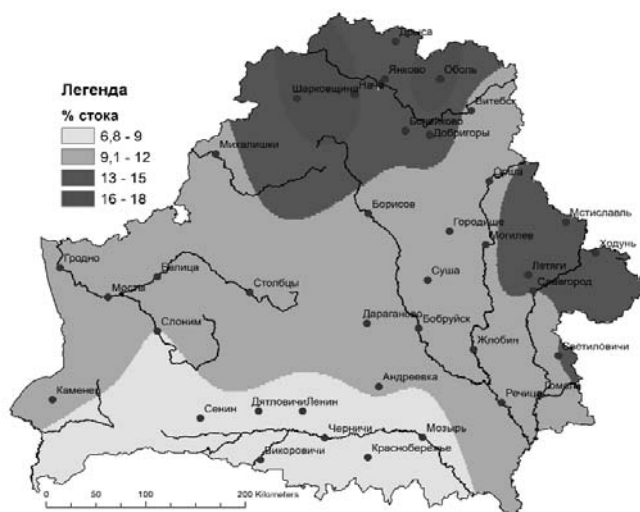


Рисунок 1 – Распределение величины изменения (трендов) доли зимнего стока (%) за период 1945–2020 гг.

Предыдущее исследование зимних паводков [6] указывает на рост паводочных расходов в период 1988–2010 гг. по сравнению с 1966–1987 гг. на большинстве рек Беларуси: от 10–20% в бассейне Припяти до 20–40% в бассейне Западной Двины. Одновременное снижение величины зимних паводков на 20–40% отмечено на реках бассейна Западного Буга.

Расчеты с учетом последних лет показали продолжающийся рост зимних паводков преимущественно в восточной половине страны (рис. 2): верховье бассейна р. Западная Двина, бассейн р. Днепр и левобережная половина бассейна р. Припять с увеличением модулей максимальных расходов воды зимних паводков на 1–6 л/с км<sup>2</sup> или 5–20% в центральной части страны, до 30–40% на юго-востоке.

Уменьшение высоты зимних паводков отмечается на западе и юге страны на 1–10 л/с км<sup>2</sup>. В бассейнах р. Неман и Виляя, Западный Буг и нижнем течении Западной Двины в пределах Беларуси уменьшение паводочных максимумов составляет 15–30%, в правобережной части бассейна р. Припять – более 40%. Такое распределение изменений в режиме зимних паводков связано с более высокими значениями температуры воздуха на юге и западе страны и как следствие малым снегонакоплением на водосборах. На востоке страны в связи с постепенным ослаблением отепляющего влияния Атлантики, отмечаются наибольшие показатели запасов воды в снеге, которые и обуславливают более высокий подъем воды в периоды оттепелей.



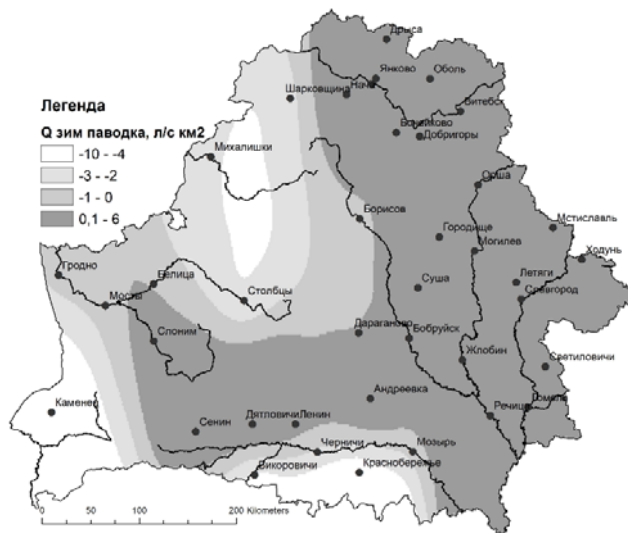


Рисунок 2 – Распределение величины изменения (трендов) максимальных расходов зимних паводков (л/с км<sup>2</sup>) за период 1945–2020 гг.

Формирование высоких зимних паводков, сопровождающееся подтоплением прилегающих территорий в зимний период отмечено в отдельные годы только на р. Припять и ее притоках. Выдающиеся (повторяемостью 1 раз в 55–100 лет) зимние паводки в бассейне р. Припять отмечены в 1974–1975, 1980–1981, 1998–1999; большие (повторяемостью 10–50 лет) в 1947–1948, 1974–1975, 1981–1982, 1988–1989, 1990–1991, 1992–1993, 1993–1994, 1997–1998, 1998–1999, 1999–2000, 2002–2003, 2008–2009, 2009–2010, 2010–2011, 2012–2013 гг. [2, 7]. Наибольшее количество случаев формирования высоких зимних паводков приходится на период изменения климата (1989–2020 гг.). Но в тоже время в последние десятилетия (2000–2020 гг.) отмечается увеличение повторяемости лет, когда на реках отмечается повышенная водность в течение периода зимней межени, но зимний паводок при этом не формируется.

Закключение. Современные трансформации гидрологического режима рек Беларуси тесно связаны с изменением температуры воздуха и режима увлажнения в холодный период года. Тенденции изменения стока в зимний и весенний сезоны характеризуются устойчивым увеличением зимнего меженного стока и снижением стока весеннего половодья. В формировании зимних паводков отмечается их рост в восточной половине страны и связан с более высокими снегозапасами, которые при оттепелях формируют паводки на реках страны. На западе и юге страны в связи с повышенным температурным фоном, осадки, поступающие на водосбор, не накапливаются, а расходуются на поддержание повышенной водности рек в период зимней межени без резких колебаний уровней и расходов воды в реках.

#### Список литературных источников

1. Логинов, В. Ф. Водный баланс речных водосборов / В. Ф. Логинов, А. А. Волчек. – Минск : Тонпик, 2006. – 160 с.
2. Полищук, А. И. Гидрологический мониторинг Республики Беларусь / А. И. Полищук, Г. С. Чекан. – Минск : Книгазбор, 2009. – 260 с.
3. Логинов, В. Ф. Изменение климата Беларуси: причины, последствия, возможности регулирования / В. Ф. Логинов, С. А. Лысенко, В. И. Мельник. – Минск : Энциклопедикс, 2020. – 264 с.
4. Данилович, И. С. Экстремальные проявления в режиме увлажнения на территории Беларуси в условиях трансформации климата / И. С. Данилович, Н. Г. Пискунович // Журнал Белорусского государственного университета. География. Геология. – 2021. – № 2. – С. 32–44.
5. Волчек, А. А. Водные ресурсы Беларуси и их прогноз с учетом изменения климата / А. А. Волчек, В. Н. Корнеев. – Брест : Альтернатива. 2017. – 240 с.
6. Волчек, А. А. Паводки на реках Беларуси / А. А. Волчек, Т. А. Шелест. – Брест : БрГУ, 2016. – 199 с.
7. Особенности формирования водности рек Беларуси в последние десятилетия / И. С. Данилович [и др.] // Природные ресурсы. – 2017. – № 2. – С. 5–12.

## Совершенствование водного кадастра Беларуси

Колобаев А.Н.

*Белорусский национальный технический университет, г. Минск, Республика Беларусь*

**Резюме.** Приводится краткая характеристика водного кадастра СССР и Республики Беларусь, его достижения за последние 30 лет, а также имеющиеся недостатки и предложения по их устранению.

### **Improvement of water cadastre of Belarus**

Kolobaev A.

**Summary.** A brief description of the water cadastre of the USSR and the Republic of Belarus, its achievements over the past 30 years, as well as existing shortcomings and proposals for their elimination are given.

**Водный кадастр** – систематизированный свод сведений о водных ресурсах, их использовании и качестве вод, включая совокупность мероприятий по обеспечению потребителей необходимой информацией.

Предложения о составлении Государственного водного кадастра (ГВК) впервые были внесены в 1923 г. на конференции по изучению естественных производительных сил России. Первый водный кадастр, составленный и изданный в 1931...1945 гг., охватывал все виды водных объектов (реки, озера, болота, подземные воды, моря, ледники) и содержал в систематизированном виде материалы гидрологических наблюдений с их научным анализом. Однако включенные в кадастр показатели не в полной мере были ориентированы на конкретного пользователя. Второе издание ГВК (1959...1977 гг.) систематизировало сведения по поверхностным водам (включая отдельные данные о заборах воды на орошение), а также сведения о морях и подземных водах. В этот период кадастровые работы проводились по типовой методике с учётом потребностей в информации основных пользователей кадастра. Начиная с 1977 г., в СССР создавалась практически новая система водного кадастра, отличающаяся расширением номенклатуры включаемых в кадастр сведений (в первую очередь данных о водопользовании и качестве природных и сточных вод), существенным повышением уровня автоматизации и информационным обслуживанием пользователей по их запросам. В 1990 году начала функционировать межведомственная Автоматизированная информационная система государственного водного кадастра (АИС ГВК), состоящая из трех блоков: «Поверхностные воды», «Подземные воды» и «Использование вод». База данных АИС ГВК включала сведения о всех видах водных ресурсов, их использовании, качестве природных и сточных вод по огромному количеству исходных и обобщенных показателей, регистрируемых стационарными постами гидрологических, гидрохимических и гидрогеологических наблюдений (всего свыше 40 тысяч), а также самими водопользователями (около 90 тысяч).

Задачи новой системы водного кадастра СССР практически не отличались от задач водного кадастра других стран мира. В 21 веке они не претерпели существенных изменений. В настоящее время водный кадастр Беларуси ориентирован на решение следующих задач:

систематизация, хранение, обобщение и анализ данных о водных ресурсах и их использовании, качестве природных и сточных вод;

информационное обеспечение органов управления использованием и охраной вод для обоснования водохозяйственных и водоохраных мероприятий, выдачи разрешений на забор воды и сброс сточных вод, контроля за использованием и охраной вод;

ежегодная и перспективная оценка располагаемых водных ресурсов и их изменения под влиянием антропогенного воздействия;

подготовка рекомендаций по совершенствованию водного мониторинга в составе Национальной системы мониторинга окружающей среды (НСМОС);

информирование общественности о состоянии водной среды и прогнозе её изменений под влиянием антропогенных и климатических факторов;

информационное обеспечение международного сотрудничества по водным проблемам.

После распада СССР в Республике Беларусь после короткого периода относительного снижения активности кадастровых работ (примерно 3 года вследствие недостаточности финансирования и адаптации к новым социально-экономическим условиям) система ведения водного кадастра получила дальнейшее развитие. За последние 30 лет (1994–2023 гг.):

1) в соответствии с утвержденным правительством Республики Беларусь «Положением о порядке ведения государственного водного кадастра» [1, 2] разработаны и введены в действие нормативно-правовые и инструктивно-методические документы [3 и др.], регламентирующие ведение кадастровых работ по единой методике. Эти работы выполняются подразделениями Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды (Минприроды) совместно с Министерством здравоохранения (в части данных о качестве вод в источниках хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования). Функции головной организации осуществляет Центральный НИИ комплексного использования водных ресурсов (ЦНИИКИВР). Кроме передачи кадастровой информации органам управления, предусмотрены публикации, информирование общественности и создание предметно-ориентированных сайтов на страницах Интернета;

2) действовавшие в советский период три блока АИС ГVK «Поверхностные воды», «Подземные воды» и «Использование вод» адаптированы применительно к современным условиям Республики Беларусь, переведены на использование персональных компьютеров, ежегодно актуализируются с учетом новых информационных технологий и обеспечивают размещение дозированной информации в Интернете, а также выдачу информации по запросам пользователей любой сложности, например; «перечислить предприятия, сбрасывающие сточные воды в р. Зап. Двина на участке от Витебска до Полоцка с концентрациями нефтепродуктов в диапазоне от 0,1 до 1,0 мг/дм<sup>3</sup>»;

3) разработаны и введены в действие: общая АИС ГVK, содержащая обобщенные по бассейнам основных рек, областям и крупным городам сведения о поверхностных и подземных водных ресурсах, их использовании и качестве природных и сточных вод; АИС «Разрешения на спецводопользование»; ГИС поверхностных вод с картографической интерпретацией кадастровых данных;

4) с 1995 года основные обобщенные данные водного кадастра ежегодно включаются:

В межведомственное издание «Государственный водный кадастр. Водные ресурсы, их использование и качество вод» (в последние годы – на официальном интернет-сайте ЦНИИКИВР), в ежегодно издаваемый «Экологический бюллетень», а также в периодически издаваемый Национальный доклад «Состояние окружающей среды в Республике Беларусь» (раздел «Водные ресурсы»).

В настоящее время водный кадастр Беларуси базируется на данных из следующих основных источников:

проведенной в советский период инвентаризации (паспортизации) водных и водохозяйственных объектов (рек, озер, подземных горизонтов, водозаборов, выпусков сточных вод, водохранилищ и др.) и дополнительной, проведенной в постсоветское время, инвентаризации водных объектов и выпусков сточных вод, а также инвентаризации родников; водного мониторинга;

разрешений на специальное водопользование;  
статистической отчетности водопользователей.

Водный мониторинг функционирует в составе НСМОС) [4]. В отличие от других государств постсоветского пространства, в Республике Беларусь количество пунктов наблюдений за речным стоком не уменьшилось. Плотность сети наблюдений вполне достаточна и соответствует рекомендациям Всемирной метеорологической организации. Погрешность расчетных гидрологических характеристик (среднегодовой сток, сток расчетной обеспеченности, расчетные минимальные расходы воды в створах рек) не превышает 10–15 %. В рамках НСМОС в настоящее время функционирует около 140 стационарных постов гидрологических наблюдений на реках, каналах, озёрах и водохранилищах, а также 170 створов гидрохимических наблюдений и 140 створов гидробиологических наблюдений. Пробы воды отбираются от 4 до 12 раз в году в зависимости от категории водного объекта. Кроме стационарных наблюдений гидрохимическими лабораториями отделов аналитического контроля областных и городских комитетов



природных ресурсов и охраны окружающей среды контролируется не только качество сбрасываемых сточных вод, но и качество природных вод выше и ниже створов сброса.

Разрешения на специальное водопользование, выдаваемые соответствующими подразделениями Минприроды по ходатайству первичных водопользователей, содержат сведения о допустимых объемах забираемой и сбрасываемой воды, а также о допустимых концентрациях загрязняющих веществ в составе сточных вод.

Состав включаемых в статистическую отчетность показателей и формы их представления зависят от особенностей и условий того или иного государства. Тем не менее общим для большинства стран является включение в статистические отчеты данных об объемах забираемой, используемой и сбрасываемой воды, расходах воды в системах оборотного и повторно-последовательного водоснабжения, количестве загрязняющих веществ, содержащихся в сточных водах. В период функционирования СССР вышеупомянутые данные представлялись по единой форме государственной статистической отчетности), которая доработана применительно к условиям Республики Беларусь и называется 1-вода (Минприроды). Отчетностью охвачено свыше 4 тысяч водопользователей. Как исходные, так и обобщенные данные представляются соответствующим органам управления в установленные сроки (в том числе и из АИС ГВК). Однако при необходимости получения обобщенных данных по участкам речных бассейнов, ограниченных расчетными створами, эти данные труднодоступны вследствие того, что в 2017 году Минприроды принято недостаточно обоснованное решение об отмене привязки водозаборов и выпусков сточных вод к створам рек, а это практически означает невозможность обобщения данных о водопользовании по участкам речных бассейнов в автоматизированном режиме.

Другими недостатками действующей системы ведения водного кадастра, характерными для последних 10 лет ее функционирования, являются:

- прекращение публикации «Государственный водный кадастр. Водные ресурсы, их использование и качество вод» [5] и размещение содержащихся в ней данных только на официальном интернет-сайте [6], что не способствует информированию не только общественности, но и других пользователей водного кадастра, особенно учитывая снижение качества материалов в интернет-сайте вследствие отсутствия квалифицированного редактирования;

- понижение достоверности данных водного кадастра, особенно данных об использовании водных ресурсов и качестве природных и сточных вод, вследствие недостаточной эффективности или отсутствия надежных методов контроля первичной и обобщенной кадастровой информации;

- недостаточная обоснованность выводов по обобщенным показателям и отсутствие рекомендательной информации;

Выводы (заключение)

Система ведения водного кадастра Беларуси успешно решает поставленные задачи и обеспечивает органы государственного управления, проектные, научные и общественные организации, а также отдельные предприятия данными о водных ресурсах, их использовании на различные нужды, качестве природных и сточных вод. Для совершенствования водного кадастра предлагается:

- Возобновить публикацию «Государственный водный кадастр. Водные ресурсы, их использование и качество вод» с привлечением квалифицированных специалистов по ее редактированию, включая подготовку рекомендательной информации.

- Внести коррективы в форму статистической отчетности 1-вода (Минприроды) и инструкцию по ее заполнению в части привязки водозаборов и выпусков сточных вод к створам рек (для существующих объектов это можно сделать в автоматизированном режиме без участия водопользователей) и предусмотреть в программном обеспечении выдачу информации по участкам рек, ограниченным расчетными створами.

- Обеспечить повышение достоверности данных о водных ресурсах, их использовании и качестве вод, а также улучшить информационное обеспечение органов управления в результате:

верификации первичных и обобщенных данных с применением объективных методов контроля;

синхронизации измерений количества и качества вод; в частности, предлагается: уточнить программу трансграничного мониторинга Республики Беларусь и предусмотреть ежемесячную (вместо ежеквартальной) периодичность проведения гидрологических измерений на трансграничных створах;

привлечения квалифицированных специалистов к анализу кадастровых данных, формулированию выводов и подготовке рекомендательной информации.

Разработать и представить в Совет министров обосновывающие предложения о включении в государственный водный кадастр экономических показателей: сведений о проектной и фактической стоимости и эксплуатационных затратах очистных сооружений в зависимости от их производительности и показателей качества сточных вод после их очистки.

#### Список литературных источников

1. Постановление Кабинета министров Республики Беларусь от 21.11.1994 г. «О порядке ведения государственного водного кадастра».
2. Постановление Совета министров Республики Беларусь от 12.03.2010 г. «О порядке ведения государственного водного кадастра».
3. Кадастр использования водных ресурсов (методы и практика ведения). Минприроды Республики Беларусь. – Минск, 1997. – 209 с.
4. Приказ Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь от 19.06.2019 «О проведении мониторинга поверхностных и подземных вод в пунктах наблюдений Национальной системы мониторинга окружающей среды в Республике Беларусь».
5. Государственный водный кадастр. Водные ресурсы, их использование и качество вод за 1994–2017 гг. – Минск : Минприроды, 1995–2018 гг.
6. Государственный водный кадастр [Электронный ресурс] // Информационные ресурсы на сайте РУП «ЦНИИКИВР». – Режим доступа: <http://www.cricuwr.by/gvkinf>.

#### **К вопросу использования метода внутрислоевого обработки подземных вод для малых населенных пунктов**

Рашкевич Е.И.<sup>1</sup>, Ющенко В.Д.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Витебское областное коммунальное унитарное предприятие водопроводно-канализационного хозяйства «Витебскоблводоканал», г. Витебск, Республика Беларусь, [selenaruko@gmail.com](mailto:selenaruko@gmail.com)*

<sup>2</sup>*Полоцкий государственный университет имени Евфросинии Полоцкой, г. Новополоцк, Республика Беларусь, [yuvd46@mail.ru](mailto:yuvd46@mail.ru)*

**Резюме.** В статье описываются основные стадии использования метода внутрислоевого обработки подземных воды для малого населенного пункта. Приводятся результаты эксперимента и экономическая целесообразность данного метода. Авторами проведена оценка закачки в подземный пласт из пылевидного и мелкозернистого песка и откачки воды в водопроводную сеть.

#### **On the issue of using the method of in-situ treatment of groundwater for small settlements**

Rashkevich E., Yushchenko V.

**Summary.** The article describes the main stages of using the methods of intra-layer treatment of groundwater for a small settlement. The results of the experiment and the economic feasibility of this method are presented. The authors evaluated the injection into the underground reservoir of dust-like and fine-grained sand and pumping water into the water supply network.

В последние годы водопроводно-канализационным предприятием Витебской области решаются вопросы подачи надлежащего качества воды для абонентов малых населенных пунктов с минимизацией на оказание этих услуг затрат [1].

Системы централизованного водоснабжения малых населенных пунктов состоят из скважин, устройств для обработки воды, при необходимости регулирующие емкости или насосы второго подъема.

Во многих случаях в подземной воде наблюдается повышенная концентрация железа, которая, может быть, в сочетании с другими загрязняющими элементами и веществами, частности марганца и аммонийных солей.

В основном используются станции (установки) водоподготовки в наземном исполнении «ex-situ» и напорном или безнапорном варианте, которые основываются на химическом или биологическом окислении (часто их совместным воздействием) и удаления железа [3,7]. Типовые решения, когда вода должна быть собрана и обработана на едином централизованном узле, базируются, в основном, на применении аэрационных методов с последующим одноступенчатым, иногда двухступенчатым фильтрованием. В целом, такие решения являются экономически затратным и требуют существенных капитальных и эксплуатационных вложений. Все эти установки нуждаются в периодической промывке фильтров, что требует дополнительного расхода воды на собственные нужды, а также сооружений по сбору и утилизации осадков.

С этой точки зрения, с целью удаления железистых соединений, на ряде объектов малой производительности 50...300 м<sup>3</sup>/сут, рассматривается целесообразность применения метода внутрипластовой обработки подземных вод, что является актуальной и значимой задачей.

Технология внутрипластового удаления железа, марганца и некоторых органических соединений уже известна более 100 лет [4, 5].

Эффективность метода в водоносном пласте зависит в первую очередь от типа и мощности водоносных пластов, конструкции и технологии бурения скважин, используемых как для закачки обогащенной воды кислородом, так и ее для откачки в распределительную сеть системы водоснабжения при подаче к потребителю. Считается, что соотношение величин  $W_{отк}$  к  $W_{зак}$  должно быть не менее 3–4.

При этом во многих странах, используется система Viredox, состоящая отдельно из поглощающих и эксплуатационных скважин [4, 6]. Удаление железа непосредственно в водоносном слое происходит вследствие подачи воды, предварительно обогащенной кислородом (чаще воздуха) в поглощающие скважины для создания окислительной зоны вокруг эксплуатационной скважины. Поглощающие скважины могут работать постоянно или дискретно в зависимости от модификации этого метода.

В Российской Федерации и в Республике Беларусь используют в основном циклическую закачку-откачку подземной воды из каждой скважины по методу Subterra [7].

Сущность этих методов заключается в закачке в водоносный слой воды, обогащенной кислородом воздуха и создания окислительной зоны вокруг скважин. В окислительной зоне, закрепленный в водоносном пласте кислород (O<sub>2</sub>), вступает в реакцию с растворенным в подземной воде железом в двухвалентной форме (Fe<sup>2+</sup>) и образует в породе нерастворимые отложения гидроксида железа – Fe<sub>2</sub>(OH)<sub>3</sub>, который закрепляется на поверхности трещин или зерен породы.

На процесс окисления железа и марганца в пласте, наряду с химическими реакциями, немаловажная роль принадлежит железо-марганцевокислым бактериям, которые, при наличии кислорода синтезируют органические вещества из неорганических для своей жизнедеятельности, получают энергию от окисления этих микроэлементов.

Экспериментальная часть. Рассмотрим метод Subterra для двух скважин малого населенного пункта, расположенного в Докшицком районе Витебской области. Суточное водопотребление малого населенного пункта составляет до 50 м<sup>3</sup>, максимальный часовой расход – 6 м<sup>3</sup>/ч. Водозабор представлен двумя фильтрованными скважинами, глубиной до 40 м и оборудованные частотными преобразователями, Расстояние между ними составляет 12 м. Скважины имеют несовершенный характер погружения и работают в переменном режиме. Дебет скважин составляет 10 м<sup>3</sup>/ч. В скважинах установлены насосы номинальным расходом 5 м<sup>3</sup>/ч с напором 80 м. Водоносные слои представлены пылевидными и мелко-среднезернистыми песками, общей мощностью до 23 м. Для ведения метода внутрипластовой обработки подземной воды использовалась следующая технологическая схема [6, 8]. Вода из

одной скважины, насыщается кислородом воздуха посредством эжектора или компрессора, а затем закачивается в водоносный пласт другой скважины (рис. 1).

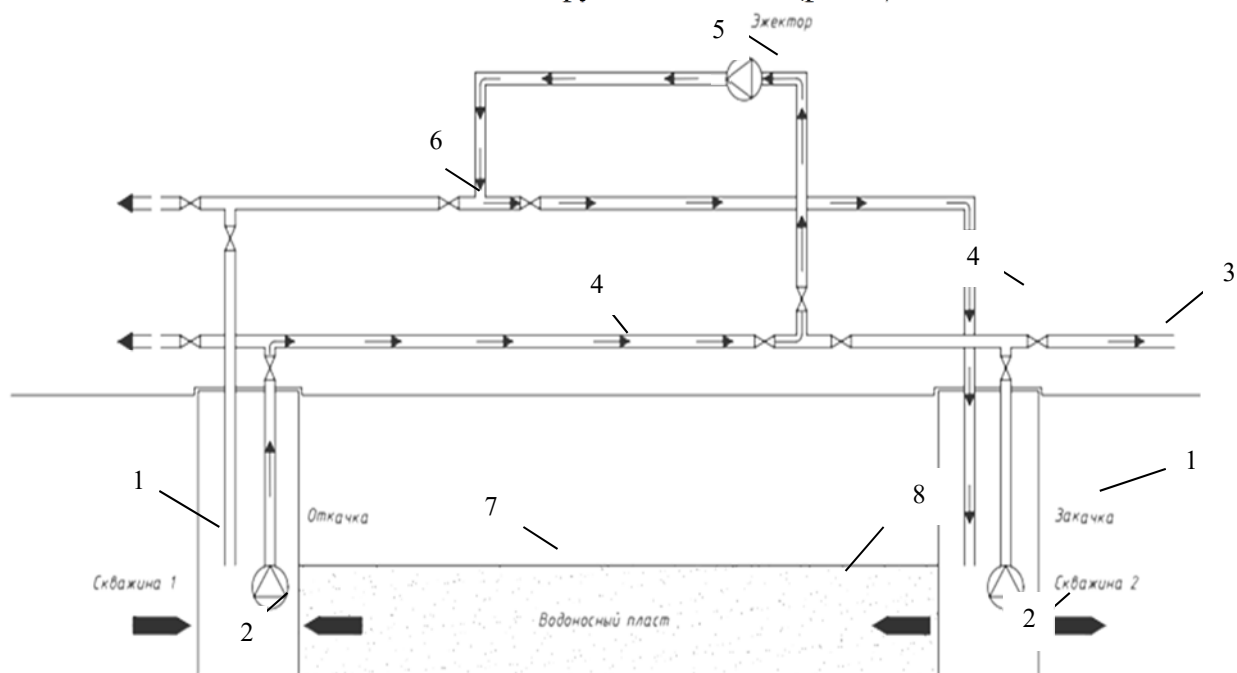


Рисунок 1 – Технологическая схема внутрипластовой обработки воды двух скважин  
 1 – скважина; 2 – погружной насос; 3 – трубопровод подачи воды к потребителю;  
 4 – трубопровод подачи воды в подземный пласт; 5 – эжектор; 6 – запорные устройства;  
 7 – водоносный пласт; 8 – водоносный слой

Для получения положительного результата по созданию окислительной зоны вокруг скважин, желательно, чтобы вода при ее закачке в пласт соответствовала требованиям СанПиН 10.124-99 Республики Беларусь и содержание растворенного кислорода в ней составляла 10...12 мгО<sub>2</sub>/дм<sup>3</sup>. Фактически, начальная концентрация общего железа составила порядка 3 мг/дм<sup>3</sup>, содержание растворенного кислорода 6...8 мгО<sub>2</sub>/дм<sup>3</sup>, а величины рН и Eh – 7,6 и 65 мВ.

Объем закачиваемой аэрированной воды в подземный пласт определяется его составом, мощностью и планируемым объемом ее откачки, и другими многими факторами. Следует отметить, что подача воды в скважины можно также производить из водопроводной сети, отдельных резервуаров и даже из поверхностного источника. В данном случае объем воды на закачку осуществлялся из другой скважины в объеме около 300 м<sup>3</sup>.

Проведение экспериментальной стадии закачки воды в пласт из пылевидного и средне-мелкозернистого песка позволило установить следующее.

Первоначальную закачку воды в пласт и подготовка скважины к откачке необходимо проводить под постоянным контролем и желательно все операции выполнять в ручном режиме. При закачке воды в скважину наблюдалось выделение различных газов, например, углекислого – СО<sub>2</sub>, аммиака NH<sub>4</sub><sup>+</sup> и сероводорода H<sub>2</sub>S, которые надо было удалять из оголовка скважины. Основным водоносным слоем, в данном случае, следует считать средне-мелкозернистые пески. В верхний пылевидный плотный слой, скорее всего, будет поступать только незначительная часть кислорода закачиваемого воздуха.

После проведения стадии закачки воды в подземный пласт, скважина была выключена и производился ее отстой для закрепления водно-растворенного кислорода в водоносном пласте в течение 72 ч. Далее была проведена ее прокачка до получения концентрации железа в подземной воде до 0,4 мг/дм<sup>3</sup>. Величина рН в процессе закачки воды в скважину и дальнейшей ее прокачки практически не изменяется и составляла 7,6–7,7. Установление в воде после закачки величины Eh более 140 мВ свидетельствует об окислении двухвалентного железа в трехвалентную форму и его задержании в подземном пласте.

После этих операций, скважина была включена на работу в водопроводную сеть малого населенного пункта. Эксперимент проводился до достижения концентрации общего железа не более 0,3 мг/дм<sup>3</sup>. Объем откаченной воды составил порядка 2800 м<sup>3</sup>, т.е. соотношение величин  $W_{отк}$  и  $W_{зак}$  составило 9,5.

Экономическая часть.

Экономическая оценка и расчет выполнены в целях сравнения различных технологических решений. Прделанная работа не является комплексным экономическим анализом всех будущих выгод, связанных с улучшением качества питьевой воды в результате реализации объектов. Кроме того, экономический анализ, в отличие от финансового, осуществлялся в реальном выражении, то есть все издержки и эффекты были выражены в одинаковых ценах (по состоянию на 2022 год). Для сравнения принято два основных технологических варианта: строительство станции обезжелезивания на существующей водозаборной скважине № 1 (1а) и внутрислоеудаление железа в скважине № 2 (1б). Разница в общей стоимости капиталовложений относительно большая по сравнению с технической производительностью вариантов и количеством обслуживаемых домохозяйств.

Капитальные затраты без бурения дополнительной артезианской скважины для варианта 1а составляют 265,2 тыс. рублей, для 1б – 6,3 тыс. рублей при условии выполнения работ собственными силами предприятий водопроводно-канализационного хозяйства (расчет произведен на примере УП «Витебскоблводоканал»).

Таблица 1 – Технические параметры технологических вариантов обработки подземных вод

№	Технические характеристики/ вариант	1а	1б
1	Производительность (максимальный часовой расход)	5,0 м <sup>3</sup> /ч	5,0 м <sup>3</sup> /ч
2	Производительность в год	43,8 тыс. м <sup>3</sup>	43,8 тыс. м <sup>3</sup>
3	Водопотребление, л/чел./год	140 л	140 л
4	Средний размер домохозяйства (чел)	2,2	2,2
5	Количество обслуживаемых домохозяйств	82	82
6	Концентрация железа в сырой воде	2,5–3,1 мг/л	2,5–3,1 мг/л

При необходимости бурения дополнительной артезианской скважины стоимость капитальных затрат для варианта 1а – 389,2 тыс. рублей, 1б – 130,3 тыс. рублей.

Таблица 2 – Расчет эксплуатационных расходов, руб.

№	Категория затрат	Стоимость
1	Электроэнергия	0,29890 за кВтч
2	Технологические расходы воды	1,9120 за м <sup>3</sup>
3	Затраты на обслуживание станции обезжелезивания, включая персонал, в год	3 600 руб.

Таблица 3 – Сравнение годового потребления материалов и ресурсов для технологических вариантов, в физических единицах

№	Категория затрат	1а	1б
1	Электроэнергия	19654 кВт*ч	3809 кВт*ч
2	Технологические расходы воды	230 м <sup>3</sup>	438 м <sup>3</sup>

Таблица 4 – Сравнение ежегодных расходов на эксплуатацию различных технологических вариантов, руб.

№	Категория затрат	1а	1б
1	Техническое обслуживание	3 600,0	540,0
2	Электроэнергия	5 874,6	1 138,5
3	Технологические расходы воды	439,8	837,5
4	Всего (без НДС)	9 914,2	2 516,0

## Выводы.

Водоснабжение малых населенных пунктов характеризуется крайне неравномерным режимом водопотребления. Забор воды в малых населенных пунктах, как правило осуществляется одной-двумя скважинами, расположенными на расстоянии несколько десятков метров.

Проведение полного цикла внутрипластовой обработки воды на скважинах с водоносным слоем из пылевидного и средне-мелкозернистого песка показало применимость этого метода для обезжелезивания воды. То есть, данная технология «*in situ*» позволяет обеспечить одноступенчатую безреагентную очистку подземных вод для обезжелезивания воды малых объемов водопотребления. Кроме того, снимаются экологические трудности по обработке и утилизации промывных вод скорых фильтров и уменьшается площадь земельных участков водоочистных сооружений.

Выполнена экономическая целесообразность использования данного метода. При эксплуатации систем подземного осаднения капитальные и эксплуатационные затраты на очистку равного количества воды снижаются в 2–5 раз, чем при использовании надземных сооружений. При этом, чем выше производительность водозабора, тем заметнее разница в очистке равного объема воды.

## Список литературных источников

1. Концепция совершенствования и развития жилищно-коммунального хозяйства до 2025 года, утвержденная постановлением Совета Министров Республики Беларусь 29.12.2017, № 1037.
2. СН 4.01.01-2019. Строительные нормы республики Беларусь. Водоснабжение. Наружные сети и сооружения. Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь. – Минск, 2020. – С. 76.
3. Николадзе, Г. И. Водоснабжение / Г. И. Николадзе, М. А. Сомов. – М. : Стройиздат, 1995. – С. 688.
4. Кулаков, В. В. 100 лет технологии очистки подземных вод от железа в водоносном горизонте (*in situ*) / Кулаков В. В. // Материалы 6-го междунар. конгр. ЭКВАТЭК-2004 «Вода: экология и технология» (Москва, 1–4 июня 2004 г.). – М., 2004. – Ч. 1. – С. 173–174.
5. Гуринович, А. Д. Возможности удаления из воды железа в водоносном пласте на примере существующих водозаборных скважин / Гуринович А. Д., Ваврженюк П., Ельский И. // Вода и экология: проблемы и решения. – 2013. – № 2 (54). – С. 12–20.
6. Коммунар, Г. М. Внутрипластовая очистка подземных вод для целей водоснабжения : автореф. дис. докт. техн. наук по специальности 05.23.04 «Водоснабжение и канализация» / Коммунар Г. М. – М. : ВНИИ ВОДГЕО, 1987. – С. 39.
7. Очистка сложных многокомпонентных вод биохимическими методами / Седлухо Ю. П. [и др.] // Вода Magazine. – 2014. – № 6 (82).
8. Болдырев, К. А. Геохимическое моделирование процессов внутрипластовой очистки подземных вод от железа и марганца : автореф. дис. канд. техн. наук по специальности 05.23.04 «Водоснабжение, канализация, строительные системы охраны водных ресурсов» / Болдырев К. А. – М., 2011. – С. 22.

## **СЕКЦИЯ 3**

**Условия формирования, отведение,  
очистка и сброс сточных вод**

**О разработке Концепции комплексной переработки  
Водного кодекса Республики Беларусь**

Дубенок С.А.<sup>1</sup>, Захарко П.Н.<sup>2</sup>, Голод Ю.В.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> *Белорусский национальный технический университет, г. Минск, Республика Беларусь, dsnega@list.ru*

<sup>2</sup> *Центральный научно-исследовательский институт комплексного использования водных ресурсов, г. Минск, Республика Беларусь, polina.k.85@mail.ru, ylia-gold@mail.ru*

**Резюме.** В Республике Беларусь в 2022–2023 гг. Министерством природных ресурсов и охраны окружающей среды проводится работа по комплексной переработке Водного кодекса Республики Беларусь. В настоящее время разработана и проходит процедуру согласования Концепция комплексной переработки Водного кодекса Республики Беларусь.

**The development of the Concept of complex processing of the Water Code of the Republic of Belarus**

Dubianok S., Zakharko P., Holad Y.

**Summary.** In the Republic of Belarus in 2022–2023 the Ministry of Natural Resources and Environmental Protection is working on a comprehensive revision of the Water Code of the Republic of Belarus. At present, the Concept of complex processing of the Water Code of the Republic of Belarus has been developed and is undergoing the approval procedure.

Базовое национальное законодательство стран в области использования и охраны водных ресурсов регулирует общественные отношения, возникающие по поводу использования водных ресурсов и их охраны. Названные отношения по своей правовой форме принадлежат к широкой области правового регулирования: они могут быть гражданско-правовыми, административно-правовыми, уголовно-правовыми и так далее, что свидетельствует о комплексном характере водноэкологического права и определяет особенности эколого-правового регулирования отношений по использованию и охране водных ресурсов в каждой стране.

Основу национального водного законодательства большинства развитых стран мира составляют Кодексы или Законы о воде (об управлении водными ресурсами).

К предмету правового регулирования Водных кодексов или Законов о воде разных стран отнесены общественные отношения, возникающие в связи с управлением и охраной водных ресурсов (водных объектов), отношения между органами, осуществляющими государственное управление в этой области, и юридическими лицами, индивидуальными предпринимателями, гражданами, осуществляющими пользование водными ресурсами (водными объектами) и оказывающими воздействие на них.

В большинстве стран постсоветского пространства в качестве основного законодательного акта по воде приняты Водные кодексы – Армения, Казахстан, Кыргызстан, Россия, Таджикистан, Украина.

В сопредельных европейских странах – Латвия, Литва, Польша, а также в Молдове, в Германии и ряде других стран Европейского Союза, основными нормативными правовыми актами выступают Законы о воде или Законы об управлении водными ресурсами.

К базовому водному законодательству на уровне региональных образований можно отнести Модельный Водный кодекс для государств – участников Содружества Независимых Государств [1] и Водную рамочную директиву Европейского Союза [2].

Модельный Водный кодекс для государств – участников СНГ был принят в 2006 г. на двадцать седьмом пленарном заседании Межпарламентской Ассамблеи государств – участников СНГ и рекомендован для использования в национальном законодательстве стран [1].



Основными предпосылками для комплексной переработки Водного кодекса Республики Беларусь, действующего с 21 мая 2015 г., является, прежде всего, совершенствование нормативной правовой базы в области охраны окружающей среды, питьевого водоснабжения, гидрометеорологической деятельности в Республике Беларусь в период 2015–2022 гг., а также развитие научно-практических исследований и разработок в области использования и охраны вод в условиях изменения климата.

Необходимость комплексного пересмотра Водного кодекса обусловлена также тем фактом, что за период функционирования действующей редакции Водного кодекса (с 21 мая 2015 г. до настоящего времени) принят ряд стратегических документов в области экологической безопасности, определяющих основные направления стратегического развития системы управления водными ресурсами в Республике Беларусь:

- Национальная стратегия устойчивого социально-экономического развития Республики Беларусь на период до 2030 года [3];

- Стратегия в области охраны окружающей среды Республики Беларусь на период до 2035 г. [4];

- Национальная стратегия управления водными ресурсами в условиях изменения климата на период до 2030 года [5];

- Национальный план действий по развитию «зеленой» экономики в Республике Беларусь на 2021–2025 годы [6];

- Комплекс мер по реализации обязательств Республики Беларусь по Протоколу по проблемам воды и здоровья к Конвенции по охране и использованию трансграничных водотоков и международных озер до 2030 г., утвержденного Министерством здравоохранения совместно с Министерством природных ресурсов и охраны окружающей среды и Министерством жилищно-коммунального хозяйства 17 марта 2021 г. [7] и др.

Важным фактором совершенствования Водного кодекса является необходимость отражения всех аспектов влияния изменения климата на водные ресурсы, что является одной из актуальных экологических проблем для стран мира, в том числе и для Республики Беларусь. Многие страны мира в последние десятилетия активно пересматривают национальное законодательство с учётом существующих климатических прогнозов и оценок возможного негативного воздействия изменения климата на устойчивое развитие государств.

Необходимо отметить, что практика правоприменения действующей редакции Водного кодекса выявила ряд пробелов в национальном водном законодательстве с позиции сохраняющихся тенденций изменения климата, как в глобальном, так и в региональном контексте:

- отсутствие правового регулирования предотвращения истощения водных ресурсов и восстановления водных объектов;

- отсутствие правового регулирования водопользования для объектов гидроэнергетики;

- необходимость совершенствования системы организации мониторинга поверхностных и подземных вод с введением научно-исследовательского мониторинга;

- отсутствие требований по организации систем водоотведения на участках граждан;

- отсутствие требований о необходимости обоснования и регулирования объемов изъятия воды из поверхностных водных объектов в условиях изменяющегося климата.

РУП «ЦНИИКИВР» в 2022 г. проведен постатейный анализ Водного кодекса Республики Беларусь, разработаны предложения по совершенствованию отдельных статей и проект Концепции комплексной переработки Водного кодекса Республики Беларусь.

Учитывая трансграничность водных ресурсов Республики Беларусь, анализ существующей практики правоприменения Водного кодекса проводился, в том числе, сравнением с аналогичными документами сопредельных государств и с учетом передовой мировой практики в области устойчивого управления водными ресурсами.

Таким образом, главная цель комплексной переработки Водного кодекса – совершенствование общественных отношений в области рационального (устойчивого)

использования и охраны водных ресурсов с учётом нарабатанной практики правоприменения и перспективной практики управления водными ресурсами в условиях изменяющегося климата.

В части унификации законодательства, осуществляемой в рамках интеграционных процессов Республики Беларусь и Российской Федерации, при разработке Концепции комплексной переработки Водного кодекса учтены отдельные положения Модельного Водного кодекса для государств-участников Содружества Независимых Государств и Водного Кодекса Российской Федерации от 3 июня 2006 г. № 74-ФЗ.

При разработке Концепции комплексной переработки Водного кодекса учтены предложения по корректировке статей действующей редакции Водного кодекса, изложенные органами государственного управления, Академией наук Беларуси и ее подведомственными организациями, территориальными органами и подведомственными организациями Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды.

Сопоставительный анализ основных международных документов и Модельного Водного кодекса для государств-участников Содружества Независимых Государств, а также анализ вышеизложенных факторов позволил определить и сформулировать следующие научно-обоснованные предложения по совершенствованию Водного кодекса Республики Беларусь:

1. Развитие терминологической части.
2. Регулирование предотвращения истощения водных ресурсов.
3. Уточнение вопросов, касающихся специального водопользования (видов специального водопользования, сроков водопользования, целей пользования водными объектами).
4. Уточнение классификации водных объектов, классификации сточных вод и вод, не относящихся к сточным.
5. Уточнение подходов к учету добываемых подземных вод, изымаемых поверхностных вод и сточных вод, сбрасываемых в окружающую среду.
6. Развитие вопросов очистки сточных вод.
7. Развитие вопросов эксплуатации водохозяйственных систем и отдельно расположенных гидротехнических сооружений и устройств.
8. Совершенствование ведения государственного водного кадастра, реестра поверхностных водных объектов.
9. Совершенствование системы мониторинга вод.
10. Экономическое регулирование водопользования и охраны вод.
11. Международное сотрудничество в области использования и охраны трансграничных вод.

Необходимо отметить, что вопросы истощения водных ресурсов, международного сотрудничества, экономического регулирования водопользования и охраны вод в действующей редакции Водного кодекса не отражены.

В соответствии с требованиями Закона Республики Беларусь от 17 июля 2018 г. № 130-З «О нормативных правовых актах» при подготовке законопроектов может предусматриваться разработка концепций законопроектов. В соответствии с тем, что Водный Кодекс является значительным по объему, сложным по содержанию и значимым по степени важности регулируемых общественных отношений нормативным правовым актом, Министерством природных ресурсов и охраны окружающей среды была предусмотрена разработка Концепции комплексной переработки Водного кодекса Республики Беларусь.

Таким образом, формирующиеся тенденции устойчивого водопользования в контексте изменений климата, принятие ряда стратегических документов, определяющих основные направления развития системы управления водными ресурсами, проводимые современные научные исследования в области использования и охраны вод, анализ практики правоприменения действующей редакции Водного кодекса, а также наличие пробелов в законодательстве об использовании и охране водных ресурсов, устаревших либо недостаточно эффективно действующих норм вызывают необходимость внесения изменений в действующую редакцию Водного кодекса. В кодификации нуждаются такие направления как

экономическое регулирование рационального использования и охраны вод, международное сотрудничество.

Разработанный проект Концепции комплексной переработки Водного кодекса Республики Беларусь в соответствии с действующим законодательством, в частности, с Положением о порядке организации и проведения общественных обсуждений проектов экологически значимых решений, экологических докладов по стратегической экологической оценке, отчетов об оценке воздействия на окружающую среду, учета принятых экологически значимых решений [8], в феврале 2023 г. прошел процедуру общественных обсуждений и в настоящее время проходит процедуру согласования в органах государственного управления.

#### Список литературных источников

1. Постановление Межпарламентской Ассамблеи государств – участников Содружества Независимых Государств от 16.11.2006 г. № 27-10 «О модельном Водном кодексе для государств – участников Содружества Независимых Государств».

2. Директива Европейского парламента и Совета 2000/60/ЕС от 23 октября 2000 г., устанавливающая рамочные положения о деятельности Сообщества в области водной политики // Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2000 establishing a framework for Community action in the field of water policy [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:32000L0060>. – Дата доступа: 14.05.2022.

3. Национальная стратегия устойчивого социально-экономического развития Республики Беларусь на период до 2030 года, одобрена на заседании Президиума Совета Министров Республики Беларусь от 2 мая 2017 г. № 10 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://economy.gov.by/uploads/files/NSUR2030/Natsionalnaja-strategija-ustojchivogo-sotsialno-ekonomicheskogo-razvitija-Respubliki-Belarus-na-period-do-2030-goda.pdf>. – Дата доступа: 10.02.2023.

4. Приказ Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь от 24 декабря 2021 г. № 370-ОД «Стратегия в области охраны окружающей среды Республики Беларусь на период до 2035 года» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://minpriroda.gov.by/uploads/files/strategija-oxr.okr.sredy-do-2035g.pdf>. – Дата доступа: 10.02.2023.

5. Постановление Совета Министров Республики Беларусь от 22 февраля 2022 г. № 91 «О Национальной стратегии управления водными ресурсами в условиях изменения климата на период до 2030 года» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://pravo.by/document/?guid=12551&p0=C22200091&p1=1>. – Дата доступа: 10.02.2023.

6. Постановление Совета Министров Республики Беларусь от 10 декабря 2021 г. № 710 «О Национальном плане действий по развитию «зеленой» экономики в Республике Беларусь на 2021-2025 годы» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://pravo.by/document/?guid=12551&p0=C22100710&p1=1>. – Дата доступа: 10.02.2023.

7. Комплекс мер по реализации обязательств, принятых Республикой Беларусь по протоколу по проблемам воды и здоровья к конвенции по охране и использованию трансграничных водотоков и международных озер 1992 года, до 2030 года [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://rspch.by/Docs/complex%20measures\\_17-03-2021\\_rus.pdf](http://rspch.by/Docs/complex%20measures_17-03-2021_rus.pdf). – Дата доступа: 10.02.2023.

8. Постановление Совета Министров Республики Беларусь от 14.06.2016 № 458 «Об утверждении Положения о порядке организации и проведения общественных обсуждений проектов экологически значимых решений, экологических докладов по стратегической экологической оценке, отчетов об оценке воздействия на окружающую среду, учета принятых экологически значимых решений» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://pravo.by/document/?guid=12551&p0=C21600458&p1=1>. – Дата доступа: 10.02.2023.

## **Перспективы применения напорных систем канализации, принципы расчета и проектирования**

Ануфриев В.Н.<sup>1</sup>, Алферчик В.В.<sup>1</sup>, Семикашева Э.Э.<sup>1</sup>, Волкова Г.А.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> *Белорусский национальный технический университет, г. Минск, Республика Беларусь, vladimir.anufriev@rambler.ru*

<sup>2</sup> *УО «Брестский государственный технический университет», г. Брест, Республика Беларусь, volga-brest@mail.ru*

**Резюме.** В статье рассмотрены условия применения напорных систем канализации для отведения сточных вод для объектов в сельской местности, населенных пунктов с низкой плотностью населения. Рассмотрены режим функционирования, устройство, принципы расчёта и проектирования напорных систем канализации и их элементов, в том числе, КНС, сети отводящих и сборных напорных трубопроводов и промывочных станций.

### **Prospects for the use of pressure sewer systems, principles of calculation and design**

Anoufriev V., Alferchik V., Slamikasheva E., Volkova G.

**Summary.** The article discusses the conditions for the use of positive pressure sewerage systems for wastewater disposal for facilities in rural areas, settlements with low population density. The mode of operation, device, principles of calculation and design of pressure sewerage systems and their elements, including sewage pumping stations, sewers and collection pressure pipelines and flushing stations are considered.

Организация водоотведения в сельских населенных пунктах, подключение к централизованной канализации больших участков с низкой плотностью населения, ферм, небольших групп зданий и отдельных объектов характеризуются рядом особенностей. При традиционных подходах в водоотведении относительные небольшие расходы сточных вод при большой протяженности сетей потребуют укладку трубопроводов с существенными уклонами для обеспечения незаиливаемых скоростей сточных вод. Для снижения глубины заложения трубопроводов применяется комбинация водоотведения по безнапорным трубопроводам с механическим водоподъемом, с подкачивающими канализационными насосными станциями. В этом случае предусматривается устройство ряда насосных станций, предназначенных для подъема сточных вод на определенную высоту, с последующим их самотечным отведением по безнапорным трубопроводам [1].

Напорная система канализации с отведением сточных вод под давлением может рассматриваться как альтернатива безнапорной системе водоотведения. Напорные канализационные сети целесообразно предусматривать при строительстве и реконструкции системы канализации, когда применение безнапорных сетей экономически нецелесообразно, технически затруднительно или невозможно. Преимущественно напорная система водоотведения применяют: в сельских населенных пунктах, при низкой плотности населения; при равнинном рельефе с низкими естественными уклонами; необходимости пересечения препятствий (водотоков, каналов, трубопроводов и т. д.); неблагоприятных грунтовых условиях (просадочные грунты, территория размещения выработок); при высоком уровне подземных вод, на затопляемых и подтопляемых территориях; при отведении сточных вод от временно эксплуатируемых объектов (кемпингов и т. д.).

Напорная система канализации представляет совокупность канализационных насосных станций (далее – КНС) небольшой производительности, отводящих сточные воды от отдельных зданий в кольцевую систему сборных трубопроводов. Такие системы также включают отводящие безнапорные трубопроводы от отдельных зданий к КНС отводящие напорные трубопроводы, промывочные станции. Схема системы напорной канализации приведена на рис. 1.

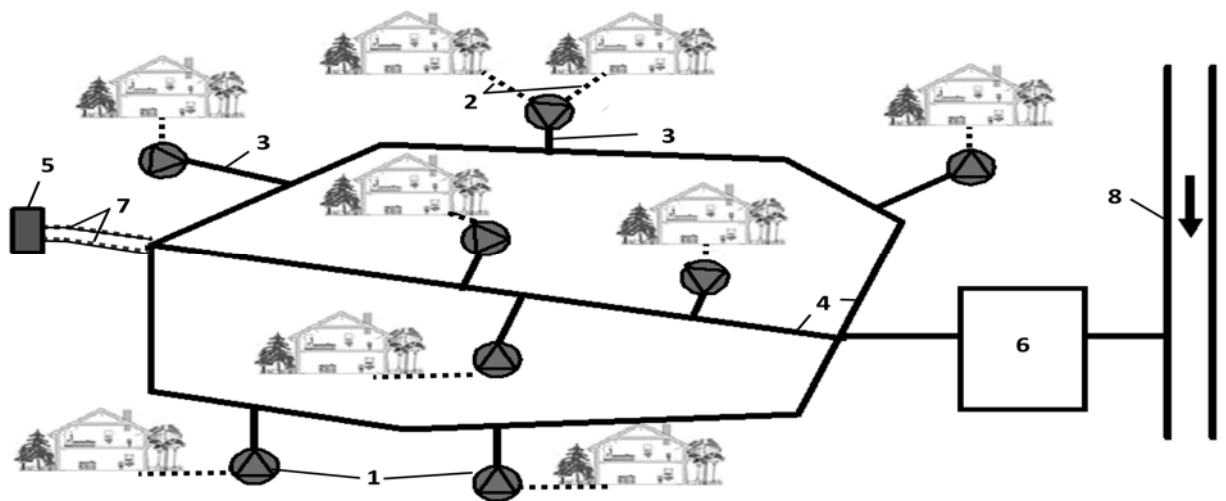


Рисунок 1 – Схема системы напорной канализации

- 1 – КНС; 2 – отводящий безнапорный канализационный трубопровод;  
 3 – напорный отводящий трубопровод; 4 – напорный сборный трубопровод;  
 5 – промывочная станция; 6 – очистные сооружения; 7 – воздуховоды; 8 – водоприемник

Магистральные и второстепенные сборные напорные трубопроводы могут быть спроектированы в виде кольцевой сети с одним или несколькими контурами. Сточные воды по напорным трубопроводам транспортируются на очистные сооружения или перекачиваются в трубопроводы сети безнапорной канализации.

Гидравлический режим функционирования напорной системы канализации характеризуется большими коэффициентами неравномерности и значительными колебаниями давления в трубопроводах. И как следствие насосные агрегаты КНС должны работать в большом диапазоне по давлению.

На КНС предусматривается применение преимущественно центробежных и эксцентриковых насосов. При использовании центробежных насосных агрегатов применяют насосы с условным шаровым проходом более 40 мм или насосы с режущим устройством. При подборе оборудования предпочтительно использовать насосы, обладающие характеристикой зависимости напора от подачи с высоким крутизной (рис. 2).

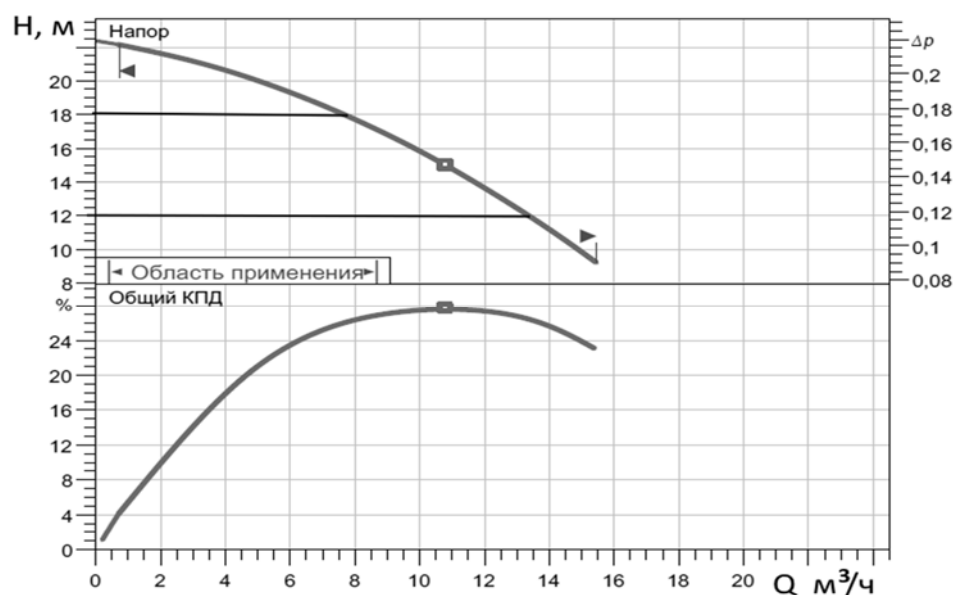


Рисунок 2 – Характеристика насоса марки МТС 32F22.17/20 с измельчающим устройством [2]

Параметр крутизны характеристики  $K$ , %, которую определяют отношением протяженности интервала диапазона напора на графике к протяженности соответствующего интервала диапазона подачи или по формуле:

$$k = \left[ (H_{0\max} - H_{\text{рклд}}) / H_{\text{рклд}} \right] \cdot 100, \quad (1)$$

где  $H_{0\max}$  – максимальный напор на характеристике насоса, м;  
 $H_{\text{рклд}}$  – напор при максимальном КПД, м.

КНС выполняются как без наземной части (с размещением оборудования в смотровых колодцах), так и с наземной частью (здание с размещением оборудования и запорно-регулирующей арматуры внутри помещений).

При применении КНС заводского изготовления используются, как правило, однокорпусные схемы с емкостями из пластмасс, стеклопластика, металла, железобетона. Емкости КНС выполняют водонепроницаемыми, устойчивыми к всплыванию.

Пневматическая промывочная станция предназначена для подачи сжатого воздуха в сборные напорные трубопроводы. Периодическая подача сжатого воздуха производится для сокращения продолжительности пребывания сточной воды в системе; удаления отложений при воздушно-водной промывке с созданием высокой скорости потока в сборных напорных трубопроводах; для поступления кислорода в сточные воды и снижения интенсивности образования сероводорода в сточных водах.

Производительность пневматической промывочной станции рассчитывают на случай промывки наиболее протяженного участка напорного сборного трубопровода. При расчете считается, что перед промывкой участка весь объем полости напорного сборного трубопровода заполнен сточной водой. С учетом диаметра сборного напорного трубопровода на расчетном участке избыточное давление продувки  $p_{\text{пр}}$ , Па, определяют по формуле:

$$p_{\text{пр}} = \lambda \cdot \rho \cdot \frac{l_{\text{тр}} v^2}{2D} - \rho g l_{\text{тр}} i, \quad (2)$$

где  $\lambda$  – коэффициент потерь на трение по длине трубопровода;  
 $\rho$  – плотность сточных вод, кг/м<sup>3</sup>;  
 $l_{\text{тр}}$  – длина части напорного сборного трубопровода, заполненной водой, м;  
 $v$  – скорость потока сточной воды, м/с;  
 $D$  – диаметр трубопровода, м;  
 $g$  – ускорение свободного падения, м/с<sup>2</sup>;  
 $i$  – уклон трубопровода.

Пневматическая промывочная станция оснащается компрессором и, при необходимости, дополнительно ресивером. Использование ресивера позволяет снизить мощность компрессора. Объем ресивера  $V_{\text{рес}}$ , м<sup>3</sup>, определяют по формуле:

$$V_{\text{рес}} = V_{\text{тр}} \cdot \frac{p_{\text{пр}} + p_{\text{а}}}{p_{\text{рес}} - p_{\text{пр}}}, \quad (3)$$

где  $V_{\text{тр}}$  – объем продуваемой части сборного напорного трубопровода, м<sup>3</sup>;  
 $p_{\text{пр}}$  – избыточное давление продувки, кПа;  
 $p_{\text{а}}$  – атмосферное давление, кПа;  
 $p_{\text{рес}}$  – давление воздуха в ресивере, кПа.

Продолжительность продувки составляет от 5 до 10 мин, с интервалами проведения продувок не более 4 ч, при этом скорость потока в трубопроводе предусматривается не менее 0,7 м/с.

При непосредственной подаче сжатого воздуха в сборный напорный трубопровод производительность компрессора  $Q_{\text{комп}}$ , м<sup>3</sup>/ч, определяют по формуле:

$$Q_{\text{комп}} = Q_{\text{пр}} \cdot \frac{p_{\text{пр}} + p_{\text{а}}}{p_{\text{а}}}, \quad (4)$$

где  $Q_{пр}$  – требуемый расход воздуха, который необходим для поддержания минимальной скорости потока в продуваемой части сборного напорного трубопровода, м<sup>3</sup>/ч;

$p_{пр}$  – избыточное давление продувки, кПа;

$p_a$  – атмосферное давление, кПа.

Трубопроводы напорной канализационной сети выполняются устойчивыми к химическому и биохимическому воздействию на материал трубы перекачиваемой сточной воды, а также воздействиям, вызванным внешними условиями; повышенной температуре (до 35 °С); механическому износу; внутреннему и внешнему давлению (до 1,0 МПа). Как правило, применяются напорные трубы из непластифицированного поливинилхлорида и полиэтилена.

Минимальный диаметр напорных трубопроводов принимают 65 мм. При использовании КНС с насосов с режущими устройствами допускается уменьшение диаметра до 50 мм. Для предотвращения заиливания минимальную скорость сточных вод принимают для отводящих и сборных напорных трубопроводов диаметром до 100 мм – 0,7 м/с, для сборных напорных трубопроводов диаметром свыше 100 до 150 мм – 0,8 м/с, для трубопроводов с диаметром свыше – 150 м/с.

Глубину заложения труб предусматривают с учетом предотвращения замерзания сточных вод в соответствии с требованиями СН 4.01.01 «Водоснабжение. Наружные сети и сооружения» [3].

Установка запорной арматуры предусматривается на каждом присоединении линий сборных напорных трубопроводов. Запорную арматуру размещают в смотровых колодцах или при помощи монтажа вне колодцев.

Применение напорных систем канализации позволяет уменьшить диаметры трубопроводов и глубина их заложения, предотвращать газовую коррозию труб вследствие гидролиза примесей в сточной воде. В данном случае не требуется поддержание равномерного уклона трубопроводов и строительства большого количества линейных смотровых колодцев. Вместе с тем система включает большое количество КНС небольшой производительности, которые подключены параллельно к сети.

При этом напорная система канализации характеризуется как техническое решение, отработанное на практике, позволяющее расширить возможности по обустройству объектов водоотведения.

#### Список литературных источников

1. СН 4.01.02–2019 «Канализация. Наружные сети и сооружения». – Минск, 2020.
2. Сайт предприятия WILLO SE [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://wilo.com/ru/ru/>.
3. СН 4.01.01–2019 «Водоснабжение. Наружные сети и сооружения». – Минск, 2020.

### **Современные тенденции влияния сточных вод на гидроэкологическую ситуацию в Московском регионе**

Долгов С.В.<sup>1</sup>, Коронкевич Н.И.<sup>1</sup>, Кашутина Е.А., Лукьянов К.В.<sup>1</sup>, Алентьев Ю.Ю.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Институт географии РАН, г. Москва, Россия, svdolgov1978@yandex.ru*

**Резюме.** На основе данных водохозяйственной статистики за 1995–2020 гг. установлены тенденции в изменениях водохозяйственной нагрузки на поверхностные водные объекты в Московском регионе. Выполнен анализ динамики объема загрязненных сточных вод в г. Москве, Московской области и соседних субъектах Российской Федерации. По 6 показателям (БПК<sub>полное</sub>, нефтепродукты, аммоний, нитраты, медь, минерализация) дана оценка их изменениям в составе сточных вод.

## Current trends in the wastewater influence on the Moscow region hydroecological situation

Dolgov S.<sup>1</sup>, Koronkevich N.<sup>1</sup>, Kashutina E.<sup>1</sup>, Lukyanov K.<sup>1</sup>, Alentyev Yu.<sup>1</sup>

**Summary.** From water statistics data for 1995–2020 trends of water management pressure on the Moscow region water bodies have been revealed. The dynamics analysis of polluted wastewater volumes in Moscow, Moscow region and neighboring subjects of the Russian Federation is carried out. According to 6 indicators (total BOD, petroleum products, ammonium, nitrates, copper, mineralization), their changes in the composition of wastewater are evaluated.

Несмотря на довольно большое количество публикаций, посвященных влиянию сточных вод на экологическое состояние водных ресурсов, остаются недостаточно изученными современные региональные особенности и тенденции этого влияния. Они представляют значительный интерес для оценки эффективности работы очистных сооружений и осуществления водоохраных мероприятий при реализации различных водохозяйственных проектов.

Цель данной работы заключается в выявлении современных тенденций (1995–2020 гг.) во влиянии сточных вод на экологическое состояние поверхностных водных объектов в Московском регионе и в их сопоставлении с тенденциями в соседних субъектах Российской Федерации. Основное внимание уделено динамике объема сбрасываемых в поверхностные водные объекты загрязненных сточных вод и содержанию в них загрязняющих веществ. В качестве исходной информации использованы данные, приведенные в водохозяйственных справочниках [1].

В Московском регионе сложилась напряженная гидроэкологическая ситуация [2]. Здесь находятся два субъекта Российской Федерации – г. Москва и Московская область, с весьма интенсивной антропогенной нагрузкой на водные ресурсы. При площади менее 0,3 % от всей площади России в них по состоянию на начало 2022 г. проживало около 15 % населения России. Существенное негативное влияние на экологическое состояние водных объектов оказывает диффузное загрязнение, поступающее со значительно трансформированной хозяйственной деятельностью территории, особенно с урбанизированных участков [3]. По сравнению с другими субъектами РФ доля сбрасываемых в поверхностные водные объекты сточных вод (суммы всех их видов) Московского региона во всем объеме сточных вод РФ наиболее высокая. По состоянию на 2018 г. она составляла 5,7 % (в том числе г. Москвы – 2,6 %, Московской области – 3,1 %).

К числу наиболее важных факторов экологического состояния водных ресурсов на территории Московского региона относятся загрязненные производственные и хозяйственно-бытовые сточные воды. Наибольший их объем сбрасывается в поверхностные водные объекты в г. Москве – в среднем за 1995–2020 гг. в 25 раз больше, чем, например, в Рязанской области и в 1,7 раза больше, чем в Московской области.

Анализ изменений за 1995–2020 гг. величины сброса загрязненных сточных вод в поверхностные водные объекты Московского региона по сравнению с 7 соседними областями (Владимирской, Калужской, Рязанской, Смоленской, Тверской, Тульской и Ярославской) показал, что доля объема загрязненных вод Московского региона в суммарном их объеме, несколько увеличилась (на 2 %). В 2020 г. она составила около 71 % (в том числе Москвы – 45 %, Московской области – 26 %). За 1995–2020 гг. доля Москвы в суммарном сбросе загрязненных вод сократилась (несмотря на расширение территории 01.07.2012) с 53–55 % до 30–35 %. Доля Московской области, напротив, возросла – с 16–17 % до 37–40 %.

Доля загрязненных вод в составе сточных вод г. Москвы с 1995 г. к 2010 г. сократилась (на 11 %) (рис. 1). Затем, вероятно, вследствие включения в состав г. Москвы территорий с менее эффективной системой водоочистки она возросла. В 2020 г. доля загрязненных вод (78 %) оказалась лишь на 3 % ниже, чем в 1995 г. Для Московской области характерен устойчивый рост доли загрязненных сточных вод за весь рассматриваемый период, что,



наряду со снижением в последние годы разбавляющей способности речного стока ( $15,7 \text{ км}^3$  в 2020 г. при среднем многолетнем стоке  $18,0 \text{ км}^3$ ) способствует ухудшению гидроэкологической ситуации (рис. 2).

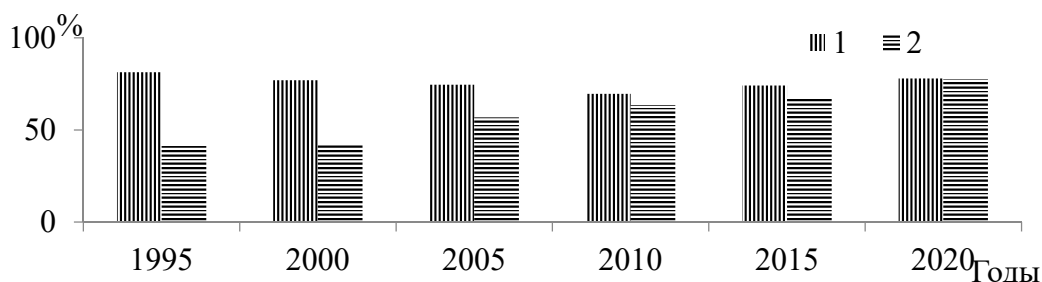


Рисунок 1 – Доля загрязненных вод в составе сточных вод  
1 – г. Москва; 2 – Московская область

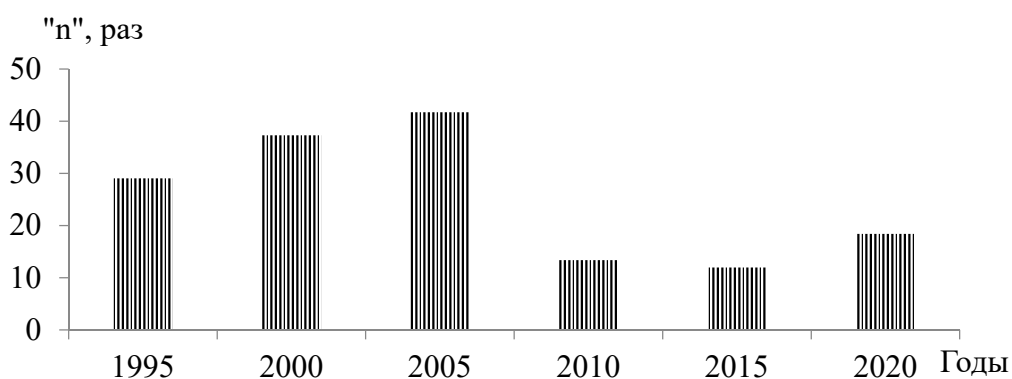


Рисунок 2 – Кратность разбавления речным стоком загрязненных сточных вод Московской области («n», раз)

Для более детальной оценки гидроэкологической роли сточных вод рассчитано среднее годовое содержание в них загрязняющих веществ за 1995-2020 гг. по каждому из 6 приоритетных показателей – содержание легко окисляемой органики (по показателю БПК<sub>полное</sub>), нефтепродуктов, азота аммонийного, нитратов, меди и количеству растворенных солей. Расчеты показали, что за анализируемый период в сточных водах г. Москвы и Московской области отмечается тенденция снижения содержания органики (с 1995 г. до 2020-х гг. соответственно с 3 до 1 и с 4 до 2 ПДК) (рис. 3). Уменьшилась также концентрация нефтепродуктов (с 13 до 2,5 и с 9 до 2 ПДК) (рис. 4) и меди (с 179 до 0,5 и с 9 до 1,2 ПДК) (рис. 5). Наиболее отчетливо выражена такая тенденция для сточных вод Московской области (в том числе в отношении их минерализации). В то же время в Москве она носит прерывистый характер, в 2010 и 2015 гг. наблюдался даже весьма существенный рост перечисленных показателей. По остальным показателям (нитраты и аммоний), как в г. Москве, так и в Московской области, тенденция сокращения концентрации загрязняющих веществ не прослеживается. Напротив, отмечался даже рост содержания нитратов (см. рис. 5). Практически не изменилось весьма высокое содержание аммонийного азота – в 2015–2020 гг. в г. Москве – 20–100 ПДК, в Московской области – 9–12 ПДК.

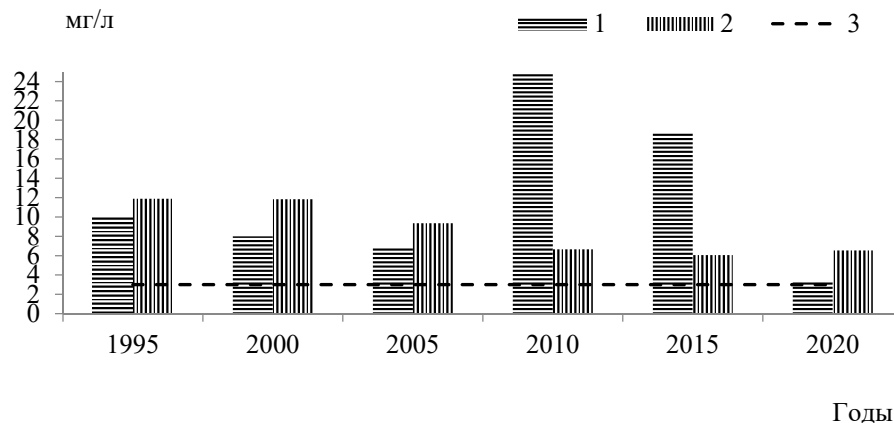


Рисунок 3 – Динамика содержания легко окисляемой органики в составе сточных вод  
1 – г. Москва; 2 – Московская область; 3 – ПДК рыбохозяйственный

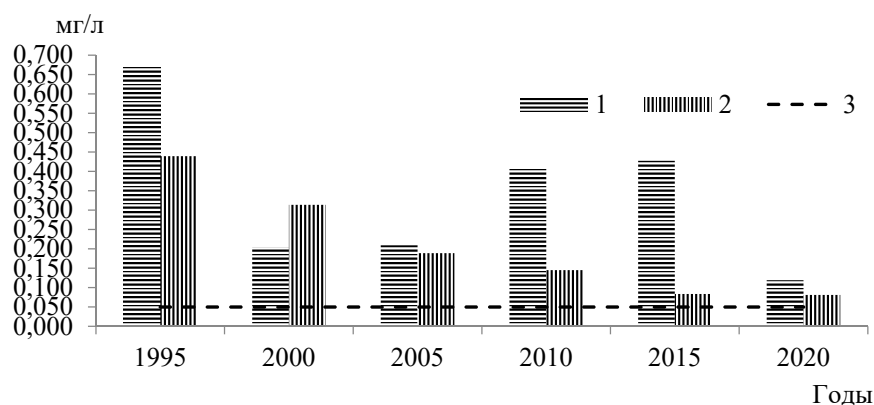


Рисунок 4 – Динамика содержания нефтепродуктов в составе сточных вод  
1 – г. Москва; 2 – Московская область; 3 – ПДК рыбохозяйственный

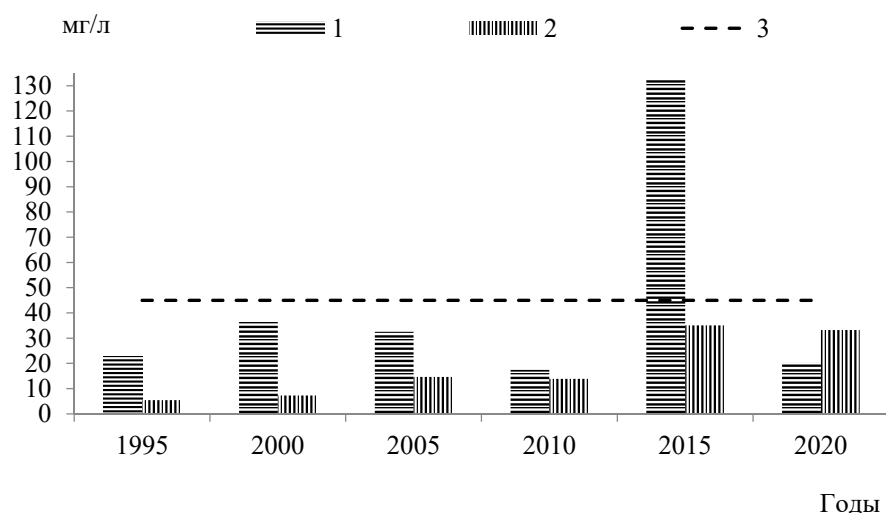


Рисунок 5 – Динамика содержания нитратов в составе загрязненных сточных вод  
1 – г. Москва; 2 – Московская область; 3 – ПДК рыбохозяйственный

Таким образом, за период 1995–2020 гг. вклад Московского региона в суммарный с соседними субъектами РФ объем загрязненных сточных вод увеличился на 2 %. Вклад г. Москвы снизился с 53–55 % до 30–35 %, а Московской области, напротив, возрос – с 16–17 % до 37–40 %.

В составе сточных вод Московского региона в последние годы отмечается довольно высокая доля загрязненных вод (77 % в 2020 г.). Устойчивый рост доли загрязненных вод (с 41 до 77 %) отчетливо выражен в Московской области, что, наряду с диффузным загрязнением и снижением в последние годы разбавляющей способности речного стока способствует ухудшению гидроэкологической ситуации.

Анализ динамики содержания загрязняющих веществ в составе сточных вод Московского региона за 1995–2020 гг. показал, что в отношении их минерализации, содержания легко окисляемой органики, нефтепродуктов и меди наблюдалась тенденция снижения этих показателей. Однако очистка продолжает оставаться недостаточно эффективной, особенно в отношении концентрации нитратов и аммонийного азота. Практически отсутствует контроль природоохранных органов за диффузным загрязнением водных объектов.

Исследование выполнено в рамках темы государственного задания Института географии РАН FMGE-2019-0007 (AAAA-A19-119021990093-8).

#### Список литературных источников

1. Ресурсы поверхностных и подземных вод, их использование и качество. (Ежегодное изд.). – СПб. ; М., 2001–2019.
2. Обзор состояния и загрязнения окружающей среды в Российской Федерации за 2021 год / отв. ред. Г. М. Черногаева. – М. : Росгидромет, 2022. – 219 с.
3. Коронкевич, Н. И. Антропогенные воздействия на сток реки Москвы / Н. И. Коронкевич, К. С. Мельник. – М. : Макс Пресс, 2015. – 168 с.

#### **Реестр коммунальных очистных сооружений сточных вод, как основа для формирования наилучших доступных технических методов очистки сточных вод населенных пунктов**

Ахмадиева Ю.И.<sup>1</sup>, Дубенок С.А.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Республиканское унитарное предприятие «Центральный научно-исследовательский институт комплексного использования водных ресурсов», г. Минск, Республика Беларусь, ahmadiyeva@cricuwr.by*

<sup>2</sup>*Белорусский национальный технический университет», г. Минск, Республика Беларусь, dsnega@list.ru*

**Резюме.** В статье представлены сведения о начальном этапе формирования наилучших доступных технических методов в области очистки сточных вод населенных пунктов, актуальность и значимость разработки которых была показана ранее [1]. Определены подходы к выбору объектов, подлежащих оценке на соответствие наилучшим доступным техническим методам и дальнейшему категорированию. Разработан уточненный перечень (реестр) очистных сооружений биологической очистки сточных вод населенных пунктов.

#### **Register of municipal wastewater treatment plants, as a basis for the formation of the best available technical methods for wastewater treatment in settlements**

Akhmadziyeva Y.<sup>1</sup>, Dubianok S.<sup>2</sup>

**Summary.** The article presents information about the initial stage of the formation of the best available technical methods in the field of wastewater treatment of settlements, the relevance and significance of the development of which was shown earlier [1]. Approaches to the selection of objects to be assessed for compliance with the best available technical methods and further categorization are defined. An updated list (register) of treatment facilities for biological wastewater treatment in settlements has been developed.

Наилучшие доступные технические методы (НДТМ) являются основным инструментом повышения экологической эффективности производственных процессов и создания условий для получения природопользователями комплексных природоохранных разрешений. Внедрение НДТМ в производственные процессы направлено на уменьшение и (или) предотвращение поступления загрязняющих веществ в окружающую среду, обеспечение ресурсо- и энергоэффективности производственных процессов, минимизацию количества отходов производства.

Внедрение наилучших доступных технологий стало эффективным инструментом экологической политики промышленных предприятий стран Европейского Союза и Российской Федерации, не ограничивающим при этом их технологическое развитие.

Концептуальные подходы наилучших доступных технологий основаны на достижении установленного уровня эмиссий за счет применения одной или нескольких технологий, причём на различных стадиях технологических процессов производства – от доставки, разгрузки и хранения сырья и материалов до обращения с образующимися отходами и сточными водами. При этом применительно к производственному процессу не существует одной наилучшей доступной технологии, а всегда используется комбинация технологий, позволяющих не только достичь необходимого экологического эффекта, но и минимизировать эксплуатационные затраты предприятия. Как следствие, применение наилучших доступных технологий позволяет предприятиям обеспечивать устранение расходов, обусловленных превышением допустимых уровней воздействия на окружающую среду.

Основанием для определения технологических процессов, оборудования, технических способов, методов в качестве наилучших доступных технологий является достижение наименьшего уровня негативного воздействия на окружающую среду, установленного в комплексных природоохранных (экологических) разрешениях, содержащих технологические показатели (нормативы сбросов, уровни эмиссий), разработанные на основе справочников (заключений, пособий) по наилучшим доступным технологиям [2]. При этом на начальном этапе необходимо определить перечень (реестр) объектов, подлежащих оценке на соответствие НДТМ и дальнейшему категорированию.

В 2021 г. указом Президента Республики Беларусь от 17.11.2011 № 528 «О комплексных природоохранных разрешениях» закреплён перечень объектов, оказывающих комплексное воздействие на окружающую среду, и обязанных иметь комплексное природоохранное разрешение и внедрять НДТМ для снижения поступления загрязнения в окружающую среду. В указанный перечень входят, в том числе, и объекты по очистке производственных сточных вод проектной мощностью 5 тыс. м<sup>3</sup> в сутки и более и (или) коммунальных сточных вод проектной мощностью 50 тыс. м<sup>3</sup> в сутки и более.

Остальные организации водопроводно-канализационного хозяйства (жилищно-коммунального хозяйства), осуществляют эксплуатацию очистных сооружений сточных вод населенных пунктов на основании комплексных природоохранных разрешений, либо разрешений на специальное водопользование.

Независимо от вида разрешительного документа, все природопользователи обязаны соблюдать мероприятия по предупреждению и устранению загрязнений окружающей среды, применять наилучшие доступные технические методы, ресурсосберегающие, малоотходные, безотходные технологии, способствующие охране окружающей среды, восстановлению природной среды, рациональному (устойчивому) использованию природных ресурсов и их воспроизводству.

При этом в настоящее время в республике не существует стандартизированной методологии, позволяющей обоснованно подходить к определению применяемых (проектируемых) технологий очистки сточных вод населенных пунктов в качестве НДТМ.

В ходе проведения исследования по формированию реестра коммунальных очистных сооружений сточных вод, подлежащих дальнейшей оценке на соответствие НДТМ, проанализированы данные реестра гидротехнических сооружений Государственного

водного кадастра Республики Беларусь [3], а также данные, представленные организациями водопроводно-канализационного хозяйства (жилищно-коммунального хозяйства), эксплуатирующими централизованные системы водоотведения (канализации).

Основываясь на современных мировых подходах к выбору технологических решений при строительстве, реконструкции очистных сооружений сточных вод, в качестве объектов для дальнейшего исследования выбраны очистные сооружения сточных вод населенных пунктов с биологической очисткой в искусственных условиях со сбросом очищенных сточных вод в поверхностные водные объекты (далее – ОС).

В соответствии с СТБ 17.06.02-03-2015 «Охрана окружающей среды и природопользование. Гидросфера. Классификация очистных сооружений сточных вод», сооружения биологической очистки сточных вод в искусственно созданных условиях включают: биологические фильтры, предусматривающие очистку преимущественно прикрепленными формами микроорганизмов, в том числе создающими биопленку на поверхности носителя; сооружения очистки сточных вод активным илом, предусматривающие использование свободноплавающих форм микроорганизмов; комбинированные сооружения.

По результатам исследований сформирован реестр, в который вошли 174 ОС, распределение которых в административно-территориальном разрезе приведено в табл.

Таблица – Сводные данные о количестве ОС и их проектной мощности

Область	Количество ОС, ед.	Проектная мощность ОС, м <sup>3</sup> /сут.		
		максимальная	минимальная	средняя
Брестская	17	105 000	1 400	17 493
Витебская	51	96 929	9	4 031
Гомельская	11	125 000	346	20 050
Гродненская	39	125 200	20	7 063
Минская	34	104 700	38	9 676
Могилевская	21	255 000	50	27 601
г. Минск	1	870 000	–	–
<b>Республика Беларусь</b>	<b>174</b>	<b>870 000</b>	<b>9</b>	<b>14 319</b>

Как видно из таблицы, распределение ОС по областям крайне неравномерно. Проектная мощность ОС представлена в широком диапазоне от минимального значения 9 м<sup>3</sup>/сут. (д. Курино Витебского района Витебской области) до максимального – 870000 м<sup>3</sup>/сут. (г. Минск). Средние значения в разрезе областей также существенно отличаются и, для Брестской, Гомельской и Могилевской областей составляют от 17493 м<sup>3</sup>/сут. до 27601 м<sup>3</sup>/сут., для Витебской, Гродненской и Минской областей составляют от 4031 м<sup>3</sup>/сут. до 9676 м<sup>3</sup>/сут.

При этом необходимо отметить, что в формируемый реестр не были включены очистные сооружения сточных вод населенных пунктов биологической очистки в естественных условиях, подавляющее большинство которых представлено полями фильтрации. Такое решение принято исходя из положений Национальной стратегии управления водными ресурсами в условиях изменения климата на период до 2030 года [4], а также Стратегии в области охраны окружающей среды Республики Беларусь на период до 2035 года [5], содержащих требования по переходу на современные методы очистки сточных вод с сокращением используемых площадей и выводом из эксплуатации полей фильтрации.

В заключении необходимо подчеркнуть, что ОС на территории Республики Беларусь представлены большим разнообразием конструктивных особенностей, технических характеристик и применяемых технологических решений. Учитывая экологическую значимость ОС и современные требования национального законодательства, организации

водопроводно-канализационного хозяйства (жилищно-коммунального хозяйства), эксплуатирующие такие объекты, вынуждены обеспечивать непрерывное повышение эффективности работы ОС, в том числе путем их реконструкции и модернизации. В этой связи, с целью минимизации рисков при выборе тех или иных технологических решений на этапе разработки проектной, предпроектной документации по объектам строительства, реконструкции ОС, необходимо определить критерии оценки технологий очистки сточных вод на соответствие их НДТМ. Для дальнейшего сбора, анализа и систематизации данных о применяемых в республике технологиях, изучения их экологической эффективности и экономической целесообразности, разрабатываемый реестр ОС с их основными характеристиками будет направлен организациям водопроводно-коммунального хозяйства (жилищно-коммунального хозяйства) для уточнения и дополнения в части применяемых технологий очистки сточных вод и обработки осадков.

#### Список литературных источников

1. Ахмадиева, Ю. И. Состояние и перспективы развития наилучших доступных технических методов в области очистки сточных вод населенных пунктов Республики Беларусь / Ю. И. Ахмадиева, С. А. Дубенок // Минские научные чтения – 2022 : сборник материалов V Международной научно-технической конференции, Минск, 7–9 декабря 2022 г. / БГТУ. – Минск, 2022.
2. Ахмадиева, Ю. И. Анализ подходов к внедрению наилучших доступных технологий по очистке сточных вод в Республике Беларусь и зарубежных странах / Ю. И. Ахмадиева, С. А. Дубенок // Трансграничное сотрудничество в области экологической безопасности и охраны окружающей среды: сборник материалов VI Международной научно-практической конференции, Гомель, 2–3 июня 2022 г. / Гомельский гос. ун-т им. Ф. Скорины ; редкол.: А. П. Гусев [и др.]. – Гомель, 2022. – С. 113–117
3. Официальный сайт РУП «Центральный научно-исследовательский институт комплексного использования водных ресурсов» [Электронный ресурс]. – URL: <http://195.50.7.216:8081/hydrotechnic/makelist/>. – Дата доступа: 15.02.2023.
4. О Национальной стратегии управления водными ресурсами в условиях изменения климата на период до 2030 года [Электронный ресурс] : постановление Совета Министров Респ. Беларусь, 22 февр. 2022 г., № 91 // ЭТАЛОН. Законодательство Республики Беларусь / Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. – Минск, 2023.
5. Об утверждении Стратегии в области охраны окружающей среды Республики Беларусь на период до 2035 года [Электронный ресурс] : приказ Министерства при родных ресурсов и охраны окружающей среды Респ. Беларусь, 24 дек. 2021 г., № 370-ОД // КонсультантПлюс. Беларусь / ООО «ЮрСпектр», Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. – Минск, 2023.

#### **Железосодержащий коагулянт для очистки сточных вод от мелкодисперсных и коллоидных примесей**

Залыгина О.С.<sup>1</sup>, Старовойтова Т.Л.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Белорусский государственный технологический университет, г. Минск, Республика Беларусь, zalyhina@mail.ru*

**Резюме.** Исследована возможность получения коагулянта из отхода литейного производства. Предложены условия получения коагулянта: разделение отхода магнитной сепарацией, обработка магнитной фракции 18%-ной HCl при соотношении твердой фазы к жидкой 1:7 при температуре 100 °С – 30 мин., хранение суспензии в течение 2 суток, разделение твердой и жидкой фаз фильтрованием.

#### **Iron-containing coagulant for wastewater treatment from fine and colloidal impurities**

Zalyhina V., Starovoitova T.

**Summary.** The possibility of obtaining a coagulant from foundry waste has been studied. Conditions for obtaining a coagulant are proposed: waste separation by magnetic separation,

processing of the magnetic fraction with 18% HCl at a solid-to-liquid ratio of 1:7 at a temperature of 100°C for 30 minutes, storage of the suspension for 2 days, separation of the solid and liquid phases by filtration.

Проблема очистки сточных вод с каждым годом становится все более актуальной как для нашей страны, так и для всего мира. В настоящее время на многих предприятиях образуются сточные воды, загрязненные мелкодисперсными и коллоидными примесями. Для их эффективной очистки используются различные коагулянты и флокулянты.

В настоящее время в Республике Беларусь коагулянты производит ООО «Ксанти-Инвест», созданное на базе производственных мощностей ОАО «Гомельский химический завод». Основным видом выпускаемой продукции является сульфат алюминия. Также выпуск коагулянтов осуществляется на ОАО «ТехноХимРеагентБел», расположенном в г. Гродно. Однако потребность в коагулянтах постоянно растет, значительную их часть приходится закупать за рубежом (в России, Китае и других странах). Кроме этого, в Республике Беларусь отсутствует сырьевая база для получения коагулянтов, что затрудняет организацию их производства.

Поэтому целью работы является получение коагулянтов из отходов производства.

Одним из производств, где образуются железосодержащие отходы, которые могут использоваться для получения коагулянтов, является металлургическое производство, широко представленное в Республике Беларусь. В основном оно сосредоточено на предприятиях холдинга ОАО «Белорусский металлургический завод – управляющая компания холдинга «БМК». Также литейно-металлургические производства в той или иной степени присутствуют практически на всех крупных машиностроительных предприятиях Беларуси. На сегодняшний день таких производств насчитывается более 60 [1].

В литейном производстве образуются такие отходы, как земля формовочная горелая, металлургические шлаки и железосодержащая пыль.

В настоящее время существует довольно много разработок по переработке металлургических шлаков и земли формовочной горелой [2]. Вопросам переработки железосодержащей пыли уделяется гораздо меньше внимания, возможно, вследствие меньшего количества её образования по сравнению с другими отходами литейного производства. Между тем, учитывая высокое содержание в ней железа, она является ценным вторичным материальным ресурсом, который может найти применение в различных отраслях промышленности, в частности, для производства железосодержащих коагулянтов.

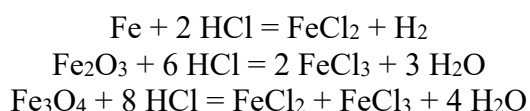
Железосодержащая пыль образуется в процессе очистки поверхности отливок разными способами: в барабанах периодического и непрерывного действия, в дробеструйных барабанах, на дробеметных столах, в дробеметных камерах и др. В соответствии с Классификатором отходов, образующихся в Республике Беларусь [3] железосодержащая пыль с вредными примесями относится к 3 классу опасности, без вредных примесей – к 4 классу опасности.

Для исследований была отобрана железосодержащая пыль (далее – ЖСП) одного из белорусских предприятий. Рентгенофазовый анализ свидетельствует о том, что основной кристаллической фазой ЖСП является кварцевый песок ( $\text{SiO}_2$ ). Установить, в какой форме в данном отходе присутствует железо не удалось, скорее всего, вследствие низкой чувствительности рентгенофазового анализа. Для уточнения состава отхода методом сканирующей электронной микроскопии был определён его элементный состав (масс. %): Si – 50,17; O – 40,06; Fe – 8,27; Al – 1,50. Для увеличения содержания железа была проведена магнитная сепарация, в результате которой отход был разделён на две фракции – магнитную и немагнитную. Элементный анализ показал, что содержание железа в магнитной фракции (далее – МФ) увеличилось до 47,79 масс.%. В состав этой фракции может входить не только металлическое железо, но и его оксиды ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), которые обладают магнитными свойствами. Рентгенофазовый анализ также свидетельствует о

наличии в МФ SiO<sub>2</sub>, возможно, за счёт его спекания с железом при высоких температурах, характерных для литейного производства. Высокое содержание железа в МФ изучаемого отхода литейного производства свидетельствует о целесообразности её использования для получения железосодержащего коагулянта.

Для получения коагулянта из магнитной фракции ЖСП ее обрабатывали 18%-ной соляной кислотой при различных соотношениях твердой и жидкой фазы и нагревали при температуре 100 °С в течение 30 минут (до прекращения выделения водорода) и отделяли оставшуюся твердую фазу фильтрованием.

При этом возможно протекание следующих реакций:



Соли образующихся катионов Fe<sup>3+</sup> и Fe<sup>2+</sup> являются хорошими коагулянтами, в результате гидролиза которых образуются крупные заряженные частицы, интенсифицирующие седиментацию мелкодисперсных и коллоидных примесей.

На основании проведённого эксперимента было установлено, что в твердой фазе остаточное содержание железа составляет около 1 масс.%. Для увеличения степени извлечения железа после нагревания суспензию выдерживали в течение различного времени (от 0,5 часа до 5 суток) при комнатной температуре. Элементный анализ показал, что полное извлечение железа из отхода наблюдается при времени хранения 2 суток. Результаты исследований при вышеназванных условиях представлены в табл. 1.

Таблица 1 – Концентрация Fe<sup>2+</sup>, Fe<sup>3+</sup>, Fe<sub>общ.</sub> в исследуемых растворах при обработке магнитной фракции ЖСП соляной кислотой, отфильтрованных после хранения в течение 2 суток

Объём 18%-ной HCl, мл	Концентрация, г/л		
	Fe <sup>3+</sup>	Fe <sup>2+</sup>	Fe <sub>общ.</sub>
20	17,12	107,70	124,82
25	17,91	109,43	127,34
30	18,36	105,53	123,89
35	22,92	107,06	129,98
40	21,35	103,01	124,36
50	22,57	99,88	122,45

На основании проведённых исследований были предложены следующие условия получения коагулянта из железосодержащей пыли литейного производства: разделение отхода магнитной сепарацией на магнитную и немагнитную фракции, обработка МФ 18%-ной соляной кислотой при соотношении твердой фазы к жидкой 1:7 при температуре 100 °С 30 мин., хранение суспензии в течение 2 суток, разделение твёрдой и жидкой фаз фильтрованием.

Для определения эффективности работы полученного экспериментального коагулянта (далее – ЭК) был приготовлен его рабочий раствор с концентрацией Fe<sup>3+</sup> 3 г/л. Исследования проводились на сточной воде ОАО «Керамин», содержащей мелкодисперсные и коллоидные примеси неорганического происхождения (частицы глины, глазури и др.). Очистка сточной воды с использованием экспериментального коагулянта осуществлялась при различных значениях pH. Результаты эксперимента при времени отстаивания 15 мин. представлены в табл. 2, из которой видно, что высокая эффективность очистки достигается при pH = 7. Параллельно проводился опыт с использованием в качестве коагулянта хлорида железа, выпускаемого промышленностью – промышленного коагулянта (далее – ПК).



Из таблицы видно, что эффективность очистки с использованием экспериментального коагулянта, полученного из отходов литейного производства, сопоставима, а в некоторых случаях даже выше, чем при использовании коагулянта FeCl<sub>3</sub>, выпускаемого промышленностью. Это может быть связано с образованием кремниевых кислот при обработке соляной кислотой магнитной фракции железосодержащей пыли литейного производства, так как в ее состав входит SiO<sub>2</sub>. При этом возможен процесс поликонденсации кремниевых кислот, сопровождающийся образованием поликремниевых кислот, которые являются хорошими флокулянтами, вследствие чего полученный коагулянт также будет проявлять флокулирующие свойства. Это, в свою очередь, способствует образованию крупных хлопьев, что интенсифицирует процесс очистки сточных вод от мелкодисперсных и коллоидных примесей.

Таблица 2 – Результаты очистки сточной воды с использованием коагулянтов

Доза коагулянта мг Fe <sup>3+</sup> на 1 л сточной воды	Эффективность очистки, %					
	pH 5		pH 6		pH 7	
	ПК	ЭК	ПК	ЭК	ПК	ЭК
1	54,87	55,61	66,22	68,93	81,55	82,93
2,5	57,11	57,88	69,87	71,18	90,43	92,42
5	58,99	60,13	70,54	72,23	91,17	94,96
7,5	61,34	62,67	73,88	74,26	94,48	96,20
10	63,25	63,14	74,35	75,69	95,99	98,27
12,5	64,77	61,78	75,66	74,99	96,73	98,71
15	61,55	59,98	74,23	74,32	95,81	96,58
20	60,29	60,02	73,42	74,57	95,44	97,11

Таким образом, железосодержащая пыль литейного производства может использоваться для получения коагулянта для очистки сточных вод от мелкодисперсных и коллоидных примесей.

#### Список литературных источников

1. Витязь, П. А. Анализ состояния литейных производств Республики Беларусь / П. А. Витязь, А. В. Толстой, М. А. Садоха // *Литье и металлургия*. – 2019. – № 3. – С. 35–40.
2. Утилизация вторичных материальных ресурсов в металлургии / К. А. Черепанов [и др.]. – М. : Металлургия, 1994. – 222 с.
3. Общегосударственный классификатор Республики Беларусь ОКРБ 021-2019 «Классификатор отходов, образующихся в Республике Беларусь»: утвержден постановлением Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь 9 сентября 2019 г. № 3-Т // *Нац. реестр правовых актов Респ. Беларусь*. – 2019. – № 8/34631.

#### Седиментационный анализ состояния активного ила

Игнатенко А.В.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Белорусский государственный технологический университет, кафедра биотехнологии, г. Минск, Республика Беларусь, ignatenko\_av@tut.by*

**Резюме.** Вспухание ила является одной из основных проблем городских очистных сооружений, обрабатывающих смешанные коммунально-бытовые и промышленные сточные воды. Обычно вспухание ила характеризуется по значению илового индекса, определение которого недостаточно эффективно. В работе проведен седиментационный анализ нормального и вспухшего активного ила городских очистных сооружений с целью проверки возможности использования скорости осаждения частиц для быстрой оценки состояния активного ила. Показано, что кинетика седиментации частиц нормального и вспухшего ила существенно различается и связана с различием их удельной плотности. Для

обнаружения вспухания ила предложено использовать индекс полидисперсности частиц. Наличие сильной обратной корреляционной связи между иловым индексом и индексом полидисперсности частиц позволяет в течение 10 мин. обнаруживать вспухание активного ила.

### **Sedimentation analysis of activated sludge condition**

Ignatenko A.

**Summary.** Sludge swelling is one of the main problems of urban wastewater treatment plants that process mixed municipal and industrial wastewater. Usually, the swelling of sludge is characterized by the value of the sludge volume index, the definition of which is not effective enough. The sedimentation analysis of normal and swollen activated sludge of urban sewage treatment plants was carried out in order to test the possibility of using the particle deposition rate for a quick assessment of the state of activated sludge. It is shown that the kinetics of sedimentation of normal and swollen sludge particles differ significantly and is associated with the difference in their specific density. To detect the swelling of sludge, it is proposed to use the polydispersity index of particles. The presence of a strong inverse correlation between the sludge volume index and the polydispersity index of particles makes it possible to detect the swelling of activated sludge within 10 minutes.

Биологическая очистка сточных вод с использованием микроорганизмов активного ила является основным процессом защиты окружающей среды в условиях сильного антропогенного воздействия. Данная технология уже более столетия широко используется в мировой практике очистки городских сточных вод [1].

Биочистка изначально предназначалась для удаления легко окисляемых органических веществ коммунально-бытовых сточных вод с постоянным составом, поэтому хорошо справлялась со своей задачей. При распространении ее на промышленные сточные воды, обладающие переменным составом, большим спектром тяжелых металлов, трудно разрушаемых ксенобиотиков на активный ил стала возлагаться задача очистки сточных вод, как от биогенных элементов, так и от трудно разлагаемых и токсичных веществ.

Способность ила накапливать различные вещества на своей поверхности приводит к его перегрузке, снижению биологической активности или гибели в зависимости от вида и концентрации загрязнителей.

Состояние активного ила характеризуется целым рядом физико-химических и биологических свойств. В технологической практике биочистки сточных вод широкое использование получил показатель илового индекса (I) [2]:

$$I = V / m \text{ (см}^3\text{/г)}, \quad (1)$$

который определяется отношением объема активного ила после отстаивания (V), отнесенным к  $m = 1$  г сухого вещества. Длительность процедуры осаждения ила при отстаивании на очистных сооружениях составляет 2 ч, при лабораторном анализе – 30 мин. После отстаивания биомасса ила отделяется фильтрованием, высушивается, взвешивается и рассчитывается иловый индекс. Данный показатель характеризует способность ила осаждаться, что важно для его отделения от очищенных сточных вод простым и дешевым методом отстаивания.

В соответствии с [3] значения илового индекса могут изменяться в пределах от 10 до 980 см<sup>3</sup>/г. Пределами значений I для нормального ила считаются 60–150 см<sup>3</sup>/г [2].

При иловом индексе выше 150 см<sup>3</sup>/г имеет место вспухание активного ила, которое является его естественной реакцией на неблагоприятные экологические условия: перегрузку токсичными и трудно окисляемыми веществами, недостаток кислорода и др. Это изменяет биологического состав ила и увеличивает содержание нитчатых форм бактерий, которые проявляют повышенную устойчивость к токсичным и балластным

веществам. При вспухании формируется рыхлый, плохо осаждаемый ил, что приводит к его выносу из вторичного отстойника вместе со сточными водами и загрязнению окружающей среды.

Из седиментационного анализа полидисперсных систем, к которым относится и активный ил, известно, что они способны к фазовому расслоению [4]. Для систем с концентрациями до 10 г/л, куда относится и активный ил, седиментация частиц с диаметром 10–1000 мкм и более, хорошо описывается уравнением Стокса. Это позволяет для контроля вспухания ила наряду с иловым индексом использовать скорость осаждения частиц.

Цель работы – анализ возможности использования скорости седиментации частиц ила для оценки его состояния.

В работе использовали образцы нормального активного ила Минской очистной станции МОС-1 с влажностью 99,0%, отобранные из илоуплотнителя, и образцы вспухшего активного ила г. Смолевичи с влажностью 99,2%.

Иловый индекс определяли в соответствии с [3]. Взвешивание образцов проводили с помощью цифровых весов Scout Pro (США) в диапазоне 0–200 г с погрешностью 10 мг.

За седиментацией частиц наблюдали методом светорассеивания. Для этого готовили водные суспензии ила с концентрацией 2 г/л. Образцы вносили в 1 см кюветы спектрофотометра Specord UV-VIS (Германия) и регистрировали изменение их оптической плотности при 600 нм от  $t$ . Скорость осаждения частиц ( $U_{\text{сед}}$ ) определяли, как:

$$U_{\text{сед}} = d(D/D_0)/dt \quad (2)$$

с помощью программы Microsoft Excel.

В соответствии с уравнением Стокса скорость оседания частиц  $U_{\text{сед}}$  связана с их радиусом уравнением:

$$r = \sqrt{\frac{U_{\text{сед}} \cdot 9\eta}{2(\rho - \rho_0)g}} \quad (3)$$

где  $\rho$ ,  $\rho_0$ ,  $\eta$ ,  $g$ , – плотность дисперсной фазы, воды, ее вязкость, сила гравитационного притяжения, которые определяются константой Стокса –  $K$ . Размеры частиц могут быть выражены как:

$$r = K \sqrt{U_{\text{сед}}} \quad (4)$$

На рис. 1, 2 приведен типичный вид изменения кинетики светорассеивания среды  $(D/D_0)_{600}$  при седиментации нормального ила с  $I = 120 \text{ см}^3/\text{г}$  и вспухшего ила с  $I = 347 \text{ см}^3/\text{г}$ .

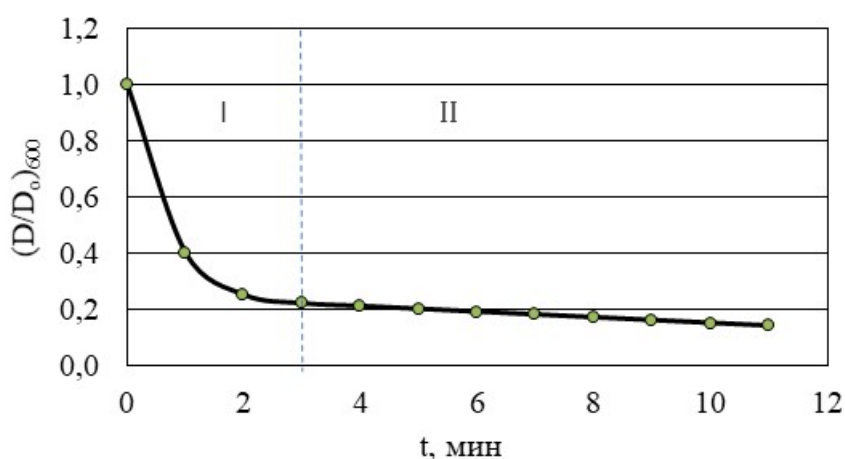


Рисунок 1 – Изменение светорассеивания среды при седиментации нормального активного ила

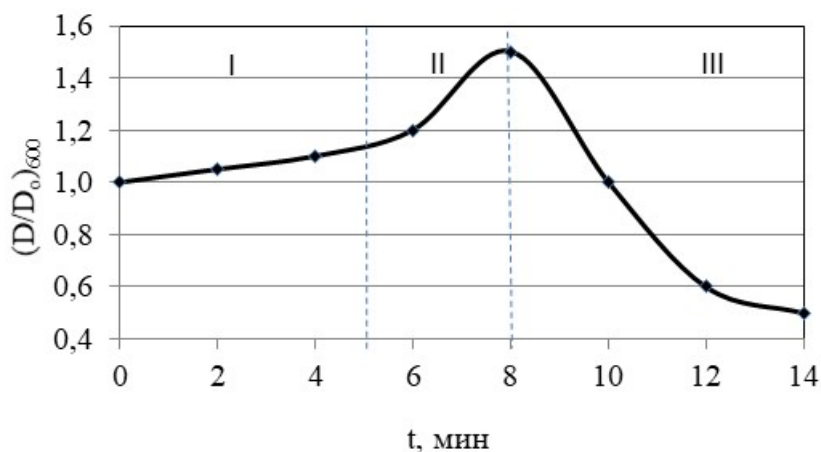


Рисунок 2 – Изменение светорассеивания среды при седиментации вспухшего активного ила

Как видно из рис. 1, 2, характер седиментации частиц нормального и вспухшего ила существенно различается. В случае нормального активного ила наблюдается 2-стадийный процесс: I (быстрое) и II (медленное) снижение  $(D/D_0)_{600}$ . Это указывает на осаждение в начале крупных частиц ила, затем мелких.

Для вспухшего ила отмечается наличие 3-х стадий (рис. 2): I (медленного), II (быстрого) роста, III – быстрого снижения  $(D/D_0)_{600}$  с выходом на стационарное значение в течение 15 мин, при этом сохраняется повышенное светорассеивание надосадочной жидкости по сравнению с нормальным илом (рис. 1).

Такое поведение нормального и вспухшего ила связано с различием их удельных плотностей, которые, соответственно, выше и меньше  $\rho_0 = 1 \text{ г/см}^3$  воды. Это приводит не к оседанию, а всплыванию и уплотнению вспухшего ила, что наблюдается, как медленный и быстрый рост светорассеивания среды. Далее уплотненный ил частично осаждается, что снижает  $(D/D_0)_{600}$  среды (рис. 2).

Для характеристики состояния активного ила наряду с иловым индексом можно применять показатель индекса полидисперсности частиц, найденный как:

$$IP = r_0 / r_t = \frac{\sqrt{U_0}}{\sqrt{U_t}} \quad (5)$$

где  $r_0, r_t$  – размеры движущихся частиц в начальный и текущий момент времени,  $U_0, U_t$  – начальная и текущая скорости осаждения частиц при  $t = 10$  мин отстаивания.

Для нормального ила с  $I = 120 \text{ см}^3/\text{г}$  величина  $IP = 9,31$ , а для вспухшего активного ила с  $I = 347 \text{ см}^3/\text{г}$  она составила  $IP = 0,35$  для  $t = 10$  мин. Данная величина не зависит от значения коэффициента  $K$  для одного типа ила, но существенно различается для нормального и вспухшего ила, что связано с различием их плотности и разным характером движения частиц.

Наличие сильной обратной корреляционной связи между значениями илового индекса  $I$  и индексом полидисперсности  $IP$  частиц ила ( $R = -0,93$ ) позволяет использовать значение  $IP$  для быстрой оценки состояния ила и обнаружения его вспухания. Длительность анализа при этом сокращается до 10 мин и снижается его трудоемкость.

#### Список литературных источников

1. Игнатенко, А. В. Анализ биологической очистки сточных вод и детоксикации активного ила очистных сооружений / А. В. Игнатенко // Химическая безопасность. – 2022. – Т. 6, № 1. – С. 21–46.
2. Жмур, Н. С. Технологические и биохимические процессы очистки сточных вод на сооружениях с аэротенками / Н. С. Жмур. – М. : АКВАРОС, 2003. – 512 с.
3. Комплект методик по гидрохимическому контролю активного ила: определение массовой концентрации активного ила, илового индекса, зольности сырого осадка, активного ила, прозрачности надильовой воды. – М. : АКВАРОС, 2008. – 33 с.
4. Романовский, С. И. Физическая седиментология / С. И. Романовский. – Л. : Недра, 1988. – 240 с.

## Водохозяйственная нагрузка на основные реки центрального региона России

Шапоренко С.И.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Институт географии Российской академии наук, г. Москва, Россия,  
ser-shaporenko@yandex.ru*

**Резюме.** Исследуются особенности водохозяйственных нагрузок на речной сток за счет изъятия воды из поверхностных и подземных источников и эффективности очистки сточных вод по отдельным участкам речных бассейнов Днепра, Волги и Дона в пределах России. Используется предложенный ранее комплексный параметр нагрузки. Максимальную нагрузку испытывают бассейны рек Москвы, Клязьмы, Оки, что отражается на качестве их вод (4 класса по удельному комбинаторному индексу загрязнения воды).

### Water management load on the main rivers of the central region of Russia

Shaporenko S.

**Summary.** The features of water management loads on river runoff due to the withdrawal of water from surface and underground sources and the efficiency of wastewater treatment in separate sections of the Dnieper, Volga and Don river basins within Russia are studied. The previously proposed complex load parameter is used. The maximum load is experienced by the basins of the rivers of Moscow, Klyazma, Oka, which affects the quality of their waters (4 classes according to the specific combinatorial index of water pollution)

Водохозяйственная деятельность служит одним из основных факторов антропогенной нагрузки на поверхностные водные объекты и во многом определяет их экологическое состояние. Актуальной задачей остается поиск способов ее снижения, одним из которых может быть оптимальное соотношение водопотребления из поверхностных и подземных источников. Для принятия планов мероприятий по ее ограничению при реализации различных водохозяйственных проектов необходима предварительная оценка нагрузки, которая может отображаться различными показателями. Часто им служит доля изъятия поверхностного речного стока, которая колеблется в зависимости от изменчивости водности и хозяйственных потребностей. Важным последствием водохозяйственной деятельности является загрязнение речных вод от сбросов сточных вод, который в этой работе учитывается косвенным образом.

Динамика заборов воды из поверхностных источников в бассейнах крупных северных рек, Волги и Дона показывает значительное их сокращение, начавшееся в постсоветский период и продолжавшееся примерно до середины 2000-х годов с дальнейшей стабилизацией и в некоторых случаях небольшого роста в 2010-х годах. Почти синхронно с объемами водозаборов вели себя показатели сбросов сточных вод и вместе с ними загрязняющих веществ [1, 2, 3, 8, 9]. При этом остается малозаметным фактом, что при снижении объемов загрязненных сточных вод почти не растут объемы очищенных стоков. Их доля от объемов, требовавших очистку, колеблется без выраженных многолетних трендов.

Автором был предложен комплексный показатель водохозяйственной нагрузки (далее – КПВН), который рассчитывается как отношение доли изъятия водного стока из поверхностных источников к доле очищенных сточных вод от общего количества стоков, подлежащих очистке [11]. Однако упомянутые подходы оценки антропогенной нагрузки не учитывают нагрузку на речной сток от изъятия подземных вод, которые в середине XX в. рассматривались как альтернатива поверхностным водным объектам, и доля их потребления росла. Считалось, что переход на их использование должен существенно снизить нагрузку на речные ресурсы, но впоследствии оказалось, что это не совсем так [4, 5, 6]. В 1990-е годы их использование стало также сокращаться, водопользование постепенно перешло на так называемый «компенсационный» режим использования

поверхностных и подземных вод, когда один тип источника замещает другой [7, 8]. Гидрогеологами стал учитываться так называемый ущерб поверхностному речному стоку за счет водозаборов подземных вод, а сведения об этом публиковаться в водохозяйственной статистике.

В работе впервые оценка нагрузки на речной сток рассчитана с учетом ущерба от использования подземных вод с применением скорректированного КПВН. Исходная статистическая информация в годовом разрезе о речном стоке, водозаборах из поверхностных и подземных источников, сбросах сточных вод в поверхностные водные объекты взята из ежегодников ГГИ «Ресурсы поверхностных и подземных вод».

Тенденции снижения объемов водозаборов поверхностных и подземных вод по бассейнам крупных рек центральной европейской части России за редкими исключениями приводит к снижению нагрузок на речной сток (табл. 1). Максимальную нагрузку (35–45 %), хотя и происходит ее снижение оказывает переброска волжских вод из Ивановского водохранилища в канал им. Москвы. В бассейне р. Москвы из поверхностных водных объектов изымается 19–20 %, в нижнем течении Дона около 10 %. В последнее десятилетие за счет этого фактора возросла нагрузка в бассейне Клязьмы и на участке Дона от г. Цимлянска до ст. Раздорской за счет маловодья реки до 13–16 %.

Таблица 1 – Нагрузка на водный сток рек за счет изъятия поверхностными и в скобках подземными водозаборами. Курсивом приведена доля подземных источников, все в %

Участок по створу	Периоды			Участок по створу	Периоды		
	1993–2000	2001–2009	2012–2019		1993–2000	2001–2009	2012–2019
1	2	3	4	5	6	7	8
Иваньковский гидроузел	87,71 (0,61) <i>3,1</i>	41,48 (0,40) <i>4,1</i>	42,07* (0,36) <i>4,5</i>	г. Лиски	7,23 (0,82) <i>51,4</i>	5,48 (0,52) <i>55,6</i>	4,89 (0,40) <i>53,1</i>
Углицкий гидроузел	0,56 (0,32) <i>61,1</i>	3,46 (0,21) <i>13,4</i>	8,55** (0,20) <i>23,4</i>	ст. Казанская	0,53 (0,60) <i>64,6</i>	0,22 (0,19) <i>75,1</i>	0,23 (0,16) <i>67,1</i>
Рыбинский гидроузел	2,04 (0,03) <i>4,0</i>	2,04 (0,02) <i>2,3</i>	1,12 (0,01) <i>2,8</i>	г. Цимлянск	3,79 (0,30) <i>33,5</i>	2,33 (0,24) <i>30,8</i>	0,65 (0,18) <i>54,4</i>
Нижегородский гидроузел	4,19 (0,03) <i>3,1</i>	4,11 (0,04) <i>2,6</i>	4,34 (0,02) <i>1,3</i>	ст. Раздорская	9,87 (0,86) <i>15,5</i>	9,97 (1,13) <i>14,8</i>	13,28 (1,26) <i>13,9</i>
Чебоксарский гидроузел	5,03 (0,65) <i>29,1</i>	4,05 (0,60) <i>29,8</i>	3,49 (0,50) <i>29,0</i>	Устьевой участок	18,28 (0,12) <i>2,7</i>	8,28 (0,08) <i>3,1</i>	10,01 (0,07) <i>2,6</i>
Жигулевская ГЭС	2,27 (0,25) <i>20,9</i>	2,16 (0,22) <i>17,1</i>	1,58 (0,20) <i>20,9</i>	Водосбор всей р. Дон	7,70 (1,58) <i>16,4</i>	4,62 (1,49) <i>19,4</i>	3,93 (1,61) <i>17,0</i>
Саратовская ГЭС	0,56 (0,06) <i>17,4</i>	0,44 (0,05) <i>17,6</i>	0,32 (0,04) <i>19,8</i>	-	-	-	-

1	2	3	4	5	6	7	8
Волгоградская ГЭС	0,71 (0,01)	0,47 (0,01)	0,05 (0,00)	р. Ока – устье	11,01 (1,63)	8,33 (1,43)	8,15 (1,32)
	4,4	3,6	8,4		30,9	32,2	31,1
с. Верхнее Лебяжье	0,33 (0,00)	0,26 (0,00)	0,54 (0,00)	р. Москва – устье	37,49 (2,96)	30,52 (2,52)	21,65 (2,18)
	0,8	0,7	1,7		18,2	19,3	22,7
Устьевой участок	0,40 (0,00)	0,23 (0,00)	0,16 (0,00)	р. Клязьма – устье	8,70 (3,22)	6,71 (3,06)	15,63 (2,30)
	0,1	0,5	0,0		54,2	59,5	32,4
Водосбор всей реки Волга	9,34 (0,62)	7,87 (0,58)	6,66 (0,50)	р. Днепр – г. Смоленск	2,51 (1,46)	2,29 (1,28)	0,79 (1,14)
	15,8	15,2	15,7		54,7	58,8	73,6

*Примечания:*

\* Без учета экстремально маловодного 2015 г. (нагрузка 145 %) средняя величина за период равна 27,3 %.

\*\* Без учета экстремально маловодного 2014 г. (нагрузка 37,6 %) средняя величина за период равна 4,40 %.

При снижении водозаборов доля подземных вод в большинстве бассейнов испытывает колебания обычно без резких трендов. В последнее десятилетие произошло существенное снижение доли подземных вод в бассейнах Клязьмы с 57–62 до 30–35 % и увеличение на участках Дона от ст. Казанская до г. Цимлянска и в локальном бассейне Угличского водохранилища (соответственно с 27–32 до 53–56 и с 3 до 44–47 %). В бассейне р. Москвы доля подземных вод колеблется в пределах 18–25 % последние три десятилетия. В российской части бассейна Днепра доля подземных вод наиболее высокая (70–80 %), а нагрузка на речной сток за счет водозаборов из поверхностных объектов стала одна из наиболее низких по всему региону (менее 1 %).

Нагрузка от забора подземных вод в большинстве бассейнов менее 1 %. В бассейне Днепра, Оки и на участке течения Дона от г. Цимлянска и ст. Раздорской составляет 1–2,5 %. В бассейнах Москвы и Клязьмы ее средняя величина колеблется в пределах 2,2–3,2 %. При невысоких показателях относительно речного стока доля нагрузки от забора подземных вод относительно суммарной нагрузки гораздо существенней: на водосборах Угличского, Чебоксарского, Куйбышевского, Саратовского водохранилищ и в бассейне Оки она составляет 10–15 %, на участке от г. Лиски до ст. Казанская превышает 40 %, снижаясь к створу г. Цимлянска до 22 %. Самая высокая доля нагрузки от забора подземных вод в бассейне Днепра, где она в последнее десятилетие возросла до 60 %.

Нагрузку от сбросов загрязненных сточных вод более объективно можно оценить по эффективности работы очистных сооружений, которую характеризует доля нормативно очищенных сточных вод от общего их количества, требовавших очистку [11]. В последнее десятилетие данный показатель наиболее высокий в нижнем течении Волги от Волгоградского водохранилища до створа с. В. Лебяжье (в среднем 43 %). На водосборах Рыбинского и Волгоградского водохранилищ соответственно 38 и 35 % (табл. 2). Минимальны доли очищенных стоков в бассейнах р. Москвы и Оки (соответственно 1–2,7 и 1,6–6,1 %). В бассейне Днепра в последнее десятилетие произошло увеличение по сравнению с предыдущим в среднем с 0,34 до 4,36 %, а в 2019–2020 гг. резко до 30 %.

Таблица 2 – Доля нормативно очищенных сточных вод от общего количества, требовавших очистку (в числителе) и комплексный параметр водохозяйственной нагрузки (в знаменателе) %. В скобках комплексный показатель без учета ущерба от забора подземных вод

Участок по створу	Периоды		Участок по створу	Периоды	
	2001–2009	2012–2019		2001–2009	2012–2019
Иваньковский гидроузел	26,25 / 157	24,12 / 176	г. Лиски	9,99 / 63,2	3,12 / 180
Угличский гидроузел	11,60 / 45,3	14,12 / 63,4	ст. Казанская	45,2 / 0,89	7,17 / 10,24
Рыбинский гидроузел	24,65 / 54,0	38,10 / 3,25	г. Цимлянск	3,99 / 72,2	14,6 / 13,37
Нижегородский гидроузел	1,37 / 355	6,64 / 68,3	ст. Раздорская	51,1 / 22,5	23,5 / 67,0
Чебоксарский гидроузел	6,23 / 77,8	3,06 / 160	Устьевой участок	10,3 / 93,9	7,07 / 143
Жигулевская ГЭС	14,11 / 17,4	13,41 / 17,0	Водосбор р. Дона	19,7 / 115	10,1 / 277
Саратовская ГЭС	22,07 / 2,21	15,00 / 5,31	р. Ока – устье	7,16 / 142	2,61 / 426
Волгоградская ГЭС	- / -	34,79 / 0,23	р. Москва – устье	4,52 / 805	1,42 / 1952
с. Верхнее Лебяжье	- / -	42,67 / 1,55	р. Клязьма – устье	0,73 / 1120	5,24 / 894
Водосбор р. Волги	9,81 / 87,2	9,69 / 77,6	р. Днепр – Смоленск	0,34 / 1142	4,36 / 356

КПВН на речной сток экстремально высокий в бассейне р. Москвы и Клязьмы, потом на водосборах Днепра и Дона (см. табл. 2). Почти одинаково высоки значения показателя в верхних течениях Волги и Дона (около 180 %). В первом случае за счет большого объема изъятия речного стока, во втором – плохой очистки сточных вод. Минимальный показатель нагрузки (около 1 %) в нижнем течении Волги (участок Волгоградского водохранилища до створа В. Лебяжье). Учет ущерба на речной сток от забора подземных вод увеличивает КПВН в среднем в 1,16 раза (максимум в 2,5 раза для бассейна Днепра) в зависимости от доли подземных вод в общем объеме и гидрогеологических условий.

В большинстве створов сети Росгидромета качество воды в основном отражает распределение водохозяйственной нагрузки, колеблясь по показателю УКИЗВ между разрядами 3а (загрязненная) – 4а (грязная), в р. Москве ухудшаясь до разряда 4в (очень грязная).

Российская часть бассейна Днепра (по створу г. Смоленск) отличается от многих остальных речных бассейнов ЦФО относительно небольшой нагрузкой на речной сток основной реки от водозаборов из поверхностных водных объектов (0,7–1 %), наиболее высокой долей заборов подземных вод (74 %), средней величиной нагрузки от водозаборов подземных вод (1–1,3 %) и наибольшей долей нагрузки от водозабора подземных вод (в среднем в последнее десятилетие почти 60 %). В бассейне реки долгое время была очень низкая эффективность работы очистных сооружений. В 2019–2020 гг. доля очищенных вод резко возросла до 30 %. Самый низкий показатель остается в бассейнах рек Москвы, Оки и Чебоксарского водохранилища. До 2018 г. бассейн Днепра характеризовало высокое значение КПВН, в 1,3 и 4,6 раза хуже, чем в бассейне Дона и Волги соответственно. В последние годы он снизился до 4,5–6,4 %. Среднеголетние нагрузки соответствуют средним по региону гидрохимическим характеристикам качества воды на уровне разрядов 3а и 3б по УКИЗВ, в отдельных створах мониторинга улучшаясь до второго разряда слабо загрязненной около г. Задонска на Дону и некоторых притоков р. Днепра.

*Работа выполнена при поддержке РФФ: грант № 20-17-00209.*



## Список литературных источников

1. Азово-Донская водная проблема / Болгов М. В. [и др.] // Водные ресурсы. – 2020. – Т. 47, № 6. – С. 755–766.
2. Водные ресурсы бассейна Дона и их экологическое состояние / Джамалов Р. Г. [и др.]. – М. : ГЕОС, 2017. – 205 с.
3. Масштаб и многолетняя динамика загрязнения бассейна Оки / Джамалов Р. Г. [и др.] // Вода и экология: проблемы и решения. – 2021. – № 2 (86). – С. 39–53.
4. Зекцер, И. С. Подземные воды как компонент окружающей среды / Зекцер И. С. – М. : Науч. мир, 2001. – 327 с.
5. Ковалевский, В. С. Влияние изменений гидрогеологических условий на окружающую среду / Ковалевский В. С. – М. : Наука, 1994. – 138 с.
6. Львович, М. И. Реки СССР / М. И. Львович. – М. : Изд-во «Мысль», 1971. – 350 с.
7. Филимонова, Е. А. Анализ баланса эксплуатационного водоотбора с использованием комбинированной водозаборной системы / Филимонова Е. А. // Вестник Московского ун-та. – 2009. – № 4. – С. 63–66. – Сер. 4. Геология.
8. Шапоренко, С. И. Водохозяйственная нагрузка на водосборы северных рек России и ее влияние на качество вод в устьях / С. И. Шапоренко // Научные проблемы оздоровления Российских рек и пути их решения : Всероссийская научная конференция с международным участием, г. Нижний Новгород, 8–14 сентября 2019 г. : сб. научных трудов. – М., 2019. – С. 559–565.
9. Шапоренко, С. И. Современные тенденции водохозяйственной деятельности на водосборе Волги и изменений ее водности: их возможное влияние на гидрохимические характеристики устьевой зоны / Шапоренко С. И., Георгиади А. Г. // Труды ИБВВ РАН. – 2018. – Вып. 83 (86). – С. 7–22.
10. Штенгелов, Р. С. Обоснование гидрогеодинамических условий для организации комбинированных водозаборных систем / Штенгелов Р. С., Филимонова Е. А., Маслов А. А. // Известия высших учебных заведений. Геология и разведка. – 2012. – № 1. – С. 43–48.
11. Shaporenko, S. I. Water management load on water resources of the Volga reservoirs / S. I. Shaporenko // IOP Conf. Ser. : Earth Environ. Sci. 834 012020. The VIII All-Russian scientific-practical conference with international participation «Modern problems of reservoirs and their catchments», 27–30 May 2021, Perm State University, Russian Federation. – 2021. – 7 p.

### **Нормирование сбросов сточных вод в окружающую среду на предприятиях молочной промышленности**

Захарко П.Н.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Республиканское унитарное предприятие «Центральный научно-исследовательский институт комплексного использования водных ресурсов», г. Минск, Республика Беларусь, polina.k.85@mail.ru*

**Резюме.** Предприятия молочной промышленности постоянно наращивают объемы производственных мощностей, что приводит к увеличению объема сброса сточных вод в окружающую среду. В сложившихся условиях детализация факторов, оказывающих влияние на водопользование и качественный состав сточных вод, является важным этапом при нормировании сбросов сточных вод в окружающую среду предприятиями молочной промышленности.

### **Rationing of wastewater discharges into the environment at dairy industry enterprises** Zakharko P.

**Summary.** Dairy industry enterprises are constantly increasing their production capacity, which leads to an increase in the volume of wastewater discharged into the environment. Under the current conditions, detailing the factors that affect water use and the qualitative composition of wastewater is an important step in the regulation of wastewater discharges into the environment by dairy industry enterprises.

Активное наращивание производственных мощностей молочной промышленностью, расширение видов и ассортимента молочных продуктов позволило ей последние пять лет занять лидирующие позиции по объемам производства молочных продуктов среди производства основных видов продуктов питания, таких как: мясные и рыбные продукты, плодоовощные консервы, растительные масла, макаронные изделия, сахар, соль, шоколад.

Предприятия по производству молочных продуктов являются достаточно водоемкими, водопользование которых зависит от ряда факторов:

– ассортимента исходного сырья для производства продукции и видов производимой продукции;

– диверсификации производственных процессов;

– образования и переработки побочных продуктов, что зачастую приводит к увеличению объема образования сточных вод по отношению к объёму водопотребления;

– технологии санитарной обработки оборудования.

Приведенные факторы также оказывают влияние на качественный состав сточных вод предприятий по производству молочных продуктов, ухудшая либо улучшая их качество:

1. качество поступающего сырья: при поступлении на предприятие несвежей сыворотки (закисленной) увеличивается показатель ХПК по отношению к низкому значению БПК<sub>5</sub>; при поступлении молока с высокой долей механических и микробиологических примесей увеличивается количество осадка, сбрасываемого из сепаратора в канализацию (ухудшает качество);

2. виды производимых продуктов в течение суток (ухудшает качество);

3. технологии производства продукции (ухудшает качество);

4. организация уровня возврата моющих средств при санитарных обработках (при циркуляции моющих – улучшает качество, при сбросе моющих - ухудшает качество);

5. виды используемых моющих и дезинфицирующих средств (ухудшает качество);

6. режимы санитарных обработок оборудования: в случае если, после мойки наблюдаются превышения по бак-анализу, оборудование автоматически включается на повторную мойку (улучшает качество);

7. наличие мембранных установок по переработке молока, сыворотки (ухудшает качество).

Проведенный анализ данных государственной статистической отчетности 1-вода (Минприроды) за период 2016–2020 гг. показал, что предприятия по производству молочных продуктов увеличивают объемы отведения (сброса) сточных вод как в систему канализации предприятий водопроводно-канализационного хозяйства (ВКХ), жилищно-коммунального хозяйства (ЖКХ), так и в окружающую среду (табл.) [1].

Таблица – Объемы сброса (отведения) сточных вод за период 2016–2020 гг.

Год	Всего образовано сточных вод, тыс. м <sup>3</sup> /год	Отведено в систему канализации ВКХ (ЖКХ), тыс. м <sup>3</sup> /год	Сброшено в окружающую среду, тыс. м <sup>3</sup> /год					Водоне-проницаемый выгреб, тыс. м <sup>3</sup> /год
			всего, из них	поля фильтрации	водоток	водоем	земляной накопитель и тех. водный объект	
2016	21 984	18 385	3 590	2 202	1 338	17	33	9
2017	23 884	20 695	3 181	2 200	936	15	31	7
2018	25 230	21 348	3 869	2 044	1 783	16	26	14
2019	26 382	21 835	4 526	2 002	2 474	12	38	21
2020	27 289	22 554	4 716	2 167	2 499	24	25	19

При этом необходимо отметить, что до 2019 года из общего объема сточных вод, сброшенных в окружающую среду, наибольший объем сточных вод поступил на поля фильтрации (2016 год – 61 %, 2017 год – 69 %, 2018 год – 53 %), в 2019 году объем сброса сточных вод в водные объекты составил 55 %, в 2020 году – 54 %, от общего объема сточных вод, сброшенных в окружающую среду.

Наблюдаемая последняя 10 лет динамика выхода предприятий по производству молочных продуктов на водные объекты, связана с ужесточением условий отведения производственных сточных вод в централизованную систему водоотведения (канализации) населенного пункта, что потребовала строительства от предприятий локальных очистных сооружений сточных вод.

Для большинства предприятий по производству молочных продуктов, для достижения установленных допустимых концентраций на городскую канализацию, необходимо строительство помимо сооружений механической и физико-химической очистки, сооружений биологической очистки, что требует значительных финансовых затрат. Поэтому предприятиям выгодней вложить финансовые средства в сооружения полной биологической очистки и организовать самостоятельный выпуск сточных вод в водный объект.

При этом выпуски сточных вод после очистных сооружений биологической очистки в искусственных условиях в основном организованы в малые водотоки, расход которых меньше расхода сбрасываемых сточных вод, что оказывает существенную антропогенную нагрузку на водотоки как по объему, так и по массе поступления загрязняющих веществ.

В настоящее время нормирование сбросов сточных вод в водные объекты осуществляется в соответствии с требованиями ЭкоНиП 17.06.02-002-2021 «Правила расчета нормативов допустимых сбросов химических и иных веществ в составе сточных вод» [2], а также постановления Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь от 26 мая 2017 г. № 16 «О нормативах допустимых сбросов химических и иных веществ в составе сточных вод» (далее – постановление Минприроды №16) [3].

Согласно постановлению Минприроды № 16 для предприятий по производству молочных продуктов установлен следующий обязательный перечень нормируемых загрязняющих веществ в составе сточных вод: водородный показатель (рН); БПК<sub>5</sub>; ХПК<sub>Сг</sub>; взвешенные вещества; аммоний-ион; азот общий; фосфор общий; минерализация; хлорид-ион; сульфат-ион; СПАВ анионоактивные; *специфические загрязняющие вещества*.

К специфическим загрязняющим веществам, учитывая этапы осуществления технологических процессов, необходимо относить следующие вещества:

– железо общее – при наличии на предприятии станции обезжелезивания питьевой воды либо фильтров обезжелезивания в составе водоподготовке котловой воды, либо водоподготовки воды для мембранных установок;

– нефтепродукты – для всех предприятий по производству молочных продуктов за счет наличия участков наружного обмыва автомолцистерн.

Также необходимо учитывать использование коагулянтов при наличии сооружений физико-химической очистки в составе очистных сооружений биологической очистки в искусственных условиях. Зачастую используются алюмосодержащие либо железосодержащие коагулянты. Тогда к специфическим загрязняющим веществам будут отнесены железо общее либо алюминий.

Согласно таблице 1 значительный объем сточных вод от предприятий молочной промышленности сбрасывается на поля фильтрации. Действующие поля фильтрации эксплуатируются более 30–40 лет и в основном включают неэффективно работающие сооружения механической очистки.

Так, если подходы к нормированию сбросов сточных вод в водные объекты в настоящее время в законодательстве Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь отрегулированы, то подходы к нормированию сбросов сточных вод в подземные горизонты с использованием полей фильтрации требуют уточнения.

В настоящее время в разрешениях на специальное водопользование (комплексных природоохранных разрешениях) устанавливается только объем сброса сточных вод на поля

фильтрации, но не устанавливаются допустимые концентрации в составе сточных вод, поступающих на поля фильтрации.

Законодательством Министерства архитектуры и строительства Республики Беларусь отрегулированы только вопросы допустимой гидравлической нагрузки сточных вод на поля фильтрации, но не отрегулированы вопросы качественного состава сточных вод, поступающих на сооружения механической очистки, сооружения естественной биологической очистки путем фильтрации через почвенный слой грунта.

Таким образом, необходимо дополнить технические нормативные правовые акты Минприроды подходами к установлению допустимых концентраций загрязняющих веществ в составе сточных вод на входе и выходе сооружений механической очистки, технические нормативные правовые акты Министерства архитектуры и строительства Республики Беларусь требованиями по допустимым концентрациям загрязняющих веществ в составе сточных вод, поступающих на сооружения механической очистки, карты полей фильтрации.

В тоже время предприятия молочной промышленности независимо от приемника сточных вод, могут выполнить ряд мероприятий, реализация которых позволит снизить антропогенную нагрузку как на окружающую среду, так и на коммунальные очистные сооружения ВКХ (ЖКХ):

1. Обеспечить нейтрализацию отработанных растворов на всех производственных участках перед их отведением в сети канализации.

2. Обеспечить минимальное усреднение сточных вод – 12 часов с организацией достаточного перемешивания и необходимым уровнем аэрации.

3. Оборудование централизованной мойки датчиками, определяющими границу раздела «молоко/вода», что позволяет сократить потери молока и расход моющих средств и воды для ополаскивания трубопроводов.

4. Оборудование сливов сетками и / или сифонами для предотвращения попадания твердых материалов в сточные воды.

5. Использование специальных скребков для молокопроводов, которые применяются для разделения потоков молока и промывной воды.

6. Компактное расположение оборудования на территории цеха, расположение оборудования вертикально по ходу технологических процессов.

7. Организация колодца-отстойника для сбора сточных вод после промывки фильтров станции обезжелезивания.

8. Организация песколовки, бензозаслоуловителя на линии наружной мойки автомолцистерн.

9. Организация жируловителя на отдельном потоке сточных вод производственного цеха.

10. При высоких концентрациях азота общего в составе сточных вод при проектировании очистных сооружений включать в технологическую схему очистки зону удаления азота – денитрификацию с максимально эффективной организацией перемешивания.

11. При высоком содержании соединений фосфора в сточных водах при проектировании очистных сооружений предусматривать узел дефосфотации с дозированием коагулянтов для химического удаления фосфора.

#### Список литературных источников

1. Государственный водный кадастр [Электронный ресурс] // Информационные ресурсы на сайте РУП «ЦНИИКИВР». – Режим доступа: <http://www.cricuwr.by/gvkinfo/>.

2. ЭкоНиП 17.06.06-001-2020 «Охрана окружающей среды и природопользование. Гидросфера. Требования по обеспечению экологической безопасности при эксплуатации, выводе из эксплуатации и ликвидации полей фильтрации» [Электронный ресурс] : постановление Министерства природ. ресурс. и охран. окр. ср. Респ. Беларусь, 20 мая 2020 г., № 6-Т // Бизнес-Инфо.

Законодательство Республики Беларусь / Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. – Минск, 2023.

3. О нормативах допустимых сбросов химических и иных веществ в составе сточных вод [Электронный ресурс] : постановление Министерства природ. ресурс. и охран. окр. ср. Респ. Беларусь, 26 мая 2017 г., № 16 // Бизнес-Инфо. Законодательство Республики Беларусь / Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. – Минск, 2023.

### **Актуальные вопросы совершенствования нормативного правового регулирования обращения с осадками очистных сооружений канализации**

Марцуль В.Н.<sup>1</sup>, Войтов И.В.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Белорусский государственный технологический университет, г. Минск, Республика Беларусь, e-mail:umartsul@gmail.com*

**Резюме.** Приведен краткий анализ практики нормативного правового регулирования обращения с осадками очистных сооружений канализации в Республике Беларусь. Отмечены отличия в подходах к регулированию использования осадков в Беларуси и странах ЕС. Предложены конкретные мероприятия по совершенствованию нормативного правового регулирования обращения с осадками очистных сооружений в части классификации и учета, аналитического контроля, требований к составу и свойствам осадков при их использовании на земле.

### **Topical issues of improving the regulatory legal regulation of sludge management of sewage treatment plants**

Martsul V., Voitau I.

**Summary.** A brief analysis of the practice of legal regulation waste water treatment plants sewage sludge in the Republic of Belarus is given. Differences in approaches to the regulation of the use of precipitation in Belarus and EU countries are noted. Specific measures are proposed to improve the regulatory legal regulation of waste water treatment plant sewage sludge in terms of classification and accounting, analytical control, requirements for the composition and properties of sediments when they are used on the ground.

Степень вовлечения в хозяйственный оборот осадков очистных сооружений в значительной степени определяется совершенством нормативной правовой базы, регулирующей вопросы использования, хранения и захоронения данных отходов. Осадки характеризуются весьма ценными агрохимическими свойствами, достаточно высокой теплотой сгорания, что позволяет их рассматривать в качестве ценного материала использование которого при соблюдении определенных условий может способствовать решению проблем ресурсосбережения и охраны окружающей среды. Используя инструменты нормативного правового регулирования можно стимулировать те направления использования осадков, которые дают максимальный эффект при наименьшем в сравнении с другими воздействиями на окружающую среду.

В международной правовой практике осадки очистных сооружений канализации (далее – ОСК) и близкие им по составу осадки сточных вод ряда производств относятся к группе отходов, обращение с которыми регулируется отдельными нормативными правовыми актами (далее – НПА). Это связано с их сложным многокомпонентным составом и уникальными свойствами.

Большое влияние на практику обращения с осадками сточных вод и нормы, закрепленные в актах законодательства многих стран, оказали Директива ЕЭС 86/278/ЕЭС от 12 июня 1986 по охране окружающей среды, в частности, почвы, при использовании

осадков сточных вод в сельском хозяйстве [1] и Стандарт США по использованию и удалению осадков сточных вод [2].

Директива ЕЭС 86/278/ЕЭС устанавливает систему требований, ограничений и условий, выполнение которых должно обеспечить защиту здоровья человека и окружающей среды при использовании осадков. Директива регламентирует: технологии обработки осадков перед их использованием; максимальное количество осадков (по сухому веществу), вносимых в почву на единицу площади в год; определяет условия, при которых может быть разрешено использование необработанного осадка; устанавливает минимальную частоту (периодичность) анализа состава осадков; требует получения разрешения на использование необработанных осадков на почве; устанавливает продолжительность периода между использованием (внесением) осадка и выпасом скота, сбором урожая и продукции, которая находится в непосредственном контакте с осадком и потребляется в сыром виде; устанавливает ограничения (специальные требования) при использовании осадков на почвах с рН ниже 6; использование осадков в условиях, обеспечивающих защиту поверхностных и подземных вод; проведение анализов почвы и осадков с определением установленных показателей и доведением их до потребителей; установление минимальной частоты анализов почвы; регистрацию количества производимых осадков, места и условий использования осадков в сельском хозяйстве и средней концентрации тяжелых металлов в осадках; освобождение от некоторых требований (регистрация информации, проведение анализов) при использовании осадков, образующихся на малых очистных сооружениях.

Анализ НПА стран Евросоюза в области обращения с осадками сточных вод свидетельствует, что отличия национальных инструментов регулирования от декларированных Директивой касаются определения осадков, пригодных для использования; подготовки осадков к использованию; предельных значений концентраций тяжелых металлов; доз внесения осадков. Различаются также механизмы регулирования и учета в области использования осадков.

В Республике Беларусь осадки, как отдельный объект нормативного правового регулирования в области обращения с отходами не выделяются. Поэтому деятельность по обращению с этими отходами регламентируется Законом «Об обращении с отходами», рядом общих для всех отходов НПА и технических нормативных правовых актов (далее – ТНПА). Порядок организации работ по использованию (обезвреживанию), хранению и захоронению отходов определяется их количеством, агрегатным состоянием, степенью опасности, а для опасных отходов – классом опасности.

Анализ нормативного правового регулирования обращения с осадками очистных сооружений канализации в Республике Беларусь свидетельствует о том, что в настоящее время не в полной мере созданы условия для вовлечения их в хозяйственный оборот при соблюдении требований охраны окружающей среды.

В Общегосударственном классификаторе отходов, образующихся в Республике Беларусь [3] осадки не дифференцируются в зависимости от того, какой обработке они подвергаются. В частности, никак не учитывается прошли ли они стабилизацию. Отнесение осадка к конкретному виду и классу опасности является важным в плане определения величины экологического налога за хранение осадков, которое в настоящее время является самой распространенной практикой обращения с ними. Льготы по налогообложению в Беларуси установлены только для двух видов отходов: «осадки сооружений биологической очистки хозяйственно-фекальных сточных вод», «ил активный очистных сооружений».

Осадки очистных сооружений канализации в Беларуси не являются объектами аналитического контроля, т.е. на очистных сооружениях контроль их состава по установленному перечню показателей не производится. Это не позволяет обоснованно подходить к выбору способов их обработки и направлений использования, выявлять тенденции изменения их состава, оценивать эффективность мероприятий по ограничению

сбросов загрязняющих веществ абонентами сетей канализации, особенно в части содержания тяжелых металлов.

При учете образования осадков, согласно действующему положению, данные о количестве осадков сооружений биологической очистки хозяйственно-фекальных сточных вод, ила активного очистных сооружений отражаются в тоннах влажных осадков без указания влажности. В связи с этим данные по количеству образующихся осадков, представляемые различными ОСК, несопоставимы.

Использование осадков в Беларуси возможно при наличии ТНПА, устанавливающего требования в продукции, производимой из них, или к осадкам как сырью для производства какой-либо продукции.

В настоящее время в Республике Беларусь прошли государственную регистрацию и действуют ряд ТУ, устанавливающих требования к продукции из осадков сточных вод (удобрений, почвоулучшающих добавок, материалов для рекультивации и др.). Однако соблюдение требований данных ТНПА не обеспечивает выполнение ряда требований охраны окружающей среды, не позволяет проследить весь жизненный цикл осадков.

Опыта организации системной работы по контролю процесса использования осадков на земле с целью обеспечения соблюдения требований охраны окружающей среды в Беларуси пока недостаточно. При использовании осадков в качестве удобрения, либо почвоулучшающей добавки не определено, кто будет отвечать за соблюдение условий применения, контроль содержания в почве тяжелых металлов, а также за учет использованных осадков.

Учитывая сложный состав осадков очистных сооружений канализации, в которых, помимо тяжелых металлов, представлены лекарственные препараты, стероиды и гормоны, а также вещества, относящиеся к стойким органическим загрязнителям и др. эти условия и ограничения будут ужесточаться. Для Беларуси, с развитым сельским хозяйством, ориентированным на внешние рынки, использование осадков в сельском хозяйстве возможно только после постановки и отработки на практике всех инструментов управления осадками,

В связи с этим давно назрела необходимость изменения подходов к нормативному правовому регулированию обращения с осадками очистных сооружений канализации, особенно в части установления норм и требований, которые позволяли бы обоснованно подходить к выбору способов их подготовки к использованию и использования.

Основные направления совершенствования нормативного правового регулирования обращения с осадками очистных сооружений представлены ниже.

Для получения достоверной информации о количестве образующихся осадков учет вести как по фактической массе влажных осадков, так и по сухому веществу. При ведении общего учета отходов (журнал по форме ПОД-10) и представлении формы государственной статистической отчетности 1-отходы (Минприроды) [4] данные по количеству образующихся осадков представлять двумя цифрами, одна из которых (в скобках) относится к массе сухих осадков.

Сырой осадок и избыточный активный ил, образующиеся на ОСК, не учитывать в качестве отдельных наименований отходов, если они после смешения направляются на анаэробное сбраживание, механическое обезвоживание, сушку (имеют определенное предназначение по месту их образования). Отходом в данном случае будет смесь ила активного, сырого осадка после анаэробного сбраживания или механического обезвоживания.

Для приведения в соответствие с существующим положением в части видов образующихся осадков и организации учета обработанных осадков внести дополнения в Классификатор отходов, образующихся в Республике Беларусь [3], включив в него ряд позиций, отражающих используемые способы обработки осадков и их смесей.

Ввести в перечень показателей, по которым на ОСК ведутся производственные наблюдения в области охраны окружающей среды, рационального использования

природных ресурсов содержание тяжелых металлов (свинец, кадмий, цинк, медь, хром, никель, ртуть). Периодичность контроля установить в зависимости от количества образующихся осадков, объема очищаемых сточных вод (от 1 раза в 2 месяца до 1 раза в год) и стабильности показателей состава.

Дополнить перечень объектов, по которым ОСК должны вести наблюдения в рамках локального мониторинга окружающей среды, позицией «осадки сточных вод», под которыми понимать смесь ила активного (избыточного) и сырого осадка.

Регистрацию объектов по использованию осадков в соответствии с действующим порядком производить при использовании подготовленных осадков в качестве топлива. При применении осадков в качестве удобрений необходимо обеспечить учет количества таких удобрений, используемых под сельскохозяйственные культуры. Для этого внести соответствующие дополнения в форму статистической отчетности 1-сх (удобрения). Разработать порядок регистрации места и условий использования осадков в сельском хозяйстве, который отражал информацию о дозе и периодичности внесения осадков под сельскохозяйственные культуры и средней концентрации тяжелых металлов в осадках и почвах.

Внести изменения в форму 1-отходы (Минприроды) государственной статистической отчетности и указания по ее заполнению, дополнив «Перечень кодов и наименований направлений использования отходов» (Приложение 4 к Указаниям по заполнению) специфическими направлениями использования осадков: для рекультивации нарушенных земель; в качестве удобрения и в составе почвогрунтов.

Проработать вопросы введения понижающего и повышающего коэффициентов к ставке налога за хранение осадков, которые учитывают их обработку (механическое обезвоживание, стабилизация различными способами) или ее отсутствие перед размещением на объектах хранения.

Разработать и ввести в действие технический нормативный правовой акт, устанавливающий обязательные для выполнения требования к составу и свойствам осадков, порядку их применения для различных направлений использования (допустимое содержание тяжелых металлов и других опасных компонентов в осадках в зависимости от направления использования; требования по санитарно-бактериологическим показателям; допустимое количество осадков для использования на земле в зависимости от периодичности их внесения под сельскохозяйственные культуры, для рекультивации и др.), периодичность аналитического контроля осадков и почвы по установленному перечню показателей и методикам выполнения измерения.

Учитывая планируемое увеличение использования компостирования для подготовки к использованию биоотходов различного состава [5] (сельскохозяйственные отходы, отходы растительной биомассы, биоразлагаемая фракция ТКО, осадки ОСК и др.) необходимо разработать и ввести в действие ТНПА, содержащий обязательные для соблюдения: требования к компостам, полученным из отходов; требования к отходам, которые могут быть использованы для получения компостов; перечень областей применения компостов, полученных с использованием отходов.

Для стимулирования использования осадков по отдельным направлениям (например, в качестве топлива при обжиге клинкера при производстве цемента) рассмотреть вопрос представления льгот по экологическому налогу предприятиям, которые используют данные отходы с соблюдением действующих требований по охране окружающей среды.

Совершенствование правового регулирования создаст условия для вовлечения осадков очистных сооружений канализации в хозяйственный оборот при соблюдении требований охраны окружающей среды.

#### Список литературных источников

1. Директива ЕЭС 86/278/ЕЭС от 12 июня 1986 по охране окружающей среды, в частности, почвы, при использовании осадков сточных вод в сельском хозяйстве (Council Directive 86/278/EEC



of 12 June 1986 on the protection of the environment, and in particular of the soil, when sewage sludge is used in agriculture).

2. Стандарт США по использованию и удалению осадков сточных вод (40 CFR PART 503 «Standards for the use or disposal of Sewage Sludge»).

3. ОКРБ 021-2019 Общегосударственный классификатор Республики Беларусь. Классификатор отходов образующихся в Республике Беларусь. – Минск, 2019.

4. Постановление Национального статистического комитета Республики Беларусь от 30.09.2022 № 90 «Об утверждении формы государственной статистической отчетности 1-отходы (Минприроды) «Отчет об обращении с отходами производства» и указаний по ее заполнению».

5. Национальная стратегия по обращению с твердыми коммунальными отходами и вторичными материальными ресурсами в Республике Беларусь на период до 2035 года : утв. постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 28.07.2017 № 567.

### **Сорбенты на основе гальванических шламов для очистки нефтесодержащих сточных вод**

Моняк Т.М.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Полоцкий государственный университет имени Евфросинии Полоцкой, г. Новополоцк, Республика Беларусь, t.monjak@psu.by*

**Резюме.** Представлены результаты исследования свойств сорбентов, полученных из гальванических шламов различного состава. Для синтеза выбран метод экзотермического горения в растворах с использованием в качестве восстановителя глицина в стехиометрическом соотношении с окислителем. Рентгенофазовый анализ полученных образцов показал, что железо в них содержится преимущественно в виде фазы магнетита. Максимальная полученная нефтеемкость составила 2,92 г/г.

### **Sorbents based on galvanic sludge for oily wastewater treatment**

Moniak T.

**Summary.** The results of studying the properties of sorbents obtained from galvanic sludges of various compositions are presented. For the synthesis, the method of exothermic combustion in solutions was chosen using glycine as a reducing agent in a stoichiometric ratio with an oxidizing agent. X-ray phase analysis of the obtained samples showed that they contained iron mainly in the form of a magnetite phase.

Главными источниками загрязнения сточных вод нефтепродуктами, маслами являются крупные производственные комплексы нефтехимической и нефтеперерабатывающей промышленности. Метод очистки таких сточных вод с использованием сорбционных материалов на основе гальванических шламов был рассмотрен ранее [1, 2]. Применение данного метода даёт возможность обеспечить очистку сточных вод до нормативной концентрации загрязнений, а также возможность регенерации сорбционного материала [3]. Данное свойство сорбционного материала позволяет повысить эффективность его использования, поскольку появляется возможность вводить сорбенты в очищенную жидкость в виде дисперсной фазы и извлекать из среды физическим методом.

В литературных источниках [4] выделяется несколько основных характеристик, которыми должен обладать сорбент: полная сорбционная емкость, нефтеемкость, водопоглощение, гидрофобность, возможность удаления нефти из сорбента, доступность исходного вещества, нетоксичность.

Для исследований свойств сорбентов были выбраны 10 образцов железосодержащих гальванических шламов с различных предприятий Республики Беларусь.

В качестве металлсодержащего прекурсора для синтеза сорбента использовались растворы кислотного выщелачивания отходов гальваношламов. Для синтеза магнитных сорбентов использовали реакцию экзотермического горения в растворах [5, 6], а в качестве восстановителя использовался глицин с мольным соотношением «окислитель-восстановитель» равным 1. Для сравнительного анализа удельной поверхности полученных образцов использовали метод определения по сорбции красителя метиленового голубого. Помимо этого, зная исходную и равновесную концентрации адсорбата в растворе, массу адсорбента, определяли полную статическую обменную емкость образцов.

Анализ всех растворов на остаточное содержание метиленового голубого проводили по определению оптической плотности на характерной длине волны 645 нм с помощью спектрофотометра PV 1251C Solar.

Был проведен фазовый состав синтезированных образцов с помощью рентгенографического дифракционного анализа (XRD). Результаты анализа приведены на рис. 1.

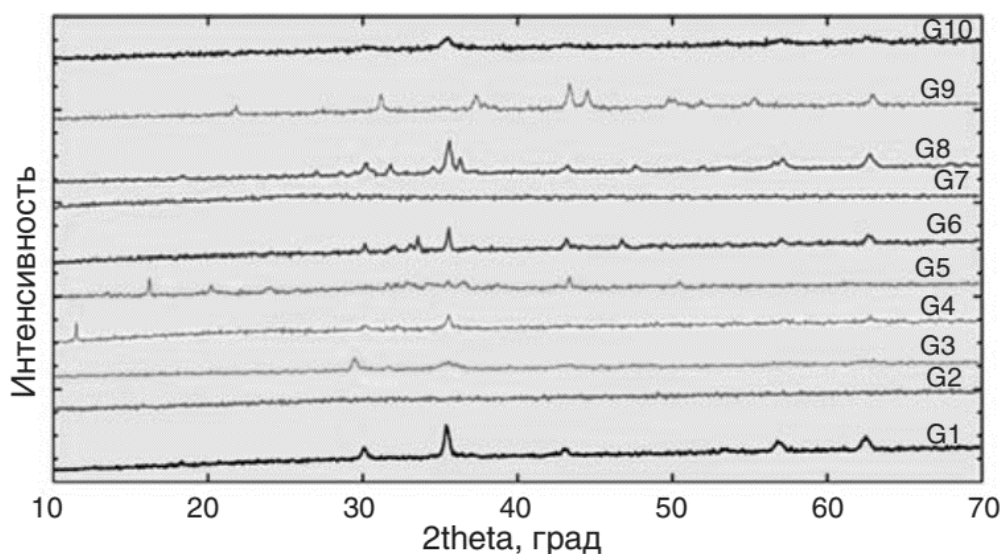


Рисунок 1 – Результаты рентгенофазового анализа образцов, полученных с использованием глицина в качестве восстановителя

Анализ полученных данных показал, что образцы 2 и 4 не содержат ярко выраженных кристаллических фаз. Образец 9 содержит фазы металлического никеля и его оксидов. Основной железосодержащей фазой в оставшихся образцах является магнетит с наиболее интенсивными пиками при 30, 35 и 62 град  $2\theta$ . Образование преимущественно магнетита вместо гематита при стехиометрическом соотношении окислителя к восстановителю было отмечено авторами ранее [5].

Исследуемые образцы сорбентов характеризуются достаточно высокими значениями обменной емкости – до 3,26 мг/г. Полученные значения ПСОЕ для синтезированных сорбентов превышают значения ПСОЕ для ряда природных и синтетических материалов.

По полученным значениям ПСОЕ были рассчитаны значения удельной поверхности образцов. Принимая, что сорбция метиленового голубого на поверхности полученных образцов осуществляется в мономолекулярный слой, можно рассчитать удельную поверхность. Данный способ широко применяется не для точного определения удельной поверхности, а для сравнительного анализа серии образцов между собой [7]. Максимальное значение удельной поверхности 130  $\text{m}^2/\text{г}$ , было получено для 5 образца, однако нефтеемкость образца практически нулевая. Такой факт можно объяснить низким содержанием магнитной фазы за счет низкого содержания железа в образце (14,5% масс.).

Оценивая полученные значения нефтеёмкости можно увидеть, что для образцов 2 и 7 характерны отрицательные значения. Это связано с тем, что сорбенты обладали низкими магнитными свойствами и неполностью удалялись из загрязненной нефтепродуктами водной среды. Значения полной статической обменной емкости, удельной поверхности и нефтеёмкости синтезированных образцов сорбента приведены в табл.

Таблица – Значения полной статической обменной емкости, удельной поверхности и нефтеёмкости синтезированных образцов сорбента

Показатель	Образец									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ПСОЕ, мг/г	0,03	0,77	0,52	0,28	3,26	0,07	0,56	0,06	2,17	2,59
S <sub>уд</sub> , м <sup>2</sup> /г	1,3	30,8	20,6	11,1	130,0	2,9	22,4	2,5	86,5	103,5
НЕ, г/г	2,80	-0,13	0,48	1,84	0,05	1,69	-0,09	1,67	1,93	2,92

Полученная максимальная нефтеёмкость составляла 2,92 г/г, для образца, содержащего в своем составе 75% железа и 12% марганца. Это значение сопоставимо с нефтеёмкостью многих природных материалов и некоторых синтетических. Также следует отметить ещё одну характеристику сорбентов на основе гальванических шламов: наличие магнитных свойств, по сравнению с другими сорбентами, что может позволить извлекать его из водных сред посредством магнитного поля.

#### Список литературных источников

1. Монак, Т. М. Магнитные сорбенты из гальванических шламов для очистки нефтесодержащих сточных вод / Монак Т. М., Романовский В. И. // Водоснабжение и санитарная техника. – 2022. – №. 6. – С. 50–55.
2. Монак, Т. М. Анализ перспектив использования отходов гальванических производств / Т. М. Монак, Л. В. Кульбицкая, В. И. Романовский // Вестник полоцкого государственного университета. Серия F. – 2020. – № 16 : Строительство. Прикладные науки. – С. 96–100.
3. Долбня, И. В. Разработка магнитных композиционных сорбентов на основе гальваношлама для очистки воды от нефтепродуктов и ионов тяжелых металлов : дис. ... канд. техн. наук / Долбня И. В. – Саратов, 2018. – 155 с.
4. Грузинова, В. Л. Математическое описание процесса реагентной очистки сточных вод от нефтепродуктов / В. Л. Грузинова, В. И. Романовский, В. В. Лихавицкий // Вестник БрГТУ. Водохозяйственное строительство, теплоэнергетика и геоэкология. – 2014. – № 2. – С. 62–65.
5. Горелая, О. Н. Магнитный сорбент из отходов водоподготовки для очистки нефтесодержащих сточных вод / Горелая О. Н., Романовский В. И. // Вестник Брестского государственного технического университета. – 2020. – № 2. – С. 61–64.
6. Романовский, В. И. Оценка экономической эффективности применения промышленных отходов в технологии очистки сточных вод локомотивных депо от нефтепродуктов / В. И. Романовский, В. Л. Грузинова // Актуальные вопросы экономики строительства и городского хозяйства : материалы II Междунар. науч.-практ. конф., Минск, 23–24 апр. 2013 / Белорусский национальный технический университет ; редкол.: С. А. Пелих, В. К. Липский. – Минск, 2014. – С. 307–313.
7. Элементный и фазовый состав гальванических шламов, осадков очистных сооружений машиностроительных и приборостроительных предприятий Республики Беларусь / В. Н. Марцуль [и др.] // Природные ресурсы. – 2013. – № 1. – С. 113–118.

## **Особенности нормирования и контроля поступления сточных вод в системы дождевой канализации населенных пунктов**

Денищик А.И.<sup>1</sup>, Голод Ю.В.<sup>1</sup>

*<sup>1</sup>Республиканское унитарное предприятие «Центральный научно-исследовательский институт комплексного использования водных ресурсов», г. Минск, Республика Беларусь, alesya.d210@gmail.com, ylia-gold@mail.ru*

**Резюме.** Вопросы организации отведения поверхностных и производственных сточных вод в централизованные системы дождевой канализации населенных пунктов являются крайне актуальными. В настоящее время в большинстве населенных пунктов отсутствуют очистные сооружения поверхностных сточных вод на выпуске сточных вод в водный объект. При этом отведение сточных вод осуществляется в городской черте, поэтому с целью недопущения ухудшения состояния поверхностных водных объектов необходимо осуществлять контроль качественных и количественных характеристик сточных вод, поступающих в системы дождевой канализации населенных пунктов.

## **Regulation and control features of wastewater inflow into rainwater sewerage systems of settlements**

Denischik A., Holad Y.

**Summary.** The issues of organizing the disposal of surface and industrial wastewater into centralized rainwater sewerage systems in settlements are extremely relevant. Currently, there is no surface wastewater treatment facilities in the most settlements at the outlet of wastewater into a water object. At the same time, wastewater diversion is carried out within the settlement, therefore to prevent the deterioration of the surface water objects condition, it is necessary to control the qualitative and quantitative characteristics of wastewater entering the rainwater sewerage system of settlements.

Поверхностные сточные воды с селитебных территорий и площадок предприятий являются одним из интенсивных источников загрязнения окружающей среды различными примесями природного и техногенного происхождения.

Стратегией в области охраны окружающей среды Республики Беларусь на период до 2025 г. закреплено ряд задач, направленных на улучшение состояния окружающей среды, одной из которой является улучшение качества поверхностных вод посредством сокращения массы поступления загрязняющих веществ в водные объекты путем:

- использования дождевых и талых вод для производственных нужд;
- прекращения отведения неочищенных сточных вод в водные объекты [1];
- обеспечения очистки дождевых и талых вод в населенных пунктах с численностью населения более 50 тыс. человек, курортных и промышленных зонах.

В соответствии с Водным кодексом Республики Беларусь к поверхностным сточным водам относятся воды, которые образуются при выпадении атмосферных осадков, таянии снега, поливомоечных работах на территории населенных пунктов, объектов промышленности, строительных площадок и других объектов и сбрасываются в окружающую среду, в том числе через систему дождевой канализации [2].

Системы дождевой канализации предусматриваются с целью сбора, транспортировки, очистки и сброса в водные объекты поверхностных сточных вод, формируемых на территории населенных пунктов и объектов производств.

Законодательством Республики Беларусь не допускается отведение поверхностных сточных вод в централизованные системы водоотведения (канализации) при отдельных системах канализации, однако при отсутствии с системы дождевой канализации допускается прием поверхностных сточных вод в централизованные системы

водоотведения (канализации) с заключением договора, в том числе с абонентами на платной основе [3].

В систему дождевой канализации кроме поверхностных сточных вод также допустимо поступление следующих сточных вод:

- от поливки и мытья дорожных покрытий;
- конденсата от установок кондиционирования воздуха;
- конденсата от приточных вентиляционных камер;
- от питьевых фонтанчиков и автоматов раздачи питьевой воды, в том числе газированной и подсолненной воды;
- от опорожнения ванн плавательных бассейнов и от промывки фильтров водоподготовительных установок с системой рециркуляции воды;
- от таяния льда и снежной стружки при зачистке ледового поля в крытых катках;
- от опорожнения трубопроводов и сооружений систем питьевого водоснабжения;
- от опорожнения систем теплоснабжения и горячего водоснабжения при температуре воды не выше 40 °С;
- производственных нормативно-чистых сточных вод;
- дренажных вод систем строительного и (или) эксплуатационного дренажа [4].

Прием (отведение) в системы дождевой канализации поверхностных сточных вод осуществляется в соответствии с условиями и правилами приема (отведения) указанных сточных вод в системы дождевой канализации [1], которые регламентируются постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 30 сентября 2016 г. № 788 «Об утверждении Правил пользования централизованными системами водоснабжения, водоотведения (канализации) в населенных пунктах» (далее – Правила пользования) [3].

В то же время Правилами пользования не определен перечень и допустимые концентрации загрязняющих веществ в составе поверхностных и производственных сточных вод, поступающих в системы дождевой канализации. Учитывая вышеизложенное, а также тот факт, что поступающие в системы дождевой канализации сточные воды, как правило, сбрасываются в поверхностные водные объекты, а также учитывая, что на большинстве выпусков поверхностных сточных вод отсутствуют очистные сооружения поверхностных сточных вод, при разработке условий отведения сточных вод в системы дождевой канализации допустимо использовать требования по установлению перечня нормируемых загрязняющих веществ и показателей сбрасываемых в водные объекты, установленные постановлением Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь от 26 мая 2017 г. № 16 «О нормативах допустимых сбросов химических и иных веществ в составе сточных вод» (далее – постановление Минприроды № 16) [5]. Постановлением Минприроды № 16 определен следующий перечень загрязняющих веществ в составе поверхностных сточных вод: водородный показатель (рН), взвешенные вещества, нефтепродукты, специфические загрязняющие вещества в составе поверхностных сточных вод, отводимых с территорий промышленных площадок.

Поступление в системы дождевой канализации специфических загрязняющих веществ возможно при отведении в сети дождевой канализации поверхностных сточных вод совместно с производственными сточными водами, а также в составе поверхностных сточных вод с территорий промышленных площадок предприятий.

РУП «ЦНИИКИВР» проводились исследования качественного состава поверхностных сточных вод, формируемых на территории промышленной зоны и поступающих в систему дождевой канализации.

По результатам исследований выявлены высокие концентрации в составе поверхностных сточных вод минерализации, хлорид-иона и взвешенных веществ. Учитывая, что высокие концентрации данных загрязняющих веществ были зафиксированы в городской черте, а также на участках промышленных зон, на которых не осуществляется отведение поверхностных сточных вод непосредственно с площадок предприятий, высокие концентрации взвешенных веществ, минерализации, хлорид-иона могут быть обусловлены

использованием песчано-соляной смеси в зимний период года, а также недостаточно эффективной эксплуатацией сетей дождевой канализации, что приводит к накоплению в дождевых колодцах песка и его постепенному вымыванию при таянии снега. Кроме этого, высокие концентрации в составе поверхностных сточных вод, формирующихся на территории промышленной зоны, зафиксированы по ХПК, БПК<sub>5</sub>, нефтепродуктам, фосфору общему и СПАВ(анион.).

На промышленных площадках предприятий деревообработки в составе поверхностных сточных вод выявлены такие специфические загрязняющие вещества как фенол, формальдегид, метанол. Концентрации данных загрязняющих веществ в составе поверхностных сточных вод значительно превышали ПДК поверхностного водного объекта. Максимальная концентрация фенола зафиксирована на уровне 0,56 мг/дм<sup>3</sup> при ПДК 0,01 мг/дм<sup>3</sup> (превышения в 56 раз ПДК), максимальная концентрация формальдегида зафиксирована на уровне 1,1 мг/дм<sup>3</sup> при ПДК 0,01 мг/дм<sup>3</sup> (превышения в 110 раз ПДК), максимальная концентрация метанола зафиксирована на уровне 0,3 мг/дм<sup>3</sup> при ПДК 0,1 мг/дм<sup>3</sup> (превышения в 3 раза ПДК). Это может указывать о недостаточной степени работы газоочистных установок на территориях предприятий, что приводит к накоплению специфических загрязняющих веществ в атмосферном воздухе и их последующему поступлению в сети дождевой канализации при выпадении атмосферных осадков. При этом на очистные сооружения поверхностных сточных вод поступила концентрация фенола 0,0085 мг/дм<sup>3</sup>, формальдегида 0,217 мг/дм<sup>3</sup>, что указывает о снижении концентраций загрязняющих веществ в дождевом коллекторе за счет смешения разных потоков сточных вод, за исключением метанола, концентрация которого зафиксирована на уровне 0,28 мг/дм<sup>3</sup>.

Кроме того, в поверхностных сточных водах, формирующихся на производственных площадках ряда предприятий, расположенных в промышленной зоне вблизи предприятий деревообработки, зафиксированы специфические загрязняющие вещества (фенол, формальдегид и метанол), нехарактерные для их производственной деятельности.

Полученные данные позволяют предположить, что существенный вклад в формирование загрязнений поверхностных сточных вод вносит загрязнение воздушного бассейна в районе промышленной зоны, за счет поглощения загрязняющих веществ из атмосферного воздуха в период дождей, а также за счет поверхностного стока осаждаемых загрязняющих веществ с сети дождевой канализации.

Таким образом для промышленных зон, где в составе поверхностных сточных вод осуществляется поступление специфических загрязняющих веществ в систему дождевой канализации, при разработке условий приема сточных вод в систему дождевой канализации необходимо учитывать поступление специфических загрязняющих веществ, а также предусматривать мероприятия для снижения концентраций специфических загрязняющих веществ при сбросе в водные объекты.

С целью уменьшения выноса загрязняющих веществ с поверхностными сточными водами с территорий промышленных предприятий должны предусматриваться следующие мероприятия:

- исключение сброса в дождевую канализацию производственных сточных вод, за исключением категорий вод, разрешенных к сбросу в систему дождевой канализации в соответствии с СН 4.01.02-2019 «Канализация. Наружные сети и сооружения»;
- ограждение зон озеленения бордюрами, исключающими смыв грунта во время ливневых дождей на дорожные покрытия;
- повышение эффективности работы пыле- и газоочистных установок и доведение концентраций пыли и вредных веществ в атмосфере до допустимых нормативных пределов;
- локализация участков территории, где неизбежны аварийные просыпы и проливы сырья и промежуточных продуктов, с отведением поверхностных сточных вод в систему производственной канализации;

- упорядочение складирования и транспортирования сыпучих и жидких материалов, отходов производства;
- строительство локальных очистных сооружений.

Учитывая вышеизложенное, при разработке условий приема поверхностных и производственных сточных вод, отводимых в системы дождевой канализации, в частности условий приема сточных вод с территорий промышленных зон, необходимо учитывать производственные процессы предприятий, которые могут быть источником поступления специфических загрязняющих веществ в составе сточных вод в системы дождевой канализации.

#### Список литературных источников

1. Стратегия в области охраны окружающей среды Республики Беларусь на период до 2025 года : одобрена решением коллегии Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь от 28.01.2011 г. № 8-Р.
2. Водный кодекс Республики Беларусь [Электронный ресурс] : 30 июля 2014 г., № 149-З : принят Палатой представителей 2 апреля 2014 г. : одобр. Советом Респ. 11 апреля 2014 г. : в ред. Закона Респ. Беларусь от 12.04.2022 г. // ЭТАЛОН. Законодательство Республики Беларусь / Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. – Минск, 2023.
3. Об утверждении Правил пользования централизованными системами водоснабжения, водоотведения (канализации) в населенных пунктах [Электронный ресурс] : постановление Совета Министров Респ. Беларусь, 30 сен. 2016 г., № 788 // Национальный правовой интернет-портал Республики Беларусь. – Режим доступа: <https://pravo.by/document/?guid=12551&p0=C21600788&p1=1>. – Дата доступа: 28.02.2023.
4. СН 4.01.02-2019 Канализация. Наружные сети и сооружения. Утверждены и введены в действие постановлением Министерства архитектуры и строительства от 31 октября 2019 г. № 59.
5. О нормативах допустимых сбросов химических и иных веществ в составе сточных вод / постановление Минприроды № 16 от 26 мая 2017 г. с изменениями от 14 июня 2021 г.

## **СЕКЦИЯ 4**

### **Охрана подземных вод при осуществлении хозяйственной деятельности**



**Разработка мероприятий по рациональному использованию и охране подземных вод от истощения на примере ключевых объектов, расположенных в бассейнах рек Припять и Западный Буг**

Васнёва О.В., Волков В.Е., Берёзко О.А., Черевач Е.М., Бубнова А.М., Буйневич О.А.  
Филиал «Институт геологии» Государственного предприятия  
«НПЦ по геологии», Минск, Республика Беларусь, [olgavasn417@gmail.com](mailto:olgavasn417@gmail.com)

**Резюме.** На основании анализа многолетних данных режимных наблюдений за состоянием поверхностных и подземных вод в бассейнах рек Припять и Западный Буг, особенностей геолого-гидрогеологических условий территорий исследований, результатов прогноза гидродинамического состояния подземных вод для объектов с нарушенными условиями, разработаны мероприятия, направленные на рациональное использование и охрану подземных вод от истощения.

**Development of measures for the rational use and protection of groundwater from depletion on the example of key facilities located in the basins of the Pripyat and Western Bug rivers**

Vasneva O., Volkov V., Berezko O., Cherevach E., Bubnova A., Buinevich O.

**Summary.** On the basis of analysis of long-term data of regime observations of the state of groundwater in the basins of the Pripyat and Western Bug rivers, published data on the features of geological and hydrogeological conditions of the research area, forecast of the hydrodynamic state of groundwater for objects with disturbed conditions, the authors developed measures aimed at the rational use and protection of groundwater from depletion.

В настоящее время в рамках научно-исследовательской работы «Исследование взаимовлияния поверхностных и подземных вод в условиях изменяющегося климата» ГПНИ «Природные ресурсы и окружающая среда» на 2021–2025 годы (далее – НИР), выполнен ряд исследований по изучению территорий с наиболее нарушенным гидродинамическим режимом с целью разработки рекомендаций по рациональному использованию и охране подземных вод от истощения. В 2021–2022 годах работы проведены в пределах бассейнов рек Припяти, Западного Буга, аналогичные мероприятия запланированы и по бассейнам рек Немана, Западной Двины и Днепра.

Первоочередной задачей, при реализации НИР, являлось определение ряда критериев (величина водоотбора/водопонижения; наличие режимной сети скважин и гидрологических постов в районе расположения ключевого объекта, полнота рядов наблюдений и т. д.), послуживших основой для дальнейших исследований при выделении ключевых объектов.

В бассейне реки Припять к ключевым объектам отнесены: водозабор Лучежевичи (проектная производительность более 100 тыс.м<sup>3</sup>/сут), карьер Микашевичи (приток в котлован достигает 64–71 тыс. м<sup>3</sup>/сут) и строящийся карьер Ситница. В бассейне реки Западный Буг – водозабор Мухавецкий (проектная производительность 85 тыс. м<sup>3</sup>/сут) и карьер Хотиславский (водоотлив – около 13 тыс. м<sup>3</sup>/сут).

Последующие этапы работ (изучение геолого-гидрогеологических условий ключевых объектов; оценка тенденций гидродинамического режима; проведение экспериментальных исследований; интерпретация и анализ данных и т. д.) позволили подойти к аналитическим расчетам для составления прогнозных гидродинамических карт и предложить рекомендации по рациональному использованию и охране подземных вод от истощения.

Водозабор Лучежевичи расположен в 12–18 км северо-западнее г. Мозыря, в пределах правобережной надпойменной террасы реки Припять. Основной источник хозяйственно-питьевого водоснабжения – водоносный комплекс четвертичных, неогеновых и палеогеновых отложений мощностью около 100–115 м, который имеет напорно-безнапорный

характер и гидравлически связан с реками Припять и Тур. Водозабор относится к типу речных долин (тип I) [1].

В настоящее время под влиянием переменного водоотбора (до 45,0 тыс. м<sup>3</sup>/сут) на уровенной поверхности водоносного комплекса сформировалась депрессионная воронка площадью около 65 км<sup>2</sup>, ограниченная на севере реки Припять.

На основании выполненных исследований спрогнозировано проектное влияние водозабора Лучежевичи на уровенную поверхность эксплуатируемого водоносного комплекса. Установлено, что по изолинии 1,0 м может сформироваться депрессионная воронка площадью до 80 км<sup>2</sup>, минимальные радиусы которой ограничиваются влиянием реки Припять. С учетом полученных данных и в зависимости от степени изменения гидродинамического режима, в прогнозной депрессии водозабора Лучежевичи, предложены водоохраные мероприятия, направленные на предупреждение дальнейшего истощения подземных вод (табл. 1).

Таблица 1 – Рекомендуемые мероприятия по рациональному использованию и охране подземных вод от истощения в бассейне реки Припять (водозабор Лучежевичи)

Понижение, м	Населенные пункты	Мелиоративные системы	Водотоки, водоемы	Мероприятия		
				населенные пункты	мелиоративные объекты	водотоки
1–2	западная окраина г. Мозыря, деревни Бобры, Костюковичи, Рудня	Рудня, зап. Костюковичи	Верховья р. Тур	ревизия, чистка и углубление колодцев	реконструкция каналов	
2–3	деревни Дрозды, Майская, Козенки, Зимовищи, Слобода	М. Зимовищи, Б. Зимовищи, юж. Костюковичи	кан. Борисковичи р. Тур южнее д. Борисковичи	иглофильтром, бурение мелких скважин	создание прудов-накопителей, шлюзование каналов	
> 3	деревни Моисеевка, Хомички, Загорин Меребель, Прудок, Борисковичи	–	кан. Борисковичи р. Тур в нижнем течении	централизованное водоснабжение	–	перехват паводков и ливневых вод в водохранилищах

*Микашевичский горнодобывающий район* расположен на левобережье бассейна реки Припять в междуречьи притоков рек Лань и Случь. Основными водоносными горизонтами и комплексами являются: водоносные горизонты (комплексы) четвертичных, неогеновых, палеогеновых, меловых, юрских, каменноугольных, девонских и протерозойских отложений [2, 3].

В настоящее время из-за постоянного воздействия карьерного котлована Микашевичи глубиной до 120–150 м в зоне депрессионной воронки отмечается снижение уровней подземных вод в радиусе до 4,0–5,0 км, в результате которого котлован оказался основной дренажной в междуречье. Одновременно происходит увеличение разгрузки минерализованных подземных вод. Максимальная площадь воронки депрессии в районе месторождения Ситницкое составляет около 5,9 км<sup>2</sup>.

При сохранении наметившейся тенденции, водоотлив при совместной разработке месторождений будет источником регионального гидродинамического влияния в нижнем течении междуречья рек Лань – Случь. На поверхности напорно-безнапорного водоносного комплекса сформируется объединенная депрессионная воронка площадью около 75 км<sup>2</sup>, а расширение котлованов повлечет за собой увеличение засоления карьерных вод. Минерализация карьерных хлоридных натриевых вод, сбрасываемых в речную сеть, в перспективе может превысить 10 г/дм<sup>3</sup>.

По результатам исследований для снижения последствий негативного воздействия водоотлива предложены рекомендации, направленные на рациональное использование и охрану подземных вод (табл. 2).

Таблица 2 – Рекомендуемые мероприятия по рациональному использованию и охране подземных вод от истощения в бассейне реки Припять (карьер Микашевичи)

Понижение, м	Населенные пункты	Мелиоративные системы	Водотоки, водоемы	Мероприятия		
				населенные пункты	мелиоративные объекты	водотоки
1–5	д. Ситница, г. Микашевичи	Каналы Гленбока, Глухая Лань, Ситницкий, Волхва, Панталовский, судоходный канал, рыбхоз	Сухильно, Свидно, Навины, Погибли	ревизия, чистка, углубление колодцев с помощью иглофильтров	чистка и реконструкция каналов, поддержание стока за счет водохранилища в верховьях Ситницкого канала	
5–30		Каналы Глухая Лань, Ситницкий, Волхва, Панталовский, пруды в г. Микашевичи	Навины	бурение скважин		
30–50		шламохранилище	–	централизованное водоснабжение	перенос шламохранилища, создание накопителя карьерных пресных вод	

*Водозабор Мухавецкий* находится в юго-западной части Брестского артезианского бассейна платформенного типа на левом берегу р. Муховец. Относится к гидродинамическому типу относительно изолированных территорий. Эксплуатирует месторождение I типа (речных долин) оксфордского-нижнесеноманского водоносного комплекса, которое по взаимосвязи с грунтовыми и поверхностными водами относится к подтипу относительно изолированных. Величина водоотбора достигает 16,5 тыс. м<sup>3</sup>/сут. [4].

Водозабор Мухавецкий совместно с тремя другими водозаборами (Граевский, Западный, Северный) эксплуатирует Брестское месторождение подземных вод, что привело к формированию общей региональной депрессии в напорном оксфордском-нижнесеноманском водоносном комплексе.

Прогноз проектного влияния водозабора Мухавецкий на уровенную поверхность эксплуатируемого водоносного комплекса показал, что по изолинии 3 м возможно формирование депрессионной воронки площадью более 40 км, которая на северо-западе объединится с общей региональной депрессией Брестских водозаборов. Гидродинамическое влияние водоотбора фактически не ограничивается руслом реки Мухавец, а по данным режимных наблюдений широко распространяется на правобережье. В зону прогнозного влияния водозабора Мухавецкий попадут населенные пункты с источниками водоснабжения за счет подземных вод, мелиоративные объекты, водотоки и водоемы. В зависимости от степени изменения естественного гидродинамического режима в прогнозной депрессии от влияния водозабора Мухавецкий предложены водоохраные мероприятия (табл. 3).

Таблица 3 – Рекомендуемые мероприятия по рациональному использованию и охране подземных вод от истощения в бассейне р. Западный Буг (водозабор Мухавецкий)

Понижение, м	Населенные пункты	Мелиоративные системы	Водотоки, водоемы	Мероприятия		
				населенные пункты	мелиоративные объекты	водотоки
5–3	деревни Заболот, Кунак, Бульково	Щебрин Бульково Заболотье	Бульково	–	реконструкция каналов	
5–10	деревни Подлесье-Радваническое, Каменица-Жировецкая, Закни, Подлесье, дачи Тельмы-1, 2	Щебрин Закин	реки Каменка, Паднева	углубление колодцев, бурение мелких скважин	создание прудов накопителей, шлюзование каналов	
10–20 и более	деревни Щебринд, Ямно, Вычулки, Волки	–	р. Каменка	централизованное водоснабжение	–	создание водохранилища

*Месторождение песка и мела Хотиславское* расположено в Малоритском районе Брестской области в южной части бассейна реки Мухавец. Полезным ископаемым на месторождении является мел сантонского яруса в коренном залегании и перекрывающие его пески озерно-аллювиального происхождения. В гидрогеологическом отношении территория месторождения находится в пределах верхней части зоны активного водообмена Брестского артезианского бассейна. Гидрогеологические условия месторождения характеризуется наличием двух гидравлически взаимосвязанных водоносных комплексов [5].

В настоящее время, анализ данных режимных наблюдений показывает, что наметилась определенная стабилизация режима подземных вод, чему способствовали: компенсационный и отводящий каналы, технологический водоем в старом котловане и канализированное русло реки Рита со шлюзованием.

При дальнейшем расширении разработки месторождения до проектной глубины скорость фильтрации воды из компенсационного канала значительно возрастет и может произойти увеличение отрыва уровня подземных вод, в том числе из-за кольматации дна и бортов канала. В зону влияния карьерного водоотлива попадут населенные пункты, мелиоративные системы и природоохранные территории.

Для снижения последствий негативного влияния на гидродинамический режим водоотлива предложены водоохранные мероприятия (табл. 4).

Таблица 4 – Рекомендуемые мероприятия по рациональному использованию и охране подземных вод от истощения в бассейне р. Западный Буг (месторождение Хотиславское)

Понижение, м	Населенные пункты	Мелиоративные системы	Водотоки, водоемы	Мероприятия		
				населенные пункты	мелиоративные объекты	водотоки
0,3–1,0	д. Сушитница	р. Рита	Вир, Сушитница, Липин	чистка и углубление колодцев	чистка и реконструкция мелиоративных каналов,	–
1–10		р. Рита отводящий канал	Сушитница, заказник Липин	бурение неглубоких скважин	поддержание стока за счет водохранилища в верховьях р. Рита и Малорита	чистка отводящего и создание на юге второго канала
> 10	пром. зона	Компенсационный канал технологический водоем		-		чистка, углубление компенсационного канала и технологического водоема

На основании проведенных в 2021–2022 годах исследований, подготовлены рекомендации о необходимости повышения достоверности долгосрочного прогнозирования гидродинамического режима подземных вод под воздействием природных и техногенных факторов, с учетом климатических изменений на основе совершенствования и оптимизации системы локального мониторинга.

#### Список литературных источников

1. Гидрогеологические исследования по переоценке эксплуатационных запасов подземных вод на водозаборе Лучежевичи для хозяйственно-питьевого водоснабжения г. Мозыря с использованием моделирования. Отчет о НИР/ В. И. Фоменко [и др.] / БелНИГРИ. – Минск, 1996. – 278 с.
2. Провести комплексные исследования, разработать модель формирования минерализации карьерных вод месторождения «Микашевичи» и рекомендации по ее снижению. Отчет о НИР / А. М. Гречко [и др.] / РУП «ЦНИИКИВР». – Минск, 2001. – 215 с.

3. Проведение детальной разведки Ситницкого месторождения стройкамня Лунинецкого района Брестской области в 1991–1994 гг. Отчет инв. № 12024. / О. П. Мох [и др.] – Слуцк, 1996. – 187 с.

4. Переоценка эксплуатационных запасов подземных вод на водозаборах «Граевский-1», «Мухавецкий», «Западный», «Северный» для хозяйственно-питьевого водоснабжения г. Бреста по состоянию на 01.10.2015 г. Отчет о НИР / М. П. Михадюк [и др.] / Государственное предприятие «НПЦ по геологии». – Минск, 2015. – 226 с.

5. Провести оценку воздействия на окружающую среду добычи мела на участке месторождения «Хотиславское» в Малоритском районе Брестской области. Отчет о НИР / В. П. Музыкин [и др.] / РУП «ЦНИИКИВР». – Минск, 2009. – 235 с.

## **Эффективность полифункциональных материалов**

### **для водоподготовки подземных вод**

Пропольский Д.Э.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Белорусский национальный технический университет, г. Минск, Республика Беларусь,  
d.propolsky@gmail.com*

**Резюме.** Для удаления железа из подземных вод могут использоваться системы многослойных фильтров из различных материалов. В данной работе рассмотрена эффективность полифункциональных материалов. Установлено снижение остаточной концентрации  $Fe_{общ}$  в первых порциях фильтрата при использовании полученного материала в 3 раза, чем при использовании необработанного материала. Также наблюдалось снижение микроорганизмов группы E.Coli на 98% на поверхности материала в сравнении с исходным.

## **Efficiency of polyfunctional materials for groundwater treatment**

Propolsky D.

**Summary.** To remove iron from groundwater, multi-layer filter systems of various materials can be used. In this paper, the effectiveness of polyfunctional materials is considered. A decrease in the residual concentration of  $Fe_{tot}$  in the first portions of the filtrate was established when using the obtained material by 3 times than when using the untreated material. There was also a decrease in E.Coli group microorganisms by 98% on the surface of the material compared to the original.

Для Республики Беларусь актуальным является вопрос удаления железа из подземных вод. Наиболее эффективным методом обезжелезивания подземных вод является использование системы многослойных фильтров из различных материалов. По своему происхождению фильтрующие материалы бывают природного и синтетического происхождения [1]. При выборе фильтрующего материала очень важным является соблюдение требований стандартов. Выбор материала во многом зависит от вида и концентрации загрязнений, присутствующих в исходной воде. Согласно [2, 3] выбранный материал должен быть соответствующего гранулометрического состава, обладать развитой удельной поверхностью, высокой межзерновой пористостью, механической прочностью, химической стойкостью.

В системах многослойных фильтров для эффективного окисления железа, содержащегося в воде из подземных источников, могут быть использованы материалы с каталитическим покрытием. Примером такого рода материалов служат обработанные диоксидом марганца импортные каталитические материалы Manganese Greensand, GreensandPlus, Birm и т. д. С целью снижения затрат на очистку подземных вод от содержащегося в ней железа могут использоваться модифицированные материалы [4, 5, 6].

Методы модификации исходного материала можно разделить на химические, термические и физико-химические [7]. Химический метод позволяет изменять химический

состав поверхности обрабатываемого материала. С помощью физико-химического метода могут быть изменены морфологические параметры (шероховатость, механическая прочность, химическая стойкость и т. д.). Перспективным направлением в водоподготовке является применение полифункциональных модифицированных материалов. В процессе модификации изменяются и улучшаются характеристики исходного материала. Также с помощью химических реакций на поверхность материала могут быть нанесены несколько эффективных по отношению к железу окислителей. Такого рода покрытия способны выполнять сразу несколько задач. К ним можно отнести удаление тяжёлых металлов из подземных вод (обезжелезивание, деманганация), удаление нитратов и фосфатов, инактивация микроорганизмов. В качестве инертного субстрата для модификации могут использоваться материалы низкой стоимости либо переработанные отходы производства. Примером служит использование биоугля из отходов [8, 9].

Для повышения эффективности окисления  $\text{Fe}^{2+}$  до  $\text{Fe}^{3+}$  требуется период вработки, в течение которого на поверхности фильтрующего материала образуется поверхностный слой оксида железа  $[m \cdot \text{Fe}(\text{OH})_3 + (1 - m) \cdot \text{Fe}(\text{OH})_2] \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ . После образования поверхностного слоя активируется второй механизм окисления. Наличие оксидов железа на поверхности материала позволяет сразу же ввести второй механизм окисления за счет сорбции ионов  $\text{Fe}^{2+}$  и  $\text{O}_2$ .

В предыдущих исследованиях [10, 11, 12] для модификации исходного материала был использован метод экзотермического горения в растворах (SCS). Данный метод обладает рядом преимуществ в сравнении с другими видами модификации. Сюда можно отнести меньший расхода реагента, сокращение времени обработки материала, экологичность процесса. Также в методе используются дешёвые и легкодоступные реагенты и материалы [7].

В методике использовались стехиометрические смеси нитратов металлов (Fe, Zn) и восстановителей. Нанесение оксида железа ( $\text{Fe}_x\text{O}_y$ ) на поверхность фильтрующего материала способствовало улучшению процесса обезжелезивания подземных вод. Инактивация микроорганизмов при очистке подземных вод достигалась с помощью обработки поверхности фильтрующего материала оксидом цинка (ZnO). В качестве восстановителей были выбраны мочевины (U) и лимонная кислота (CA). Дозы нитратов металлов были выбраны из соотношения 0,025, 0005 и 00075 г нитрата на 1 г исходного материала. Последующее изучение морфологического состава поверхности полученных образцов позволило выделить дозу 0,05 г нитрата металла как наиболее оптимальную. Энергодисперсионная рентгеновская спектроскопия (Energy-dispersive X-ray – EDX) позволила установить особенности нанесения оксидов на поверхность обрабатываемого материала. Эффективное осаждение на поверхности обрабатываемого материала наблюдалось для оксида цинка, а более равномерное у оксида железа.

При очистке природной воды с помощью полученных модифицированных материалов в диапазоне pH 6-9 вымывания оксидов металлов с поверхности материала не наблюдалось. Также не происходило вторичного загрязнения фильтрата. Всё это позволяет использовать разработанные материалы на постоянной основе. Была изучена эффективность обезжелезивания с помощью полифункционального модифицированного материала. Установлено, что остаточная концентрация  $\text{Fe}_{\text{общ}}$  в первых порциях фильтрата при использовании полученного материала в 3 раза ниже, чем при использовании необработанного материала. Исследование инактивации микроорганизмов при использовании модифицированной загрузки показало снижение количества микроорганизмов группы E. Coli на 98% на поверхности материала в сравнении с исходным. Таким образом, проведенные исследования обосновывают перспективность использования полифункциональных материалов на станциях водоподготовки.

## Список литературных источников

1. Водоснабжение. Наружные сети и сооружения. Строительные нормы Республики Беларусь : СН 4.01.01-2019 : введ. 31.10.2019 (с отменой на территории Республики Беларусь ТКП 45-4.01-320-2018 (33020)). – Минск : Минстройархитектуры, 2020. – 72 с.
2. Материалы фильтрующие зернистые. Общие технические условия : ГОСТ Р 51641–2000 : введ. 11.09.2000. – М. : ИВС «УРАЛТЕСТ», 2000. – 12 с.
3. Капцевич, В. М. Требования, предъявляемые к фильтрующим материалам при их проектировании, изготовлении и практическом использовании / В. М. Капцевич, В. К. Корнеева, Т. А. Богданович // Современные проблемы освоения новой техники, технологий, организации технического сервиса в АПК : материалы Международной научно-практической конференции, Минск, 7–8 июня 2017 г. / Белорус. гос. аграр. техн. ун-т ; редкол.: И. Н. Шило [и др.]. – Минск, 2017. – С. 187–191.
4. Клебеко, П. А. Модифицированные антрациты – эффективные каталитические материалы для обезжелезивания подземных вод / Клебеко П. А., Романовский В. И. // Водоснабжение и санитарная техника. – 2020. – № 7. – С. 24–29.
5. Клебеко, П. А. Влияние условий синтеза на фазовый состав модифицированного покрытия антрацитов для обезжелезивания подземных вод / П. А. Клебеко, В. И. Романовский // Вестник БрГТУ. Водохозяйственное строительство, теплоэнергетика и геоэкология. – 2020. – № 2. – С. 65–67.
6. Обезжелезивание подземных вод модифицированным огнеупорным шамотом / Клебеко П. А., Романовский В. И. // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. – 2021. – № 4. – С. 103–111.
7. Пропольский, Д. Э. Сравнительный анализ методов модификации фильтрующих загрузок для очистки подземных вод / Д. Э. Пропольский, Е. В. Романовская // Инновационные материалы и технологии – 2020 : материалы Междунар. науч.-техн. конф. молодых учёных, Минск, 9–10 янв. 2020 г. / Белорус. гос. техн. ун-т ; редкол.: И. В. Войтов (гл. ред.) [и др.]. – Минск, 2020. – С. 146–147.
8. Ahmed, M. B. Progress in the preparation and application of modified biochar for improved contaminant removal from water and wastewater / M. B. Ahmed, J. L. Zhou, H. H. Ngo, W. Guo, M. Chen // Bioresource Technology. – 2016. – Vol. 214. – P. 836–851.
9. Thomas, B. N. Production of Activated Carbon from Natural Sources / B. N. Thomas, S. C. George // iMedPub Journals. – 2015. – Vol. 1, № 1. – P. 1–5.
10. Modified activated carbon for deironing of underground water / D. Propolsky [et al.] // Environmental Research. – 2020. – Vol. 182. – P. 108996. Romanowski.
11. Пропольский Д. Э. Полифункциональный модифицированный уголь для очистки подземных вод / Пропольский Д. Э., Романовский В. И. // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. – 2020. – № 4. – С. 103–111.
12. Пропольский, Д. Э. Модифицированный активированный уголь для обезжелезивания подземных вод / Д. Э. Пропольский, В. И. Романовский, Е. В. Романовская // Вестник БрГТУ. Водохозяйственное строительство, теплоэнергетика и геоэкология. – 2019. – № 2. – С. 47–50.

### **Разновидности модификаций фильтрующих материалов для целей водоподготовки**

Пропольский Д.Э., Снявская А.В., Юркевич К.С.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Белорусский национальный технический университет, г. Минск, Республика Беларусь,  
d.propolsky@gmail.com*

**Резюме.** Многослойные фильтры являются одним из наиболее распространённых элементов системы очистки подземных вод. Заполнение таких фильтров осуществляется материалами природного и синтетического происхождения. Для сокращения затрат на водоподготовку питьевой воды с помощью таких фильтров могут использоваться полифункциональные материалы с различными покрытиями. В данной работе представлены разновидности и методы модификаций фильтрующих материалов.

## Modifications of filter materials for the water treatment purposes

Propolsky D., Sinyavskaya A., Yurkevich K.

**Summary.** Multilayer filters are one of the most common elements of the groundwater treatment system. The filling of such filters is carried out with materials of natural and synthetic origin. To reduce the cost of water treatment of drinking water with the help of such filters, polyfunctional materials with various coatings can be used. This paper presents the varieties and methods of modification of filter materials.

Использование питьевой воды надлежащего качества является важным фактором жизнедеятельности человека. Несоответствие показателей питьевой воды требованиям стандартов (например: содержание тяжёлых металлов) пагубно влияет на его здоровье. Учёт особенностей источника водоснабжения из подземных вод позволяет выбрать оптимальную технологию очистки воды. Чаще всего для целей водоподготовки используются системы многослойных фильтров из материалов различного происхождения. Наиболее распространёнными среди них являются кварцевый песок [1], антрацит [2], активированный уголь [3], цеолит [4], диоксид кремния и т. д. [5, 6]. Исходные параметры таких материалов могут изменяться путём модификации различными методами. Выбор метода модификации должен быть экономически обоснованным во избежание повышенных затрат станций водоподготовки на очистку подземных вод.

Существующие методы модификации можно разделить в зависимости от температуры и времени обработки, а также используемых реагентов (без использования реагентов, обработка кислотами, щелочами, растворами солей металлов и т. д.). Химическая, термическая, физико-химическая обработка исходного материала являются основными разновидностями модификации. Данные виды обработки позволяют изменять основные параметры исходного материала. Увеличение удельной площади поверхности, среднего диаметра пор обрабатываемого материала и емкости адсорбции может быть достигнуто путём магнитной, щелочной и кислотной обработки. Также фильтрующий материал, обработанный щелочью, способен поглощать отрицательно заряженные ионы за счёт положительного заряда на поверхности материала. Химический состав поверхности синтезируемого материала изменяется путём замачивания в растворах карбонатов, сульфатов, солей и хлоридов различных металлов. Для модификации инертных загрузок, используемых в водоподготовке, метод экзотермического горения в растворах (SCS) [7, 8, 9] является наиболее эффективным. Полученный таким методом модифицированный материал является недорогостоящим, а также изготавливается из распространённых и доступных реагентов. Также такой материал подтвердил свою эффективность при деферризации подземных вод [10]. На данный момент малоизученным является влияние различных условий синтеза методом SCS на изменение морфологических и химических параметров поверхности обрабатываемого материала. Например: сравнительный анализ фильтрующей загрузки просинтезированной с вымачиванием исходного материала в растворе с последующей фильтрацией и загрузки, синтезированной в растворе.

С помощью перечисленных методов обработки исходной загрузки возможно получение полифункциональных материалов. Модификация различными веществами позволяет выполнять определённую задачу в водоподготовке подземных вод. Например: для обеззараживания подземных вод может использоваться фильтрующий материал с покрытием из хлорида или оксида цинка. Для удаления нитратов и фосфатов возможно применение загрузки, обработанной хлоридами и карбонатами кальция, магния, алюминия и меди. С помощью материалов с железом- и марганецсодержащими фазами на поверхности возможно улучшить эффект удаления ионов железа, марганца и мышьяка из обрабатываемой подземной воды. Для такой обработки применимы растворы перманганата калия, оксидов кальция или магния, сульфатов и оксидов железа, хлоридов и оксидов марганца [11].



Применение полифункциональных материалов позволит увеличить эффективность работы многослойных фильтров на станции водоподготовки без изменения технологической схемы. Таким образом использование такого рода модифицированного материала является перспективным направлением в исследованиях.

#### Список литературных источников

1. Lo, S. L. Characteristics and adsorption properties of iron-coated sand / S. L. Lo, H. T. Jeng, C. H. Lai // *Water science and technology*. – 1997. – Vol. 35, № 7. – P. 63–70.
2. Romanovskii, V. I. Modified anthracites for deironing of underground water / V. I. Romanovskii, A. A. Khort // *Journal of Water Chemistry and Technology*. – 2017. – Vol. 39, № 5. – P. 299–304.
3. Gu, Z. Preparation and evaluation of GAC-based iron-containing adsorbents for arsenic removal / Z. Gu, J. Fang, B. Deng // *Environmental science & technology*. – 2005. – Vol. 39, № 6. – P. 3833–3843.
4. Barloková, D. Modified clinoptilolite in the removal of iron and manganese from water / D. Barloková, J. Ilavský // *Slovak journal of civil engineering*. – 2012. – Vol. 20, № 3. – P. 1–8.
5. Arsenic removal by iron-modified activated carbon / W. Chen [et al.] // *Water research*. – 2007. – Vol. 41, № 9. – P. 1851–1858.
6. Huang, C. P. Enhancing As 5+ removal by a Fe<sup>2+</sup> – treated activated carbon / C. P. Huang, L. M. Vane // *Research Journal of the Water Pollution Control Federation*. – 1989. – Vol. 61, № 9/10. – P. 1596–1603.
7. Modified activated carbon for deironing of underground water / D. Propolsky [et al.] // *Environmental Research*. – 2020. – Vol. 182. – P. 108996. Romanowski.
8. Recycling of iron-rich sediment for surface modification of filters for underground water deironing / Romanovski V. [et al.] // *Journal of Environmental Chemical Engineering*. – 2021. – № 9 (4). – P. 105712.
9. Очистка подземных вод от железа с использованием модифицированных антрацитов / Романовский В. И. [и др.] // *Вестник БрГТУ. Водохозяйственное строительство, теплоэнергетика и геоэкология*. – 2016. – № 2 (98). – С. 80–83.
10. Пропольский Д. Э. Полифункциональный модифицированный уголь для очистки подземных вод / Пропольский Д. Э., Романовский В. И. // *Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление*. – 2020. – № 4. – С. 103–111.
11. Пропольский, Д. Э. Модификация фильтрующих загрузок для очистки подземных вод / Д. Э. Пропольский // *Вода. Газ. Тепло – 2020 : материалы Междунар. науч.-техн. конф., посвящ. 100-летию Белорус. нац. техн. ун-т, 100-летию кафедры «Гидротехническое и энергетическое строительство, водный транспорт и гидравлика», 90-летию кафедры «Теплогасоснабжение и вентиляция», Минск, 8–10 окт. 2020 г. / Белорус. нац. техн. ун-т ; редкол.: С. В. Харитончик [и др.]. – Минск, 2020. – С. 139–141.*

#### **Сорбенты нефтепродуктов из отходов станций обезжелезивания**

Горелая О.Н.

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель, Республика Беларусь,  
glesya@mail.ru*

**Резюме.** Представлены результаты синтеза сорбентов, полученных из осадков станций обезжелезивания, для очистки нефтесодержащих сточных вод. Исследованы влияние природы и количества восстановителя, а также температуры синтеза на поверхностные свойства и фазовый состав получаемых материалов.

#### **Sorbents of oil products from iron removal station waste**

Gorelaia O.

**Summary.** The results of the synthesis of sorbents obtained from the sediments of iron removal stations for the treatment of oily wastewater are presented. The influence of the nature

and amount of the reducing agent, as well as the synthesis temperature on the surface properties and phase composition of the obtained materials, has been studied.

Многие современные направления концепции устойчивого развития предполагают вовлечение в хозяйственный оборот отходов производства. Так, для сорбции нефтепродуктов из водных сред широко используются материалы не только природного происхождения, но и на основе некоторых отходов [1, 2, 3, 4, 5]. Ранее нами было предложено использовать железосодержащие осадки очистки промывных вод фильтров обезжелезивания для получения материалов, пригодных для удаления нефтепродуктов из водных сред [6, 7, 8, 9, 10].

Задачей данной работы было исследовать влияние природы и дозы восстановителя, а также температуры синтеза на сорбционные свойства получаемых сорбентов.

Исходным материалом для выполнения исследований выбраны отходы станции обезжелезивания, которые накапливаются в значительных количествах после промывки фильтров. Для получения таких материалов был использован метод экзотермического горения в растворах. Преимуществами данного метода являются малое время подготовительных процедур и синтеза, низкие энергозатраты, легкая масштабируемость. В качестве железосодержащих прекурсоров для синтеза использовались растворы кислотного (азотная кислота) выщелачивания железосодержащих осадков станций обезжелезивания. В качестве восстановителя служили глицин, мочевины, лимонная кислота и гексаметиленetetраамин с мольным соотношением «окислитель – восстановитель», равным 1 (образец f1) и равным 3 (образец f3). Использование более высокой дозы восстановителя было выбрано с учетом возможности получения большей доли магнитных фаз. Исследованный температурный диапазон синтеза от 300 до 700 °C с шагом 100 °C.

Все эксперименты по адсорбционному равновесию и определению нефтеемкости проводились при условиях, подробно описанных в работах [6, 7, 8, 9, 10]. Сорбционные свойства полученных материалов было решено оценивать по нефтеемкости по отношению к отработанным маслам. Нами была выбрана стандартная методика согласно ГОСТ 33622–2015 и ГОСТ 33627–2015, претерпевшая изменения только за счет предположения, что сорбент обладает ярко выраженными магнитными свойствами, то есть извлечение насыщенного нефтепродуктом сорбента из модельного раствора осуществлялось с помощью магнита.

Учитывая особенности используемой методики синтеза получаемые материалы характеризуются высокой удельной поверхностью (до 150 м<sup>2</sup>/г), а наличие железа в составе отхода приводит к образованию магнитных фаз. Наличие железа в виде магнитных фаз придает дополнительные функциональные свойства получаемым материалам, позволяющим их более эффективно удалять из очищаемых сред. Получаемые магнитные сорбенты обладают хорошей нефтеемкостью – до 8 г/г. Установлено, что избыток восстановителя практически не дает более высоких показателей полной статической обменной емкости.

Установлено, что при использовании мочевины, лимонной кислоты и гексаметиленetetраамина происходит полное выгорание углерода во всем диапазоне используемых температур, что согласуется с результатами рентгенофазового анализа. Наиболее стабильные показатели ПСОЕ наблюдались в образцах, полученных с использованием в качестве восстановителя (f1) мочевины, лимонной кислоты и гексаметиленetetраамина, – 4,23–4,74, 3,27–4,65 и 2,83–4,42 мг/г соответственно. Для образцов, в качестве восстановителя которых использовался гексаметиленetetраамин с избытком f3, прослеживается обратная зависимость: при более низких температурах ПСОЕ выше, чем при максимально исследованных в данном эксперименте. Вероятно, это происходит за счет недогоревшего углерода при низких температурах, что способствует повышению сорбционной емкости, а в самой реакции синтеза образуются частицы с меньшей удельной поверхностью.

Экспериментально показано, что максимальное значение удельной поверхности достигается в образцах f3, синтезированных при температуре 700 °С, для глицина и мочевины и составляет 161,8 и 168,7 м<sup>2</sup>/г; для лимонной кислоты и гексаметиленetetрамина максимум отмечен при температурах синтеза 300–400 °С и имеет более высокие значения – 186,6 и 173,3 м<sup>2</sup>/г соответственно. Для образцов, синтезированных с мольным соотношением «окислитель – восстановитель», равным 1, максимальные значения удельной поверхности только для образцов с восстановителем «глицин» наблюдаются при температуре 700 °С. Для остальных образцов сорбента наибольшие значения этого показателя ярко выражены при температуре синтеза 400 °С, а с дальнейшим ростом температуры снижаются незначительно. При исследовании шлама химводоподготовки ТЭЦ в качестве нефтяного сорбента [3] удельная поверхность в зависимости от температуры обработки образцов изменялась от 23,1 до 64,7 м<sup>2</sup>/г. Исследованные почвы и глины по метиленовому голубому имеют удельную поверхность от 7,8 до 344,5 м<sup>2</sup>/г, но в основном не превышают 90 м<sup>2</sup>/г [19–21].

При проведении сравнительного анализа нефтеемкости образцов, синтезированных с мольным соотношением «окислитель – восстановитель», равным 1 и 3, можно сделать вывод, что все образцы имеют значительно более низкие показатели при избытке восстановителя f3. Но при этом сохраняется тенденция стабильно высоких показателей нефтеемкости магнитных образцов сорбента, полученного с использованием в качестве восстановителя глицина: для образца f3 нефтеемкость составила 2,96–6,09 г/г, для образца f1 – 5,61–7,65 г/г. При мольном соотношении «окислитель – восстановитель», равном 1, значение нефтеемкости увеличивается с увеличением температуры синтеза до 500 °С, затем кривая выходит на плато, и можно говорить о высоких стабильных показателях нефтеемкости полученных образцов сорбентов.

Результаты проведенных исследований синтеза сорбентов из осадков станций обезжелезивания для очистки нефтесодержащих сточных вод при использовании различных доз восстановителя показали следующее:

- осадок после промывки фильтров обезжелезивания является перспективным исходным материалом для получения наноразмерных магнитных сорбентов методом экзотермического горения в растворах;
- полученные сорбенты обладают достаточно высокой удельной поверхностью (более 150 м<sup>2</sup>/г), сравнимой с суммарной площадью поверхности пористых адсорбентов [18];
- нефтеемкость, определенная для образцов сорбента f1, достигает значения 7,65 г/г, что сопоставимо с нефтеемкостью природных органических материалов и некоторых композиционных материалов, предлагаемых в качестве нефтяных сорбентов;
- избыток восстановителя при синтезе наноразмерных магнитных сорбентов не оказывает положительного влияния на свойства готовых образцов независимо от температуры синтеза;
- наиболее перспективным сорбентом являются образцы, полученные при температуре 400–500 °С.

#### Список литературных источников

1. Романовский, В. И. Вододерживающие свойства агрегатов, полученных из отходов отработанных ионообменных смол / В. И. Романовский, В. Л. Грузинова // Вестник БрГТУ. Водохозяйственное строительство, теплоэнергетика и геоэкология. – 2013. – № 2. – С. 101–103.
2. Романовский, В. И. Поверхностные свойства агрегатов, полученных из отходов отработанных ионообменных смол / В. И. Романовский, В. Л. Грузинова // Вестник БрГТУ. Водохозяйственное строительство, теплоэнергетика и геоэкология. – 2013. – № 2. – С. 103–106.
3. Грузинова, В. Л. Математическое описание процесса реагентной очистки сточных вод от нефтепродуктов / В. Л. Грузинова, В. И. Романовский, В. В. Лихавицкий // Вестник БрГТУ. Водохозяйственное строительство, теплоэнергетика и геоэкология. – 2014. – № 2. – С. 62–65.

4. Грузинова, В. Л. Сорбционные свойства и эксплуатационные характеристики угольных волокнистых материалов / В. Л. Грузинова, В. И. Романовский // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия F. – 2015. – № 16 : Строительство. Прикладные науки. Инженерные сети, экология и ресурсоэнергосбережение. – С. 141–145.
5. Романовский, В. И. Отходы синтетических материалов для очистки нефтесодержащих сточных вод (Waste synthetic materials for cleaning oil-containing wastewater) / В. И. Романовский, В. Л. Грузинова // Водоочистка. Водоподготовка. Водоснабжение. – 2018. – № 1. – С. 24–29.
6. Горелая, О. Н. Магнитный сорбент из отходов водоподготовки для очистки нефтесодержащих сточных вод / О. Н. Горелая, В. И. Романовский // Вестник БрГТУ. Водохозяйственное строительство, теплоэнергетика и геоэкология. – 2020. – № 2. – С. 61–64.
7. Горелая, О. Н. Сорбент для очистки нефтесодержащих сточных вод на основе отходов станций обезжелезивания / О. Н. Горелая, В. И. Романовский // Водоснабжение и санитарная техника. – 2020. – № 10. – С. 48–54.
8. Горелая, О. Н. Магнитный сорбент из отходов водоподготовки для удаления нефтепродуктов из водных сред / О. Н. Горелая, Н. Л. Будейко, В. И. Романовский // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия F. – 2020. – № 16 : Строительство. Прикладные науки. – С. 52–57.
9. Горелая, О. Н. Влияние дозы восстановителя на свойства магнитных сорбентов из осадков станций обезжелезивания / О. Н. Горелая, В. И. Романовский // Водоснабжение и санитарная техника. – 2022. – № 1. – С. 32–37.
10. Романовский, В. И. Магнитные сорбенты для удаления нефтепродуктов из водных сред / В. И. Романовский, О. Н. Горелая, А. А. Хорт // Актуальные вопросы и перспективы развития транспортного и строительного комплексов : материалы IV Междунар. науч.-практ. конф. : в 2 ч. / М-во трансп. и коммуникаций Респ. Беларусь, Бел. ж. д., Белорус. гос. ун-т трансп. ; под общ. ред. Ю. И. Кулаженко. – Гомель : БелГУТ, 2018. – Ч. 1. – С. 215–216.

#### **Флотация сточных вод красильных производств с использованием озона**

Пилипенко М.В.

*Республиканское унитарное предприятие «Центральный научно-исследовательский институт комплексного использования водных ресурсов», г. Минск, Республика Беларусь, marinaby@yandex.by*

**Резюме.** Представлены результаты эффективности очистки сточных вод пневматической флотацией с использованием озono-воздушной смеси вместо воздуха. Изучено влияние расхода газовой смеси, концентрации красителя, концентрации озона в газовой смеси на эффективность очистки. В результате работы было показано увеличение эффективности до 12 раз при использовании озono-воздушной смеси вместо воздуха.

#### **Flotation of wastewater from dyeing plants using ozone**

Pilipenko M.

**Summary.** The results of the efficiency of wastewater treatment by pneumatic flotation using an ozone-air mixture instead of air are presented. The effect of the gas mixture flow rate, dye concentration, and ozone concentration in the gas mixture on the cleaning efficiency has been studied. As a result of the work, an increase in efficiency up to 12 times was shown when using an ozone-air mixture instead of air.

Для обесцвечивания красителей и минерализации других органических загрязнений, содержащихся в сточных водах красильных и отделочных производств требуется достаточно глубокая деструкция их молекул, так как они имеют достаточно высокую молекулярную массу. После предварительной очистки на локальных очистных сооружениях практически никогда не достигаются нормы сброса ХПК, для чего сточные воды часто разбавляют чистой водой. Проведенные нами ранее исследования по сравнительному

анализу очистки сточных вод от красителей [1] озонированием, сорбцией, УФ обработкой и фотокаталитическим окислением показали, что наиболее эффективными являются озонирование [2, 3, 4, 5] и использование фотокатализаторов [6, 7, 8]. В настоящее время исследования по использованию фотокатализаторов выполняются преимущественно в лабораторных условиях, ввиду сложности сепарации частиц фотокатализаторов после очистки. Исследованы новые сорбционные материалы из отходов [9, 10, 11, 12, 13]. Было показано, что наиболее эффективно использование озона на стадии доочистки сточных вод после основной стадии очистки [1]. В качестве первой стадии очистки часто используются электрокоагуляция и флотация, отдельно или их комбинация (электрокоагуляция с последующей флотацией). Одним из современных направлений в очистке сточных вод является комбинирование методов очистки для достижения синергетического эффекта. Несмотря на наличие немногочисленных публикаций по данной тематике, в них представлены точечные исследования, без широкой оценки параметров озонирования (концентрации озона в озono-воздушной смеси, широкого диапазона расхода озono-воздушной смеси, влияния концентрации красителя, и др.).

Для оценки влияния различных методов деструкции был выбран метиленовый синий (основной) краситель. Для эксперимента использовали модельные растворы красителя с концентрациями 2,5, 5 и 10 мг/л и 0,02% содержание ПАВ (додецилсульфат натрия). Также оценку эффективности очистки проводили на реальной сточной воде предприятия. Состав сточной воды: водородный показатель (рН) 7,26, взвешенные вещества 487,5 мг/л, хлориды 1681,25 мг/л, сульфаты 245,8 мг/л, нефтепродукты 0,39 мг/л, аПАВ 2,11 мг/л, ХПК 327,5 мг О<sub>2</sub>/л, сухой остаток 906,5 мг/л, железо 3,46 мг/л. Температура обрабатываемой сточной воды 21 ± 2 °С. Для пневматической флотации озонem использовали два озонатора: ВГО-15 (2,7 гО<sub>3</sub>/м<sup>3</sup>) и Pinuslongaeva F1 (8,3 гО<sub>3</sub>/м<sup>3</sup>). Объем обрабатываемой воды 1 л, высота слоя жидкости 20 см. Расход озono-воздушной смеси на выходе из генератора озона 2,5, 3,75 и 6,25 л/мин. Таким образом, удельный расход озono-воздушной смеси составляет 2,5, 3,75 и 6,25 л/(л·мин). Очистку сточной воды с предприятия проводили при постоянном расходе газовой смеси 6,25 л/мин (соответственно удельный расход 6,25 л/(л·мин)). Концентрация озона в газовой смеси при обработке сточной воды предприятия составляла 8,3 г/м<sup>3</sup>. Для диспергирования газовой смеси использовались керамические аэраторы. Процесс флотации проводили периодически для каждого выбранного условия обработки. В процессе обработки флотошлам накапливался на поверхности обрабатываемой сточной воды. Образующийся флотошлам удаляли после окончания процесса флотации. Определение эффективности очистки модельной и реальной сточной воды проводили по оптической плотности с пересчетом в действительную концентрацию. Для определения оптической плотности использовали спектрофотометр ПЭ-5300ви. Максимальное поглощение для красителя метиленового синего наблюдается при 660 нм. Также эффективность очистки реальной сточной воды проводили по показателю ХПК. Обработку результатов проводили при помощи программного обеспечения MatLab.

Полученные результаты по очистке модельной сточной воды воздушной смесью с содержанием озона 0–8,3 г/м<sup>3</sup> показывают закономерное увеличение эффективности очистки с увеличением расхода газовой смеси и концентрации озона, а также с уменьшением исходной концентрации красителя метиленового голубого. Результаты по флотации модельных сточных вод с использованием воздуха показали максимальную эффективность очистки в районе 20%. Из полученных результатов видно, что расход воздушной смеси должен быть более 3 л/мин и время обработки не менее 20 мин. При использовании озона расход газовой смеси также должен быть не менее 3 л/(л·мин) и время очистки не менее 15 мин. Ранее в работах [14] нами было показано, что оптимальное время насыщения воды озонem составляет около 10 мин.

Была получена модель, описывающая эффективность зависимость концентрации озона в озono-воздушной смеси (0, 2,7, 8,3 г/м<sup>3</sup>), расхода озono-воздушной смеси (2,5, 3,75,–6,25 л/(л·мин)), концентрации раствора красителя (2,5–10 мг/л), времени

обработки (0–30 мин) на эффективность очистки. Коэффициент детерминации полученной модели составляет 0,67.

$$\begin{aligned} \text{Эф} = & 23,9462 + 2,8240 \cdot C_{O_3} + 4,5315 \cdot V + 0,3184 \cdot C_{MВ} + 0,2911 \cdot T + 0,2680 \cdot C_{O_3} \cdot V - \\ & 0,1627 \cdot C_{O_3} \cdot C_{MВ} + 0,2768 \cdot C_{O_3} \cdot T + 0,0348 \cdot V \cdot C_{MВ} - 0,0046 \cdot V \cdot T - 0,0462 \cdot C_{MВ} \cdot T + \\ & 0,0021 \cdot C_{O_3} \cdot V \cdot C_{MВ} - 0,0084 \cdot C_{O_3} \cdot V \cdot T + 0,0100 \cdot C_{O_3} \cdot C_{MВ} \cdot T + 0,0021 \cdot V \cdot C_{MВ} \cdot T + \\ & 0,0001 \cdot C_{O_3} \cdot V \cdot C_{MВ} \cdot T - 0,4882 \cdot V^2 - 0,0323 \cdot C_{MВ}^2, \end{aligned} \quad (1)$$

Результаты по очистке сточных вод (при установленном расходе воздуха 6,25 л/(л·мин)) предприятия показали эффективность очистки на уровне 37,1% по ХПК, при использовании озono-воздушной смеси 91,3%, что в 2,45 раза выше, чем при использовании воздуха. Показано, что при использовании воздуха происходит преимущественное снижение ХПК. Оптическая плотность исходной сточной воды находится за пределом определения прибора ( $D = 3,0$ ). Принимая за исходное данное значение оптической плотности ( $D = 3,0$ ) эффективность очистки при использовании воздуха составляет 27,0%, при использовании озono-воздушной смеси 87,9%, что в 3,25 раза выше, чем при использовании воздуха. Заметная эффективность очистки с использованием озono-воздушной смеси наблюдается по прошествии 15 мин обработки. Это хорошо коррелирует с данными по кинетике насыщения воды озонem. Данные результаты подтверждены в опубликованных ранее данных [14, 15].

Таким образом, использование озона включает два механизма очистки. Первый, это пневматическая флотация. Второй, это химическая деструкция органических соединений.

Результаты проведенных исследований позволяют сделать следующие выводы. При использовании флотации озонem, для достижения 90% очистки на реальных сточных водах предприятия, отобранных до блока очистных сооружений (электрокоагуляция с последующей флотацией):

- рекомендуемое время обработки не менее 60 мин;
- расход озonoвоздушной смеси не менее 5 л/(л·мин);
- концентрация озона в озonoвоздушной смеси не менее 8 г/м<sup>3</sup>.

#### Список литературных источников

1. Романовский, В. И. Сравнительный анализ методов очистки сточных вод от красителей / В. И. Романовский, В. В. Лихавицкий, М. В. Пилипенко // Вода magazine. – 2016. – № 12 (112). – С. 54–58.
2. Дезинфекция озонem водозаборных скважин и трубопроводов систем питьевого водоснабжения / В. И. Романовский [и др.] // Труды БГТУ. – 2013. – № 3 (159) : Химия и технология неорган. в-в. – С. 55–60.
3. Романовский, В. И. Эффективность использования озона в технологии водоподготовки / В. И. Романовский, А. Д. Гуринович, П. Вавженюк // Водоочистка. – 2014. – № 2. – С. 66–70.
4. Анализ эффективности дезинфекции сооружений питьевого водоснабжения с использованием хлорсодержащих дезинфицирующих средств и озона / Романовский В. И. [и др.] // Вестник БрГТУ. Водохозяйственное строительство, теплоэнергетика и геоэкология. – 2015. – № 2 (92). – С. 68–71.
5. Определение основных параметров дезинфекции и обеззараживания озонem сооружений питьевого водоснабжения / В. И. Романовский [и др.] // Труды БГТУ. – 2015 – № 3 (176) : Химия и технология неорган. в-в. – С. 108–112.
6. Романовский, В. И. Железо-молибден-содержащие фотокатализаторы из осадков очистки промывных вод фильтров обезжелезивания / В. И. Романовский, Д. М. Куличик, М. В. Пилипенко // Водоочистка. – 2019. – № 6 (180). – С. 73–78.
7. Пилипенко, М. В. Железо-лантан-содержащие фотокатализаторы из осадков очистки промывных вод фильтров обезжелезивания / М. В. Пилипенко, И. Ю. Козловская, В. И. Романовский // Вестник БрГТУ. Водохозяйственное строительство, теплоэнергетика и геоэкология. – 2022. – № 1 (127). – С. 42–44.

8. Монак, Т. М. Анализ перспектив использования отходов гальванических производств / Т. М. Монак, Л. В. Кульбицкая, В. И. Романовский // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия F. – 2020. – № 16 : Строительство. Прикладные науки. – С. 96–100.
9. Романовский, В. И. Механохимическая переработка отходов ионообменных смол / В. И. Романовский, В. Н. Марцуль // Труды БГТУ. Сер. IV, Химия и технология орган. в-в. – 2006. – № 14. – С. 89–91.
10. Романовский, В. И. Материалы для очистки сточных вод на основе отработанных синтетических ионитов / В. И. Романовский, В. Н. Марцуль // Ресурсо- и энергосберегающие технологии и оборудование, экологически безопасные технологии : материалы докл. международной науч.-тех. конф. БГТУ, Минск, 19–20 ноября 2008 г. / Белорус. гос. техн. ун-т ; редкол.: И. М. Жарский [и др.]. – Минск, 2008. – С. 141–142.
11. Романовский, В. И. Термическая деструкция отработанных синтетических ионитов / В. И. Романовский, В. Н. Марцуль // Весці Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі. Сер. хім. навук. – 2008. – № 1. – С. 115–119.
12. Романовский, В. И. Влияние механохимической активации отходов ионитов на дисперсный состав и свойства получаемых продуктов / В. И. Романовский, В. Н. Марцуль // Весці Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі. Сер. хім. навук. 2008. – № 2. – С. 111–117.
13. Романовский, В. И. Поверхностные свойства агрегатов, полученных из отходов отработанных ионообменных смол / В. И. Романовский, В. Л. Грузинова // Вестник БрГТУ. Водохозяйственное строительство, теплоэнергетика и геоэкология. – 2013. – № 2. – С. 103–106.
14. Романовский, В. И. Исследование растворимости озона в воде по высоте столба жидкости / В. И. Романовский, В. В. Лихавицкий, А. Д. Гуринович // Труды БГТУ. – 2015. – № 3 (176) : Химия и технология неорган. в-в. – С. 113–118.
15. Технические аспекты использования озона в водоподготовке / В. И. Романовский [и др.] // Вода magazine. – 2016. – № 2 (102). – С. 36–41.

### **Комбинирование ультразвуковой обработки и озонирования для очистки сточных вод красильных производств**

Пилипенко М.В.

*Республиканское унитарное предприятие «Центральный научно-исследовательский институт комплексного использования водных ресурсов», г. Минск, Республика Беларусь,  
marinaby@yandex.by*

**Резюме.** Представлены результаты эффективности очистки сточных вод комбинированием ультразвуковой обработки и озонирования. В результате работы была показана перспективность использования комбинирования двух методов. Показано увеличение эффективности очистки сточной воды до 12% при комбинировании флотации озono-воздушной смесью вместо воздуха с ультразвуковой обработкой.

### **Combination of ultrasonic treatment and ozonation for wastewater treatment of dyeing plants**

Pilipenko M.

**Summary.** The results of the efficiency of wastewater treatment by combining ultrasonic treatment and ozonation are presented. As a result of the work, the prospects of using a combination of two methods were shown. An increase in the efficiency of wastewater treatment up to 12% has been shown when combining flotation with an ozone-air mixture instead of air with ultrasonic treatment.

Сточные воды красильно-отделочных производств отличаются широким компонентным составом, зависящим в первую очередь от вида окрашиваемых тканей. Данные сточные воды имеют интенсивную окраску и содержат высокие концентрации красителей, ПАВ, хлоридов, и др. На красильно-отделочных производствах и цехах

выделяют два потока производственных сточных вод: первый поток – сточные воды активного крашения и второй поток – подготовка полотна к крашению, промывки. Основной задачей очистки сточных вод является снижение концентрации СПАВ и красителей, а также снижение интенсивности окраски по разведению до бесцветной (не более 1/5). На обследованных нами предприятиях для очистки сточных вод широкое распространение нашли методы электрокоагуляции с последующей флотацией пневматической или электрохимической, либо только наличие флотационных установок. Анализ литературных источников также показывает, что в качестве перспективных на сегодняшний день рассматриваются комбинированные системы очистки сточных вод красильно-отделочных производств, а также использование методов, позволяющих интенсифицировать существующие методы очистки. Одними из таких методов могут рассматриваться озонирование [1, 2, 3, 4, 5], использование ультразвуковой обработки и гидродинамической кавитации, использование фотокатализаторов [6, 7, 8]. В качестве альтернативных вариантов также рассматриваются различные сорбционные материалы [9, 10, 11, 12, 13]. В современных литературных источниках отмечаются позитивные эффекты при использовании ультразвука для очистки сточных вод от красителей и ПАВ, что инициирует дополнительные флотационные и коагуляционные эффекты, активизирует тепло и массообменные процессы. В свою очередь использование озона также перспективно в системах очистки водных сред. Комбинация озонирования с  $H_2O_2$ , ультрафиолетовым излучением, катализаторами, ультразвуковой обработкой приводит к усилению образования гидроксильных радикалов и повышению эффективности процесса очистки.

В данной работе представлены исследования по комбинированной очистке сточных вод красильно-отделочных производств с использованием ультразвуковой обработки и флотацией озоном.

Оценку эффективности очистки проводили на производственной сточной воде. Состав сточной воды: водородный показатель (рН) 7,26, взвешенные вещества 487,5 мг/л, хлориды 1681,25 мг/л, сульфаты 245,8 мг/л, нефтепродукты 0,39 мг/л, аПАВ 2,11 мг/л, ХПК 327,5 мг  $O_2$ /л, сухой остаток 906,5 мг/л, железо 3,46 мг/л. Температура обрабатываемой сточной воды  $21 \pm 2$  °С. Объем обрабатываемой воды 1 л, высота слоя жидкости 20 см.

Для ультразвуковой обработки (кавитации) использовали ультразвуковую установку с пьезоэлектрическим излучателем производства фирмы «ИНЛАБ» (Россия) ИЛ 100–6/1. Мощность установки – 630 Вт, рабочая частота –  $22 \pm 10\%$  кГц, амплитуда колебаний – не менее 40 мкм. Интенсивность звуковых колебаний в условиях эксперимента составляла  $79 \text{ Вт/см}^2$ .

Для пневматической флотации озоном использовали два озонатора: ВГО-15 ( $2,7 \text{ г}O_3/\text{м}^3$ ) и Pinuslongaeva F1 ( $8,3 \text{ г}O_3/\text{м}^3$ ) с возможностью регулирования концентрации озона на выходе и расхода газовой смеси. Расход озono-воздушной смеси на выходе из генератора озона устанавливался постоянным 6,25 л/мин. Таким образом, удельный расход озono-воздушной смеси составлял 6,25 л/(л·мин). Для диспергирования газовой смеси использовались керамические аэраторы. Процесс флотации проводили периодически с шагом в 15 мин. После каждого периода проводился отбор пробы и удаление флотошлама.

Определение эффективности сточной воды проводили по оптической плотности с пересчетом в действительную концентрацию. Для определения оптической плотности использовали спектрофотометр ПЭ-5300ви. Максимальное поглощение для сточной воды наблюдается при длине волны 300 нм. Также эффективность очистки реальной сточной воды проводили по показателю ХПК (экспресс методика). Обработку результатов проводили при помощи программного обеспечения MatLab.

Были получены уравнения регрессии, описывающие эффективность очистки по оптической плотности ( $E_{\text{D}}$ ) и ХПК ( $E_{\text{XПК}}$ ) от концентрации озона в озono-воздушной смеси ( $0-8,3 \text{ г/м}^3$ ) и времени обработки ( $0-30$  мин). Коэффициент детерминации модели (1) составляет 0,9862, модели (2) 0,9904 соответственно.



$$E_{\text{FD}} = -5,499 + 25,85 \cdot t + 1,113 \cdot C_{\text{O}_3} - 15,04 \cdot t^2 + 2,713 \cdot t \cdot C_{\text{O}_3} - 0,03245 \cdot C_{\text{O}_3}^2 + 2,757 \cdot t^3 - 0,3304 \cdot t^2 \cdot C_{\text{O}_3} - 0,04265 \cdot t \cdot C_{\text{O}_3}^2 + 0,0003 \cdot C_{\text{O}_3}^3 - 0,1579 \cdot t^4 + 0,0152 \cdot t^3 \cdot C_{\text{O}_3} + 0,00156 \cdot t^2 \cdot C_{\text{O}_3}^2 + 0,0002625 \cdot t \cdot C_{\text{O}_3}^3, \quad (1)$$

$$E_{\text{ХПК}} = -0,8188 + 6,614 \cdot t + 0,1214 \cdot C_{\text{O}_3} - 4,696 \cdot t^2 + 0,7712 \cdot t \cdot C_{\text{O}_3} + 0,01073 \cdot C_{\text{O}_3}^2 + 0,9399 \cdot t^3 - 0,1128 \cdot t^2 \cdot C_{\text{O}_3} - 0,00531 \cdot t \cdot C_{\text{O}_3}^2 - 0,000146 \cdot C_{\text{O}_3}^3 - 0,05674 \cdot t^4 + 0,006015 \cdot t^3 \cdot C_{\text{O}_3} + 0,0002454 \cdot t^2 \cdot C_{\text{O}_3}^2 + 1,258 \cdot 10^{-5} \cdot t \cdot C_{\text{O}_3}^3, \quad (2)$$

где  $t$  – время обработки, мин;

$C_{\text{O}_3}$  – концентрация озона в озono-воздушной смеси, г/м<sup>3</sup>.

Полученные результаты показывают, что использование ультразвука для очистки сточных вод дает более низкие значения эффективности в сравнении с воздушной флотацией. Несмотря на то, что в процессе ультразвуковой обработки образуются нано и микрогазовые пузырьки (разрывы сплошности среды) они достаточно быстро схлопываются. То есть основное влияние на растворенные красители и СПАВ происходит за счет высвобождаемой энергии от схлопывания пузырьков за счет чего и происходит разрыв связей. Известно, что наименьшую энергию связи имеют связи гетероатом-гетероатом, углерод-гетероатом. Как раз данные связи и отвечают за хромофорные свойства красителей. В процессе пневматической флотации образуется значительно больший рой пузырьков, несмотря на их размеры в несколько миллиметров [14, 15]. Таким образом, флотация в сравнении с ультразвуковой обработкой является более эффективной.

Результаты по очистке сточных вод (при установленном расходе озono-воздушной смеси 6,25 л/(л·мин)) показали эффективность очистки на уровне 98,8% по оптической плотности и 62,3% по ХПК. Добавление ультразвуковой обработки в процессе флотации озонem привело к увеличению очистки до 10,9% по оптической плотности и 12,0% по ХПК. Более высокая эффективность по оптической плотности в сравнении с эффективностью очистки по ХПК показывает, что в процессе комбинированной очистки при выбранных условиях в первую очередь происходит отщепление хромофорных групп красителей, отвечающих за окраску.

Результаты проведенных исследований позволяют сделать следующие выводы. В условиях эксперимента ультразвуковая обработка привела к увеличению эффективности флотации озонem до 12%. Данный эффект может быть связан в первую очередь с диспергированием пузырьков озono-воздушной смеси, приводящее к увеличению их суммарной поверхности и соответственно увеличению кинетики массообмена – растворения озона.

#### Список литературных источников

1. Романовский, В. И. Сравнительный анализ методов очистки сточных вод от красителей / В. И. Романовский, В. В. Лихавицкий, М. В. Пилипенко // Вода magazine. – 2016. – № 12 (112). – С. 54–58.
2. Дезинфекция озонem водозаборных скважин и трубопроводов систем питьевого водоснабжения / В. И. Романовский [и др.] // Труды БГТУ. – 2013. – № 3 (159) : Химия и технология неорган. в-в. – С. 55–60.
3. Романовский, В. И. Эффективность использования озона в технологии водоподготовки / В. И. Романовский, А. Д. Гуринович, П. Вавженюк // Водоочистка. – 2014. – № 2. – С. 66–70.
4. Анализ эффективности дезинфекции сооружений питьевого водоснабжения с использованием хлорсодержащих дезинфицирующих средств и озона / Романовский В. И. [и др.] // Вестник БрГТУ. Водохозяйственное строительство, теплоэнергетика и геоэкология. – 2015. – № 2 (92). – С. 68–71.
5. Определение основных параметров дезинфекции и обеззараживания озонem сооружений питьевого водоснабжения / В. И. Романовский [и др.] // Труды БГТУ. – 2015. – № 3 (176) : Химия и технология неорган. в-в. – С. 108–112.
6. Романовский, В. И. Железо-молибденсодержащие фотокатализаторы из осадков очистки промывных вод фильтров обезжелезивания / В. И. Романовский, Д. М. Куличик, М. В. Пилипенко // Водоочистка. – 2019. – № 6 (180). – С. 73–78.

7. Пилипенко, М. В. Железо-лантан-содержащие фотокатализаторы из осадков очистки промывных вод фильтров обезжелезивания / М. В. Пилипенко, И. Ю. Козловская, В. И. Романовский // Вестник БрГТУ. Водохозяйственное строительство, теплоэнергетика и геоэкология. – 2022. – № 1 (127). – С. 42–44.
8. Монак, Т. М. Анализ перспектив использования отходов гальванических производств / Т. М. Монак, Л. В. Кульбицкая, В. И. Романовский // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия F. – 2020. – № 16 : Строительство. Прикладные науки. – С. 96–100.
9. Романовский, В. И. Механохимическая переработка отходов ионообменных смол / В. И. Романовский, В. Н. Марцуль // Труды БГТУ. Сер. IV, Химия и технология орган. в-в. – 2006. – № 14. – С. 89–91.
10. Романовский, В. И. Материалы для очистки сточных вод на основе отработанных синтетических ионитов / В. И. Романовский, В. Н. Марцуль // Ресурсо- и энергосберегающие технологии и оборудование, экологически безопасные технологии : материалы докл. международной науч.-тех. конф. БГТУ, Минск, 19–20 ноября 2008 г. / Белорус. гос. техн. ун-т ; редкол.: И. М. Жарский [и др.]. – Минск, 2008. – С. 141–142.
11. Романовский, В. И. Термическая деструкция отработанных синтетических ионитов / В. И. Романовский, В. Н. Марцуль // Весці Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі. Сер. хім. навук. – 2008. – № 1. – С. 115–119.
12. Романовский, В. И. Влияние механохимической активации отходов ионитов на дисперсный состав и свойства получаемых продуктов / В. И. Романовский, В. Н. Марцуль // Весці Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі. Сер. хім. навук. 2008. – № 2. – С. 111–117.
13. Романовский, В. И. Поверхностные свойства агрегатов, полученных из отходов отработанных ионообменных смол / В. И. Романовский, В. Л. Грузинова // Вестник БрГТУ. Водохозяйственное строительство, теплоэнергетика и геоэкология. – 2013. – № 2. – С. 103–106.
14. Романовский, В. И. Исследование растворимости озона в воде по высоте столба жидкости / В. И. Романовский, В. В. Лихавицкий, А. Д. Гуринович // Труды БГТУ. – 2015. – № 3 (176) : Химия и технология неорган. в-в. – С. 113–118.
15. Технические аспекты использования озона в водоподготовке / В. И. Романовский [и др.] // Вода magazine. – 2016. – № 2 (102). – С. 36–41.

**Прогноз изменения гидродинамического режима грунтовых вод  
в бассейне Припяти на основе статистической обработки данных  
наблюдений мониторинга подземных вод**

Музыкин В.П., Рыжова В.К.

*Республиканское унитарное предприятие «Центральный научно-исследовательский институт комплексного использования водных ресурсов», г. Минск, Республика Беларусь,  
ryzhova.valeryia@mail.ru*

**Резюме.** Для исследований использованы результаты мониторинга поверхностных и грунтовых вод Национальной системы мониторинга окружающей среды (НСМОС) в пунктах наблюдений, расположенных в бассейне Припяти (район гг. Мозыря и Микашевичи). На основе результатов статистической обработки данных наблюдений дано обоснование основных факторов формирования режима грунтовых вод в современных условиях и выполнен прогноз изменения современного гидродинамического режима грунтовых вод для исследуемой территории.

**Forecast of changes in the hydrodynamic regime of groundwater in the pripyat basin based  
on statistical processing of groundwater monitoring observations**

Muzykin V., Ryzhova V.

**Summary.** Results of monitoring of surface and ground waters of the National Environmental Monitoring System (NSMOS) at observation points located in the Pripyat basin (the area of Mozyr and Mikashevichi) were used for research. The substantiation of the main

factors of the formation of the groundwater regime in modern conditions is given on the basis of the results of statistical processing of observational data. The forecast of changes in the modern hydrodynamic regime of groundwater for the studied area is made.

В пределах исследуемой территории наблюдения за режимом поверхностных вод, уровнями грунтовых (УГВ) вод для условий их формирования, близких к естественным, проводятся на участках гидрологических и гидрогеологических постов НСМОС, а для нарушенных условий – специальных режимных сетях водозабора подземных вод Лучежевичи (Мозырь) и карьеров РУПП «Гранит» (Микашевичи).

Для оценки изменения режима УГВ в пределах исследуемой территории в условиях взаимовлияния с поверхностными водами использован метод сравнительного гидрогеологического анализа с элементами математической статистики. Для оценки закономерностей в многолетних колебаниях УГВ использованы многолетние (за 1989–2020 гг.) среднемесячные данные изменения уровней воды в реках, уровней УГВ на участках гидрогеологических постов, и построение на их основе хронологических графиков и разностных интегральных кривых по методикам [1, 2, 3].

Применение графиков разностных интегральных кривых позволило проследить направленность развития природных (или техногенных) процессов, в том числе оценить проявление ритмичности изменения уровней поверхностных и грунтовых вод в многолетнем разрезе. Экстремальные значения на интегральной кривой фактически определяют временную ритмичность хода уровней, поскольку их абсциссы соответствуют времени наступления среднемноголетней нормы уровня подземных вод (уровня воды в водотоке) после соответствующего их падения или повышения. Расчет модульных коэффициентов позволил проследить количественные изменения отклонения уровней уже по сезонам, то есть применение данного метода дает возможность проведения сравнительной оценки сезонных (природных или техногенных) колебаний уровней поверхностных и подземных вод в различных пунктах наблюдений.

Коэффициент относительного положения уровней ( $K_{от}$ , %) показывает, какая часть колебаний глубины залегания уровней УГВ (или УНВ) составляет в период наблюдений превышение над среднемноголетней нормой глубины залегания УГВ (или УНВ), и рассчитан по формуле:

$$K_{от} = \frac{h_{ср.мн} - h_{мин}}{h_{макс} - h_{мин}}, \quad (1)$$

где  $h_{ср.мн}$  – среднемноголетняя норма глубины залегания УГВ (УНВ) на участке за период наблюдений, м;

$h_{мин}$ ,  $h_{макс}$  – минимальная и максимальная глубина залегания УГВ (УНВ) в период прослеживаемых изменений, м.

При  $K_{от} = 0$  глубина залегания УГВ (УНВ) в период прослеживаемых изменений находилась на отметке среднемноголетней нормы, если  $K_{от} > 0$ , то, соответственно, данная расчетная часть (в %) колебаний УГВ (УНВ) в исследуемом периоде была выше отметки среднемноголетней нормы, а при  $K_{от} < 0$ , наоборот, ниже отметки среднемноголетней нормы.

Характеристика закономерностей режима поверхностных вод. Графики разностных интегральных кривых и модульных коэффициентов для опорных гидрологических постов приведены на рис. 1.

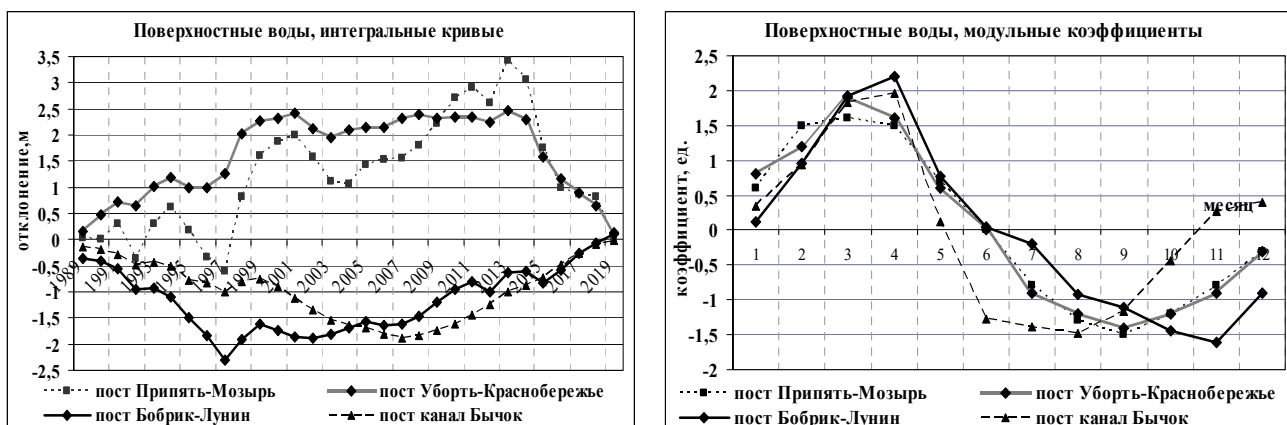


Рисунок 1 – Расчетные разностные интегральные кривые и графики модульных коэффициентов колебаний уровня воды для рек Припять, Уборть, Бобринь и канал Бычок

Анализ разностных интегральных кривых показал, что водный режим больших и средних рек Припять, Уборть и других до 2013 г. формировался в благоприятных природных водно-балансовых условиях и имеет 12-летний ритм хода уровней. С 2013 г. осуществляется ритм падения фактических уровней воды в реках ниже среднееголетних отметок, что соответствует формированию маловодной фазы колебаний уровней воды. Для рек Припять, Уборть и других средних рек в бассейне кривые модульных коэффициентов асимптотически соответствуют друг другу, что указывает на сходные закономерности в формировании сезонных режимов изменения уровней воды в реках.

Для малых рек в бассейне Припяти такая аналогия отсутствует: режим изменения уровней воды в водотоках является асинхронным крупным и средним рекам, ритмичность хода уровней выражена не столь явно, ритм падения уровней с 2013 г. не выражен, а сроки сезонных изменений уровней воды, как показывают графики модульных коэффициентов для рек Бобринь и канал Бычок на рисунке 1, являются несколько сдвинутыми.

Характеристика естественного (слабонарушенного) режима грунтовых вод. По имеющимся данным [4], в гидродинамическом отношении в пределах территории выделяются безнапорные (грунтовые), напорные и субнапорные подземные воды. Графики разностных интегральных кривых и модульных коэффициентов для грунтовых вод, формируемых на участках опорных гидрогеологических постов, выборочно представлены на рис. 2.

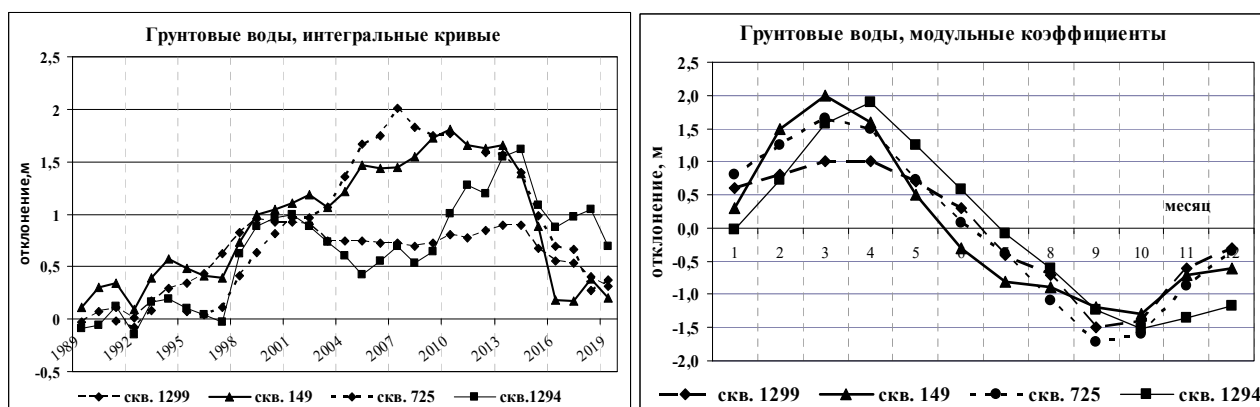


Рисунок 2 – Графики интегральных кривых и модульных коэффициентов многолетних колебаний УГВ на участках гидрогеологических постов Симоницко-Рудненский (скв. 1299), Ситненский (скв. 149), Туровский (скв. 1294) и Летенецкий (скв. 725)

Многолетние и сезонные колебания УГВ на участках гидрогеологических постов имеют общие сходные закономерности с поверхностными водами, обусловленные природными факторами.

Многолетний режим УГВ в пределах речных долин являлся синхронным режиму речных водотоков, а с 2013 г. так же, как и для рек отмечается цикл спада УГВ в среднем ниже среднемноголетних норм, продолжающийся до настоящего времени. Примером такого синхронного хода УГВ является участок опорного поста Ситненский, скв. 149. На удалении от долин Припяти и ее притоков, на водосборах и водоразделах озерно-болотной и аллювиальной равнин, а также плоской флювиогляциальной равнины днепровского горизонта, многолетний режим УГВ также является достаточно синхронным режиму речных водотоков (соответственно, скв. 1299, 1294 и 725). Здесь также с 2013 г. как и для рек и УГВ речных долин отмечается цикл спада УГВ в среднем ниже среднемноголетних норм, продолжающийся до настоящего времени.

Прогноз гидродинамического режима подземных вод. Прогноз формирования гидродинамического режима для исследуемой территории основан на концепции учета ритмичности хода УГВ – начавшийся в 2013 г. в пределах исследуемой территории 12-летний ритм общего спада УГВ, ориентировочно с 2026 г. сменится на ритм подъема. Для чего осуществлено удлинение рядов наблюдений на пять лет, с 2021 до 2026 г., и с использованием поправок для корректировки выборок в размере коэффициентов прогнозного максимального сезонного изменения стока рек в зимне-весенний и летне-осенний периоды (в соответствии с прогнозом изменения речного стока, представленным в [5]), осуществлено распределение удлиненных рядов наблюдений за 2013–2025 гг. в обратном порядке. Полученные ряды значений выборок приняты в качестве прогнозных временных рядов на 2026–2035 гг. и с их помощью рассчитаны прогнозные коэффициенты ( $K_{om}$ , %) относительного положения уровней УГВ, возможных на участках гидрогеологических постов на период 2026–2035 гг.

Результаты прогнозных расчетов показали, что характер хода УГВ в речных долинах и прилегающих к Припяти аллювиальных равнинах низкого уровня будет формироваться в условиях роста положительных значений  $K_{om}$  (то есть, установления глубины залегания подземных вод в среднем на уровне и выше среднемноголетних норм), как в весенний период, так и в летний период. Отклонение коэффициента относительного положения уровня  $K_{om}$  от современных условий может составить 8–21% в зимне-весенний период и 20–60% – в летне-осенний.

Заключение. В статье изложены данные изучения статистического распределения уровней УГВ в бассейне реки Припять за период 1989–2021 гг., а также их прогноза на период 2026–2035 гг., которые показали следующие результаты:

а) В ходе многолетних колебаний уровней поверхностных и грунтовых вод существуют многолетние ритмы спадов/подъемов уровней, предположительно связанные с солнечной активностью, средней продолжительностью около 12 лет. Гидродинамический режим УГВ может быть синхронным, переходным и асинхронным по отношению к уровенному режиму Припяти и ее притоков – средних рек. Режимы малых рек в бассейне Припяти не имеют синхронности с режимами Припяти. Наличие асимптотического несоответствия сезонных режимов малых водотоков режимам больших и средних рек, может указывать на наличие техногенной составляющей в режимах малых рек, чем может быть мелиоративное осушение.

б) С 2013 г. осуществляется многолетний спад уровней поверхностных и грунтовых вод, но ход УГВ в речных долинах и прилегающих равнинах характеризуется, в основном, природной однородностью распределения уровней с положительными значениями  $K_{om}$  в зимне-весенний период и с неустойчивым поведением (главным образом, установления ниже среднемноголетних норм) в летне-осенний период, что способствует наличию условий водности грунтовых вод и поверхностных водных объектов в среднем за сезон в категории ниже средней.

в) На период до 2035 г. гидродинамический режим подземных вод будет претерпевать некоторые положительные изменения при сохранении своей природной однородности распределения уровней, которые, в целом, будут способствовать повышению условий водности в регионе в сравнении с существующими, за исключением нарушенных территорий (водозабор Лучежевичи, карьеры РУП «Гранит»), где возможны дальнейшие негативные изменения.

#### Список использованных источников

1. Применение методов математической статистики для анализа и прогноза режима уровня подземных вод : методические указания. – М. : ВСЕГИНГЕО, 1967. – С. 107.
2. Ковалевский, В. С. Исследования режима подземных вод в связи с их эксплуатацией / В. С. Ковалевский. – М. : Недра, 1986. – С. 198.
3. Коноплянцев, А. А. Прогноз и картирование режима грунтовых вод / А. А. Коноплянцев, С. М. Семенов. – М. : Недра, 1974. – С. 216.
4. Козлов, М. Ф. Гидрогеология Припятского Полесья : в 2 т. / М. Ф. Козлов. – Мн. : Наука и техника, 1977. – С. 272.
5. Водные ресурсы Беларуси и их прогноз с учетом изменения климата / под общей редакцией А. А. Волчека, В. Н. Корнеева. – Брест : Альтернатива, 2017. – С. 228.

#### **Локальный мониторинг подземных вод в Республике Беларусь**

Музыкин В.П., Микулич Е.А., Шпакова Д.А., Рыжова В.К.

*Республиканское унитарное предприятие «Центральный научно-исследовательский институт комплексного использования водных ресурсов»», г. Минск, Республика Беларусь, [ogi@crisicuwrb.by](mailto:ogi@crisicuwrb.by)*

**Резюме.** Юридические лица и индивидуальные предприниматели, осуществляющие эксплуатацию объектов, оказывающих вредное воздействие на подземные воды, обязаны проводить локальный мониторинг, объектом наблюдения которого являются подземные воды. Приведены основные требования действующего законодательства к проведению локального мониторинга подземных вод, а также основные проблемы при создании природопользователями сетей и проведению локального мониторинга подземных вод.

#### **Local groundwater monitoring in the Republic of Belarus**

Muzykin V., Mikulich E., Shpakova D., Ryzhova V.

**Summary.** Legal entities and individual entrepreneurs operating facilities that have a harmful effect on groundwater are required to conduct local monitoring, the object of which is groundwater. The main requirements of the current legislation for local monitoring of groundwater, as well as the main problems in creating networks by nature users and conducting local monitoring of groundwater, are given.

В соответствии с требованиями действующего законодательства Республики Беларусь в области использования и охраны вод юридические лица и индивидуальные предприниматели, осуществляющие эксплуатацию объектов, оказывающих вредное воздействие на подземные воды, обязаны проводить локальный мониторинг, объектом наблюдения которого являются подземные воды [1, 2].

Локальный мониторинг подземных вод является видом локального мониторинга окружающей среды и проводится в составе Национальной системы мониторинга окружающей среды в Республике Беларусь в целях наблюдения за состоянием подземных вод в районе расположения источников вредного воздействия на подземные воды и воздействием этих источников на подземные воды [3, 4].

Пунктами наблюдений локального мониторинга подземных вод являются наблюдательные скважины и (или) колодцы, в том числе предназначенные для получения фоновых значений параметров наблюдений, оборудованные на первый от земной поверхности водоносный горизонт (комплекс), организованные в местах расположения выявленных или потенциальных источников загрязнения подземных вод [5]:

- объектов захоронения непригодных пестицидов;
- объектов захоронения отходов (за исключением объектов захоронения твердых коммунальных отходов с мощностью менее 1 тыс. тонн/год), в том числе после их рекультивации;
- объектов хранения, обезвреживания отходов, при проектировании которых при проведении оценки воздействия на окружающую среду установлено воздействие на подземные воды;
- сооружений биологической очистки сточных вод в искусственных условиях (иловых и (или) шламовых площадок) производительностью 50 тыс. куб. м/сутки и более;
- сооружений биологической очистки сточных вод в естественных условиях (полей фильтрации, полей подземной фильтрации) производительностью 200 куб. м/сутки и более в случае, если негативные последствия для подземных вод подтверждены научными гидрогеологическими исследованиями, заказчиком которых выступает Минприроды;
- объектов нефтепереработки и хранения нефти, складов хранения нефтепродуктов;
- в границах предоставленного горного отвода, а также за его пределами при осуществлении экономической деятельности, связанной с использованием недр, в случае если негативные последствия для подземных вод могут быть связаны с проведением горных работ;
- иных объектов, если негативные последствия для подземных вод могут быть связаны с их эксплуатацией.

В общем случае, при осуществлении хозяйственной и иной деятельности вредное воздействие на состояние подземных вод связано:

- а) с ухудшением потребительских свойств подземных вод по количественным и качественным показателям, вследствие чего затрудняется или исключается возможность использования подземных вод по целевому назначению;
- б) с негативными изменениями параметров других компонентов природной среды, взаимосвязанных с подземными водами (поверхностные водные объекты, леса, ландшафты и др.).

Перечень пунктов локального мониторинга окружающей среды, перечень параметров, периодичность наблюдений и перечень юридических лиц, осуществляющих проведение локального мониторинга, в том числе объектом наблюдения которого являются подземные воды, определяются Министерством природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь. По состоянию на январь 2023 г. данный перечень утвержден постановлением Минприроды Республики Беларусь 11.01.2017 № 5 в редакции постановления Минприроды Республики Беларусь 10.09.2021 № 23) [6].

Пункты наблюдений локального мониторинга включаются в государственный реестр пунктов наблюдений Национальной системы мониторинга окружающей среды в Республике Беларусь.

В соответствии с требованиями ЭкоНиП 17.01.06-001-2017 [6] при проведении локального мониторинга подземных вод необходимо предусматривать устройство сети пунктов наблюдений, количество и размещение которых определяются проектной документацией на источник вредного воздействия или на сеть пунктов наблюдений с учетом сложности гидрогеологических условий территории и особенностей рельефа местности.

В сети наблюдательных скважин и колодцев должны быть созданы скважины, которые располагают по течению естественного подземного потока выше источника вредного воздействия на подземные воды (фоновый пункт наблюдения) и ниже по течению

естественного потока (контрольный пункт наблюдения) за пределами границы прогнозируемой зоны воздействия данного источника.

Создание сети пунктов наблюдений локального мониторинга подземных вод должно обеспечить получение необходимой информации об условиях фильтрации загрязняющих веществ из источника вредного воздействия, формирования области загрязнения подземных вод и ее пространственно-временного развития.

На практике, как показал опыт РУП «ЦНИИКИВР» по созданию сетей и проведению локального мониторинга подземных вод за период 2005–2022 гг., далеко не всегда природопользователи следуют изложенным выше требованиям. Практически всегда при обследовании сетей пунктов наблюдений оказывалось, что они не соответствовали требованиям действующего законодательства. Анализ результатов обследований показал, что существуют три основные проблемы, которые зачастую сводят на нет всю информативность сетей локального мониторинга подземных вод:

1. Несоблюдение требований по размещению контрольных пунктов наблюдений за пределами прогнозируемой зоны воздействия.

2. Отсутствие или недостаточно обоснованное размещение фоновых пунктов наблюдений.

3. Размещение в сети «лишних», дублирующих друг друга пунктов наблюдений. Например, сеть наблюдательных скважин локального мониторинга подземных вод одного из предприятий насчитывала 20 скважин. После оптимизации сети с учетом нормативных требований для наблюдений РУП «ЦНИИКИВР» рекомендовано использовать только 11, в том числе две скважины оборудовать как фоновые.

На основании многолетнего опыта по организации и проведению локального мониторинга подземных вод за период 2005–2022 гг. РУП «ЦНИИКИВР» выполняет работы созданию сети пунктов наблюдений локального мониторинга подземных вод в три этапа:

1. Выполнение специальных гидрогеологических исследований, в результате которых решаются следующие задачи:

- изучение характера залегания и распространения водоносных горизонтов, находящихся под воздействием источника вредного воздействия;
- оценка положения уровней воды водоносных горизонтов;
- оценка защищенности водоносных горизонтов от загрязнения;
- оценка фильтрационных свойств отложений;
- определение фоновых значений показателей химического состава подземных вод в районе источника вредного воздействия;
- оценка масштабов (в плане и разрезе) и интенсивности загрязнения водоносных горизонтов в районе источника вредного воздействия;
- выполнение прогнозных расчетов развития области загрязнения во времени и в пространстве;
- определение местоположения, количества и видов пунктов наблюдений сети локального мониторинга подземных вод в районе источника вредного воздействия;
- рекомендации по организации отбора проб подземных вод.

2. Разработка по результатам гидрогеологических исследований проекта строительства пунктов наблюдений для проведения локального мониторинга в районе расположения источника воздействия на подземные воды.

3. Строительство пунктов наблюдений для проведения локального мониторинга подземных вод.

Выполнение вышеперечисленных работ в полном объеме позволяет получить достоверные данные локального мониторинга подземных вод, оценить состояние подземных вод в районе расположения источников вредного воздействия и воздействие этих источников на подземные воды.



#### Список литературных источников

1. Водный кодекс Республики Беларусь от 30 апреля 2014 г. № 149-З.
2. СТБ 17.1.3.06–2006 Охрана природы. Гидросфера. Охрана подземных вод от загрязнения. Общие требования.
3. Положение о Национальной системе мониторинга окружающей среды в Республике Беларусь : утверждено постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 14 июля 2003 г. № 949.
4. Положение о порядке проведения в составе Национальной системы мониторинга окружающей среды в Республике Беларусь локального мониторинга окружающей среды и использования его данных : утверждено постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 28 апреля 2004 г. № 482.
5. Инструкция о порядке проведения локального мониторинга окружающей среды, утвержденная постановлением Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь от 1 февраля 2007 г. № 9 : в редакции постановления Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь от 30 декабря 2020 г. № 29.
6. Постановление Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь от 11 января 2017 г. № 5 «О локальном мониторинге окружающей среды».
7. ЭкоНиП 17.01.06-001-2017 Охрана окружающей среды и природопользование. Требования экологической безопасности : утверждено постановлением Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь от 18 июля 2017 г. № 5-Т.

#### **Мониторинг поверхностных и подземных вод в районе отработки II очереди месторождения «Хотиславское», современное состояние и перспективы обеспечения экологической безопасности**

Музыкин В.П., Шпакова Д.А., Рыжова В.К., Микулич Е.А.

*Республиканское унитарное предприятие «Центральный научно-исследовательский институт комплексного использования водных ресурсов», г. Минск, Республика Беларусь, [ogi@cricuwr.by](mailto:ogi@cricuwr.by)*

**Резюме.** Расположение месторождения у государственной границы Республики Беларусь с Украиной определило необходимость учета возможного трансграничного воздействия открытой разработки месторождения на окружающую среду. Проанализированы изменения режимов, а также характер воздействия на режим поверхностных и подземных вод в районе отработки месторождения «Хотиславское».

#### **Monitoring of surface and underground waters in the area of development of the second stage of the Khotislavskoye field, the current state and prospects for ensuring environmental safety**

Muzykin V., Shpakova D., Ryzhova V., Mikulich A.

**Summary.** The location of the deposit near the state border of the Republic of Belarus with Ukraine determined the need to take into account the possible transboundary impact of open-cast mining on the environment. Changes in regimes, as well as the nature of the impact on the regime of surface and groundwater in the area of development of the Khotislavskoye deposit, are analyzed.

Месторождение мела и строительных песков «Хотиславское» находится в Малоритском районе Брестской области.

Мониторинг поверхностных и подземных вод в районе II очереди месторождения «Хотиславское» осуществляется в соответствии с Программой проведения мониторинга поверхностных и подземных вод в зоне возможного влияния отработки II очереди

месторождения «Хотиславское» (далее по тексту Программа [1]). Программа разработана с учетом рекомендаций отчета об ОВОС [2], а также последующих решений и согласований двухсторонних украинско-белорусских консультаций в рамках Конвенции Эспо. Границы зоны возможного влияния отработки II очереди месторождения «Хотиславское» определены при проведении ОВОС [2].

Для проведения мониторинга поверхностных и подземных вод в районе II очереди месторождения «Хотиславское» создана сеть пунктов наблюдений, с использованием которой мониторинг осуществляется, начиная с сентября 2010 г. Сеть пунктов наблюдений мониторинга подземных вод в пределах прилегающей к месторождению белорусского участка зоны возможного воздействия состоит из двух частей: региональной и локальной сетей пунктов наблюдений. Локальная сеть пунктов наблюдений размещена на участке между карьером II очереди отработки месторождения и государственной границей Беларуси и Украины, и предназначена для наблюдений за эффективностью применения водоохраных мероприятий по локализации возможного снижения уровней подземных вод на данном участке. Локализацию должна обеспечивать система компенсационных (инфильтрационных) каналов, сооруженных параллельно государственной границе, на удалении около 100 м от карьера. В настоящее время, на начальном этапе разработки карьера, в данной системе расположен один компенсационный (инфильтрационный) канал.

Региональная сеть пунктов наблюдений размещена по периферии от карьера, на удалении от 0,6 до 4,2 км, и предназначена для наблюдений за состоянием грунтовых вод, формируемых в пределах территории, еще не подверженной воздействию отработки II очереди месторождения «Хотиславское».

Мониторинг *поверхностных* вод на прилегающей к карьере белорусской территории заключается в проведении комплекса гидрометрических наблюдений в контрольных створах поверхностных водных объектов, в том числе:

– наблюдения за уровнем воды в р. Рита и компенсационном канале, сооруженном к югу от карьера для локализации возможного снижения уровня грунтовых вод (УГВ) на украинской территории; – отбор и химический анализ проб воды из р. Риты и отводящего канала от системы обогащения полезного ископаемого.

Гидрометрические наблюдения проводятся на водомерных постах (ВП): ВП № 1 – пост на компенсационном канале; ВП № 2 – пост на р. Рита (контрольный фоновый створ выше по течению реки от карьера), расположенный в створе открытого шлюза-регулятора мелиоративной системы «Вир» на пересечении автодороги д. Сушитница – д. Отчин; ВП № 3 – пост на р. Рита (контрольный створ ниже по течению), расположенный в створе открытого шлюза-регулятора мелиоративной системы «Сушитница» на пересечении р. Рита с автодорогой д. Хотислав – д. Сушитница. На водомерном посту ВП № 1 наблюдения проводятся с мая 2009 г., а на постах ВП № 2 и ВП № 3 – с сентября 2010 г.

Локальный мониторинг *подземных* вод на прилегающей к карьере белорусской территории зоны возможного воздействия заключается в проведении комплекса наблюдений за изменением режима УГВ, включающего:

– замеры изменения УГВ с использованием пунктов наблюдений локальной сети мониторинга 1 раз в 10 дней и 1 раз в месяц с использованием пунктов наблюдений региональной сети мониторинга (рис. 1); – ежегодный отбор и химический анализ проб подземных вод из пунктов наблюдений региональной и локальной сети мониторинга.



Рисунок 1 – Схема расположения пунктов наблюдений мониторинга подземных вод в пределах белорусской части зоны воздействия отработки II очереди месторождения «Хотиславское» по состоянию на 2022 г. ([www.google.by/maps](http://www.google.by/maps))

Используя данные мониторинга поверхностных и подземных вод, проводившегося в 2010–2022 гг. в пределах белорусской части зоны возможного воздействия отработки карьера II очереди месторождения «Хотиславское», и статистически обработанные их результаты, сделаны следующие выводы о состоянии подземных и поверхностных вод в районе карьера:

Поверхностные воды:

1. Водный режим р. Рита в 2010–2022 гг. в контрольных створах мониторинга поверхностных вод выше и ниже от карьера находился в зависимости от сезонных климатических явлений и мелиоративного шлюзового регулирования стока реки.

2. Режим наполнения компенсационного канала поддерживается за счет отвода дренажных карьерных вод, влияние сезонных климатических явлений на уровни воды в канале выражено в меньшей степени.

3. Данные мониторинга поверхностных вод в районе месторождения «Хотиславское» в 2022 г. соответствуют данным НСМОС о состоянии поверхностных вод в бассейнах рр. Мухавец и Рита. Характер формирования загрязнения поверхностных вод компенсационного (отводящего) канала и р. Рита в районе карьера – повышенное (с превышением ПДК) содержание БПК<sub>5</sub> (до 1,3 ПДК), ХПК<sub>ср</sub> (до 1,8 ПДК), аммоний-иона (до 2,8 ПДК), фосфат-иона (до 1,8 ПДК), общего железа (до 6,9 ПДК), марганца (до 7,5 ПДК), меди (до 1,1 ПДК) и цинка (до 1,8 ПДК) – соответствует общим тенденциям формирования качества речных вод в бассейнах рр. Мухавец и Рита, т.е. региональным особенностям. В 2022 г. пределы изменения показателей качества вод р. Рита в контрольном створе ниже карьера (ВП № 3), в основном, соответствовало их содержанию в фоновом створе, превышение нормативов качества воды допущено по сходному перечню показателей.

4) Река Рита в районе карьера является водоприемником стока мелиоративных систем «Вир», «Сушитница», «Гутянская», в связи с чем, источником загрязнения вод р. Рита в 2010-2022 гг. в контрольных створах является дренажный сток с данных мелиоративных систем. Учитывая наличие соответствия характера загрязнения воды в компенсационном (отводящем) канале региональным особенностям, формирование качества воды в р. Рита в 2022 г. следует считать не зависящим от воздействия отработки карьера.

### *Подземные воды:*

1. Локальный мониторинг подземных вод, проводимый в районе карьера, является также частью системы мониторинга подземных вод НСМОС Республики Беларусь. Изменения уровней грунтовых и напорных вод в 2010–2022 г. в районе карьера находились в зависимости от сезонных климатических явлений. Уровненные режимные изменения в пунктах наблюдений являются синхронными и соответствуют общим тенденциям формирования их режима в бассейнах рр. Мухавец и Рита по данным НСМОС.

2. Существенных различий в формировании качества грунтовых вод на участках расположения фоновых и контрольных пунктов наблюдений не наблюдается. Грунтовые воды в районе карьера характеризовались повышенным содержанием (с превышением гигиенических нормативов качества) только таких показателей, как общее железо (15,9–48 ПДК) и марганец (3,6–4,5 ПДК), а напорные воды только с превышением содержания общего железа (23,7–28,3 ПДК). Содержание других показателей качественного состава грунтовых и напорных вод соответствовало, либо оставалось близким к фоновому значению. Диапазоны изменения концентраций компонентов в скважинах близки по величине и остаются в рамках диапазонов регионального (контрольного) содержания по данным НСМОС. Источниками загрязнения подземных вод в районе карьера являются природные факторы: местное воздействие торфяных отложений, широко представленных на прилегающих к карьере мелиорированных землях.

3. Для оценки вероятности изменения режимов УГВ и напорных вод от воздействия карьера проведена также графоаналитическая интерпретация данных мониторинга. Для чего проведено построение графиков связи среднегодовых УГВ за 11-летний период наблюдений по методу оценки однородности хронологических колебаний уровней подземных вод. Интерпретация графиков показала на удовлетворительную сходимость и однородность данных мониторинга, что дает основания считать формирование режима и качества подземных вод в районе карьера в настоящее время преимущественно за счет природных факторов.

4. Основным фактором, формирующим годовой ход уровней подземных вод в районе карьера, являются атмосферные осадки. По состоянию на декабрь 2022 г. влияние карьерного водоотлива, осуществляемого при отработке карьера II очереди, на уровненный режим грунтовых и напорных вод прослеживается не далее компенсационного канала.

Данные мониторинга поверхностных и подземных вод, проводившегося в 2010–2022 гг. в пределах белорусской части зоны возможного воздействия отработки месторождения «Хотиславское», показали, что защитные водоохранные мероприятия на данном этапе отработки карьера являются достаточно эффективными.

### Список литературных источников

1. Программа проведения мониторинга поверхностных и подземных вод на территории Республики Беларусь в районе II очереди месторождения «Хотиславское». – Мн. : НПЦ по геологии, 2014.
2. Отчет об оценке воздействия на окружающую среду (ОВОС) проектного решения планируемой деятельности «Разработка меловой залежи месторождения «Хотиславское» (II очередь) в Малоритском районе Брестской области». – Мн. : ЦНИИКИВР, 2009.

## **СЕКЦИЯ 5**

**Водное богатство.**

**Инвентаризация водных объектов  
Республики Беларусь**

**Фауна водных беспозвоночных животных родниковых комплексов,  
рекомендованных для объявления гидрологическими памятниками природы в  
Гомельской области.**

Байчоров В.М., Мороз М.Д., Гигиняк Ю.Г., Куликова Е.А., Корзун Е.В.  
ГНПО «Научно-практический центр НАН Беларуси по биоресурсам», Минск,  
Республика Беларусь, *vbaitch@gmail.com*

**Резюме.** Исследована фауна водных беспозвоночных в 51 родниковом комплексе Гомельской области. В пяти родниках, рекомендованных для объявления гидрологическими памятниками природы, выявлено 49 видов, таксонов, относящихся к 3 типам беспозвоночных животных: Mollusca – 7; Annelida – 4 и Arthropoda – 37 видов и форм. До вида идентифицировано 32 таксономических элемента.

**Fauna of aquatic invertebrates of spring complexes recommended for declaration as  
hydrological monuments of nature in the Gomel region.**

Baitchorov V., Moroz M., Hihiniak Y., Kulikova E., Korzun E.

**Summary.** The fauna of aquatic invertebrates in 51 spring complexes of the Gomel region was studied. Five springs were recommended for declaration as hydrological natural monuments. Totally in this five springs were registered 49 species, taxa belonging to 3 types of invertebrates: Mollusca – 7; Annelida – 4 and Arthropoda – 37. Thirty-two taxonomic elements have been identified prior to species.

Важнейшим критерием, характеризующим живое качество воды в водных экосистемах, является наличие в них водных обитателей. Исследования и посвящены изучению фауны беспозвоночных в родниковых комплексах Гомельской области в рамках задания П.4.6. «Изучить биологическое и ландшафтное разнообразие уникальных родниковых экосистем Беларуси, определить гидрохимические характеристики, историко-культурное значение и разработать научные и технико-экономические обоснования объявления родников памятниками природы» (2018–2020 гг.). Всего фауна водных беспозвоночных изучена в 51 роднике. Сбор материалов проводили в мае – октябре 2019 г. на территории Гомельской области. Отбор проб проведен согласно Методики Европейского протокола AQEM и стандарта ISO 7828. Кроме того, на каменистых грунтах и в местах развития макрофитов производилась выемка камней и коряг с последующим осмотром и коллектированием выявленных животных. Отобранные пробы макрозообентоса фиксировали 96% спиртом.

Для объявления памятниками природы выбрано 5 уникальных родников:

1. «Родник Страдубка», Гомельская область, Лоевский район, дер. Страдубка (N52.12428 E30.68152).
2. «Родник Добричский», Гомельская область, Кормянский район, окрестности дер. Коротьки, дер. Островцы (N53.08788 E30.73467)
3. «Святая Криница Будище», Гомельская область, Чечерский район, дер. Будище (N52.99398 E31.31355).
4. «Родник Сидоровичи 1», Гомельская область, Чечерский район, дер. Сидоровичи (N53.03757 E31.15346).
5. «Родник Добрица», Гомельская область, Мозырский район, дер. Новики (N52.01340 E29.32540.)

Видовой состав зообентоса данных родников представлен в табл. 1.

Таблица – Видовой состав и распределение водных беспозвоночных в родниках Гомельской области, рекомендованных для объявления гидрологическими памятниками природы

Таксон	Номер родника				
	1	2	3	4	5
ТИП MOLLUSCA					
Кл. Gastropoda					
Отр. Ectobranchia					
Сем. Valvatidae					
<i>Valvata cristata</i> (O.F. Müller, 1774)					1
Отр. Pulmonata					
Сем. Lymnaeidae					
<i>Galba truncatula</i> (O. F. Müller, 1774)	3	2	2		1
<i>Stagnicola palustris</i> (O.F. Müller, 1774)	1				
Сем. Planorbidae					
<i>Planorbis planorbis</i> (Linnaeus, 1758)	1				
Кл. Bivalvia					
Отр. Veneroidea					
Сем. Sphaeriidae					
<i>Pisidium casertanum</i> (Poli, 1791)					6
<i>Pisidium personatum</i> Malm, 1855		86	6		
<i>Pisidium</i> sp.		3			
ТИП ANNELIDA					
Кл. Oligochaeta					
Отр. Haplotaxida					
Сем. Tubificidae					
<i>Oligochaeta</i> gen. spp.	3	3		27	2
Кл. Clitellata					
Отр. Rhynchobdellida					
Сем. Glossiphoniidae					
<i>Glossiphonia concolor</i> (Apathy, 1888)	2				
<i>Glossiphonia complanata</i> (Linnaeus, 1758)			2		
Отр. Arhynchobdellida					
Сем. Erpobdellidae					
<i>Erpobdella octoculata</i> (Linnaeus, 1758)					1
ТИП ARTROPODA					
Класс Crustacea					
Отр. Isopoda					
Сем. Asellidae					
<i>Asellus aquaticus</i> (Linnaeus, 1758)	48	2	12	11	9
Отр. Amphipoda					
Сем. Gammaridae					
<i>Synurella ambulans</i> (F. Müller, 1846)	498				
<i>Gammarus varsoviensis</i> Jazdzewski, 1975			6		
Кл. Arachnidae					
Отр. Trombidiformes					
<i>Hydracarina</i> gen. spp.	1		1		
Кл. Insecta					
Отр. Collembola					
Сем. Isotomidae					
<i>Isotoma viridis</i> Bourlet, 1839					2

	1	2	3	4	5
Отр. Plecoptera					
Сем. Nemouridae					
<i>Nemurella pictetii</i> (Klapálek, 1900)	2	28		42	7
<i>Nemoura cinerea</i> (Retzius, 1783)			317	11	
Отр. Ephemeroptera					
Сем. Siphonuridae					
<i>Siphonurus aestivalis</i> (Eaton, 1903)			9		
Сем. Baetidae					
<i>Baetis</i> sp.			1		
Отр. Trichoptera					
Сем. Polycentropodinae					
<i>Plectrocnemia conspersa</i> (Curtis, 1834)		7			4
Сем. Limnephilidae					
<i>Chaetopteryx</i> sp.		27	96	7	
<i>Halesus radiatus</i> (Curtis, 1834)					12
<i>Limnephilus politus</i> McLachlan, 1865	1				
<i>Limnephilus rhombicus</i> (Linnaeus, 1758)			2		
<i>Potamophylax rotundipennis</i> (Brauer, 1857)		3			
Сем. Beraeidae					
<i>Beraea pullata</i> Curtis, 1834		2			
Отр. Coleoptera					
Сем. Dytiscidae					
<i>Hydroporus angustatus</i> Sturm, 1835	1				
<i>Hydroporus palustris</i> (Linnaeus, 1761)	15				
<i>Hydroporus planus</i> (Fabricius, 1781)	7				
<i>Hydroporus umbrosus</i> (Gyllenhal, 1808)	1				
<i>Dytiscidae</i> sp.		1	1		
Сем. Hydrochidae					
<i>Hydrochus brevis</i> (Herbst, 1793)	2				
Сем. Hydrophilidae					
<i>Anacaena lutescens</i> (Stephens, 1829)		1	2		
<i>Hydrobius fuscipes</i> (Linnaeus, 1758)	1				
<i>Hydrophilidae</i> gen. spp.	2				
Сем. Hydraenidae					
<i>Ochthebius minimus</i> (Fabricius, 1792)	11				
<i>Hydraena palustris</i> Erichson, 1837	9				
<i>Hydraena riparia</i> Kugelann, 1794			1		
Сем. Scirtidae					
<i>Elodes</i> sp.		1	4		
Отр. Diptera					
<i>Ceratopogonidae</i> gen. spp.		5	2	2	231
<i>Chironomidae</i> gen. spp.	154	36	473	2	
<i>Limoniidae</i> gen. spp.		12			3
<i>Psychodidae</i> gen. spp.		4	1		5
<i>Tabanidae</i> gen. spp.	1		1	4	
<i>Simuliidae</i> gen. spp.			2		
<i>Dixidae</i> gen. spp.		2	5		
<i>Ptychopteridae</i> gen. sp.				1	
Число экземпляров	764	225	946	107	284
Число видов, таксонов	21	18	21	9	13



В пяти представленных на объявление памятниками природы родниках выявлено 49 видов, таксонов представителей макрозообентосного и плейстонного комплексов, относящихся к 3 типам беспозвоночных животных: Mollusca – 7; Annelida – 4 и Arthropoda – 37 видов и форм (см. табл.). До вида идентифицировано 32 таксономических элемента.

Оценивая выявленный видовой состав водных беспозвоночных родниковых комплексов, следует отметить, что он относительно богат и сходен с таковыми в холодных источниках в других областях Беларуси. В изученных родниках выявлено от 9 до 21 видов и форм. Ранее проведенные нами исследования родниковых комплексов показали, что непосредственно в отдельных родниках редко встречаются более 20 видов водных беспозвоночных животных [1].

Наибольшее количество выявленных видов и форм водных беспозвоночных животных – 21, отмечено в роднике «Родник Страдубка» (д. Страдубка, Лоевский р-н) и «Святая Криница Будище» (Чечерский район, д. Будище). В пробе родника «Святая Криница Будище» отмечена и наибольшая численность представителей макрозообентоса – 946 экземпляров.

Среди выявленных водных беспозвоночных животных следует отметить следующие виды – *Synurella ambulans* (сем. Gammaridae) является видом, включенным в Приложение к Красной книге Беларуси (2015) [2], как требующим дополнительного изучения и внимания в целях профилактической охраны (категория DD). Она выявлена в источнике «Родник Страдубка». *Synurella ambulans* (F. Müller, 1846), веснянка *Nemurella pictetii* (Klapálek, 1900) и моллюск *Pisidium personatum* Malm, 1855 отмеченные в некоторых из исследованных родников проявляют реофильные и оксифильные свойства, также являются представителями кренофильной фауны. В Беларуси эти виды обитают практически только в родниковых комплексах и по этой причине являются индикаторами этих экосистем.

#### Список литературных источников

1. Бентосные животные родниковых экосистем Национального парка «Браславские озера» / Мороз М. Д. [и др.] // Весці НАН Беларусі. Сер. біял. навук. – 2007. – № 1. – С. 100–106.
2. Красная книга Республики Беларусь. Животные / гл. ред. И. М. Кочановский. – Минск : Беларуская Энцыклапедыя імя П. Броўкі, 2015. – 320 с.

#### **База данных для инвентаризации водных объектов Беларуси (водохранилищ)**

Касперов Г.И.<sup>1</sup>, Левкевич В.Е.<sup>2</sup>, Бузук А.В.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Белорусский государственный технологический университет, г. Минск,  
Республика Беларусь

<sup>2</sup>Белорусский национальный технический университет, г. Минск, Республика Беларусь

<sup>3</sup>Министерство по чрезвычайным ситуациям, г. Минск, Республика Беларусь,  
uk007@rambler.ru

**Резюме.** В докладе указывается на необходимость учета сведений о водохранилищах Беларуси посредством баз данных. Приводятся сведения о разработанной для МЧС базе данных искусственных водных объектов.

#### **Database for inventory of water bodies of Belarus (reservoirs)**

Kasperov G., Levkevich V., Buzuk A.

**Summary.** The report points out the need to take into account information about the reservoirs of Belarus through databases. Information is provided on the database of artificial water bodies developed for the Ministry of Emergency Situations.

Базы данных служат для накопления, обобщения и выдачи необходимых данных ее пользователю. В зависимости от потребности организации или любого другого конечного пользователя базы могут создаваться в виде отдельного программного продукта или на основе доступных пакетов, с возможностью накопления и отображения необходимых данных. Водохранилища представляют собой объекты – потенциальные источники гидродинамических аварий. База данных необходима для повышения эффективности контроля (надзора) за их техническим состоянием, отслеживания любых изменений морфометрических параметров, автоматизации процесса отображения данных, направленных на реагирование в случае непредвиденной ситуации. Продукт должен иметь возможность вывода графической информации и методик (либо готовых расчетных параметров) для определения текущего технического состояния объекта, а также возможного ущерба в случае аварии. Интерфейс программы должен быть эргономичен и интуитивно понятен [1].

Оценка и постоянный контроль состояния водохранилищ, сооружений инженерной защиты и гидротехнических сооружений, сложный процесс. База данных упрощает его и позволяет принимать управленческие решения по защите населения и территорий от чрезвычайных ситуаций техногенного характера в случае аварии. Для контроля состояния существующих водохранилищ для каждой области страны разработана и внедрена в деятельность областных управлений МЧС Республики Беларусь база данных искусственных водных объектов.

База данных построена по многокомпонентной архитектуре:

- базовый компонент данных зашит в листы и хранит всю информацию о базе в информационных блоках;
- следующий компонент представлен блоками информации (папки с данными), которые являются вспомогательными элементами при отображении запрашиваемой информации;
- обеспечивается возможность корректировки (актуализации) текстовой информации при эксплуатации;
- существует возможность вывода полученной информации в текстовые редакторы, а также возможность вывода на бумажный носитель напрямую из программного продукта;
- ввод и вывод информации осуществляется пользователем путем вызова контекстного меню с выбором требуемого действия из перечня.

Кроме работы с базой данных оператору предоставляются дополнительные возможности по внесению дополнительной либо уточняющей информации в имеющиеся файлы.

На основании собранных и обобщенных материалов по водохранилищам разработана база данных искусственных водных объектов Республики Беларусь с учетом их современного состояния. Подготовлен комплект визуализированных материалов для отображения дополнительных данных по водохранилищам, отображающийся по запросу.

#### Список литературных источников

1. Состав и структура электронной базы гидротехнических сооружений на водохранилищах Республики Беларусь / В. Е. Левкевич [и др.] // Тез. 77-й науч.-технич. конф. профес.-препод. состава, науч. сотр. и асп-тов, Минск, 4–9 фев. 2013 г. / отв. за издание И. М. Жарский ; УО «БГТУ». – Минск : БГТУ, 2013. – С. 126–127.

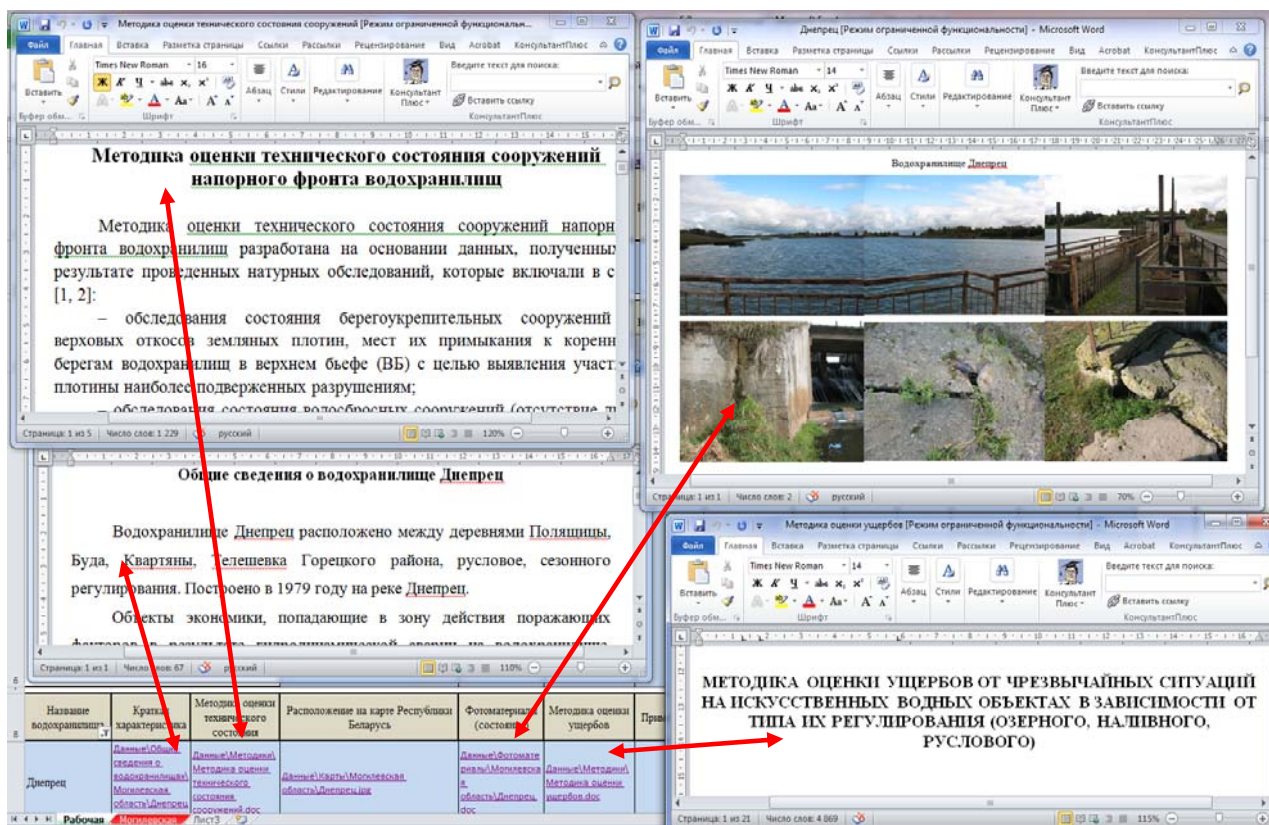


Рисунок – Общий вид экрана базы данных при открытии диалоговых окон

## Результат работы по инвентаризации поверхностных водных объектов в бассейне реки Неман за 2022 год

Водейко М.В., Цубленок Д.В., Громадская Е.И.

*Республиканское унитарное предприятие «Центральный научно-исследовательский институт комплексного использования водных ресурсов», г. Минск, Республика Беларусь, oprv@cricuwrb.by*

**Резюме.** Статья содержит информацию о бассейне реки Неман: краткую характеристику, количество водных объектов, проинвентаризированных в 2022 году сотрудниками РУП «ЦНИИКИВР».

## The result of the inventory of surface water bodies in the Neman River basin for 2022

Vodeiko M., Tsublenok D., Hromadskaya E.

**Summary.** The article contains information about the Neman River basin: a brief description, the number of water bodies (inventoried in 2022 by employees of RUE «CRICUWR»).

Объектами исследования инвентаризации в 2022 году выступали водотоки с площадью водосбора менее 30 кв. километров, водоемы с площадью поверхности воды менее 0,5 кв. километра, расположенные в бассейне реки Неман.

Задачей работы являлось получение данных о количестве поверхностных водных объектов (водотоков с площадью водосбора менее 30 кв. километров, водоемов с площадью поверхности воды менее 0,5 кв. километра) на территории Республики Беларусь в границах

бассейна реки Неман, их визуальное представление, описание актуальных гидрографических и гидрологических характеристик, а также их использования.

Бассейн реки Неман расположен на территории трех стран: Республики Беларусь, Литовской республики и Российской Федерации (Калининградской области).

Для бассейна характерна густая речная сеть. От истока до устья Неман принимает около 180 притоков. Основные притоки на территории страны: левобережные – р. Уша, р. Молчадь, р. Щара, р. Зельвянка, р. Россь, р. Свислочь; правобережные – р. Усса, р. Березина, р. Гавья, р. Дитва, р. Котра.

На территории речного бассейна находится много средних и мелких озер, они расположены весьма неравномерно. Наибольшее скопление озёр наблюдается на правобережье р. Вилия.

В период 2017–2020 гг. проведена инвентаризация водотоков с площадью водосбора от 30 кв. километров, водоемов с площадью поверхности воды от 0,5 км<sup>2</sup>, родников на территории Республики Беларусь, соответствующей бассейну реки Неман. Количество верифицированных объектов составило 2203 (958 водотоков, 849 водоемов, 396 родников) [1].

Водосборная территория реки Неман имеет характерную грушевидную форму, которая типична для бассейнов крупных рек. Бассейн реки Неман вытянут с северо-востока на юго-запад. Средняя высота водосбора 75 м над уровнем моря, средний уклон – 11,8 ‰. Средняя ширина водосбора – 180 км [2].

В административно-территориальном отношении в бассейн реки Неман частично или полностью входят 37 районов Гродненской, Минской, Брестской и Витебской областей Беларуси, включая 1 областной центр (г. Гродно) и 27 городов и городских посёлков районного подчинения:

Гродненская область практически полностью расположена в пределах бассейна: 16 из 17 административных районов входят в его состав целиком, Свислочьский район – на 48 %. Минская область в пределах бассейна представлена 13 административными районами, причём целиком в состав бассейна входят только 3 из них – Воложинский, Молодечненский и Столбцовский, остальные – только частично. Брестская область представлена на территории бассейна 4 районами, и только один из них – Барановичский – входит в состав бассейна полностью. Витебская область занимает незначительную часть бассейна реки Неман в пределах трёх, частично входящих в бассейн, административных районов.

Анализ литературных источников показал, что распределение озер по бассейнам рек неравномерно. Озерность бассейна реки Неман составляет 0,2–2,0 % от площади бассейна.

Мядельский район Минской области – имеет наибольшую озерность среди всей территории бассейна реки Неман.

В 2022 году результатами полевых экспедиционных исследований являлось обследование на местности 591 водотоков. Из них 101 идентифицированный водоток (21,6 % обследованных на местности водотоков) на момент обследования имели пересохшее русло и 135 отсутствовали на местности, 74 водотока (15,8 % обследованных водотоков) – классифицированы как «каналы», 281 водоток (60 % обследованных водотоков) классифицированы как естественные водотоки – «ручьи» или «реки».

Перечень поверхностных водных объектов, проинвентаризированных в 2022 году, в бассейне реки Неман содержит 3377 водных объектов (рис. 1), из них:

- 1523 водотока с площадью водосбора менее 30 кв. километров, из которых:
  - ✓ 1078 классифицированы как реки или ручьи (имеют признаки естественного происхождения),
  - ✓ 445 классифицированы как каналы (имеют признаки искусственного происхождения);
- 1854 водоема с площадью водной глади менее 0,5 км<sup>2</sup>, из которых:
  - ✓ 282 классифицированы как озера (имеют признаки естественного происхождения).



- 1572 классифицированы как пруды (имеют признаки искусственного происхождения), и 3 – комплекс прудов.



Рисунок 1 – Общее количество водных объектов, проинвентаризированных в 2022 году, в бассейне реки Неман (на веб-карте открытого интернет-источника Google Earth [3])

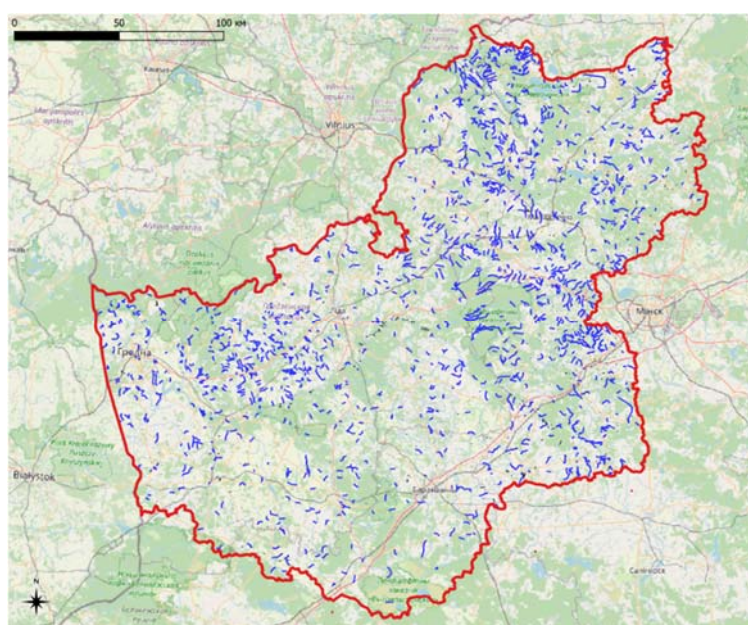


Рисунок 2 – Поверхностные водные объекты в бассейне реки Неман, проинвентаризированные в 2022 году, на веб-карте открытого интернет-источника OpenStreetMap [4]

Порядок инвентаризации поверхностных водных объектов и использования ее результатов утвержден постановлением Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь от 28.10.2022 № 53.

По результатам инвентаризации, проведенной в 2022 году, в бассейне реки Неман актуализированы сведения о 3 364 водных объектах: 1 523 водотока с площадью водосбора менее 30 кв. километров, 1 841 водоема с площадью водной глади менее 0,5 км<sup>2</sup>.

По итогам работы сведениями 2022 года дополнен «Реестр поверхностных водных объектов Республики Беларусь» информационной системы государственного водного кадастра.

Таким образом, Реестр содержит (на январь 2023 года) пространственные и атрибутивные (тематические) данные о 5567 поверхностных водных объектах в бассейне реки Неман: 2481 водоток, 2690 водоемов, 396 родников, что служит основой создания государственного водного фонда.

#### Список литературных источников

1. Информационная система Государственного водного кадастра Беларуси // Информационный ресурс. – Режим доступа: <http://178.172.161.32:8081>.
2. Разработка приоритетных компонентов международного плана управления речным бассейном реки Неман/Нямунас (основные результаты). Отчет РУП «ЦНИИКИВР» / рук. В. Н. Корнеев. – Минск, 2018.
3. Картографический проект Google Earth. Информационный ресурс.
4. Картографический веб-сервис Open Steet Maps [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.openstreetmap.org/#map=7/53.783/27.974>.

#### **Проблема оценки водных ресурсов в составе национального богатства страны**

Деревяго И.П.<sup>1</sup>, Минаковский А.Ф.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>БГУ, г. Минск, Республика Беларусь

<sup>2</sup>БГТУ, г. Минск, Республика Беларусь, [sashmin@mail.ru](mailto:sashmin@mail.ru)

**Резюме.** Используемые в настоящее время регуляторные оценки природного капитала не включают в себя стоимость водных ресурсов, что значительно осложняет выбор параметров для их экономической оценки. В работе рассмотрены показатели, характеризующие баланс спроса и предложения на водные ресурсы, включая покупательскую способность среднемесячного дохода домохозяйств относительно объема услуг водоснабжения и водоотведения.

#### **The problem of assessing water resources as part of the national wealth**

Dereviago I., Minakouski A.

**Summary.** Currently used regulatory assessments of natural capital do not include the cost of water resources, which greatly complicates the choice of parameters for their economic assessment. The paper considers indicators that characterize the balance of supply and demand for water resources including the purchasing power of the average monthly income of households in relation to the volume of water supply and sanitation services.

Роль водных ресурсов в жизни человека сложно переоценить. Без воды невозможно существование живых организмов. Однако ее место в современной экономике не ограничивается удовлетворением базовых потребностей. Водные ресурсы используются для самых разнообразных целей, и в той или иной степени деятельность водохозяйственного комплекса (ВХК) затрагивает практически любую сферу экономики.

В то же время, несмотря на свое системообразующее значение, вода не находит адекватной оценки в современной экономике. В статистике, главным образом, отражаются

только натуральные характеристики водных объектов и ресурсов [1]. Существующие подходы к определению стоимости природных ресурсов в большинстве случаев игнорируют водные ресурсы, либо охватывают их частично. В частности, регулярные оценки природного капитала в разрезе отдельных государств, которые проводятся Всемирным банком, не включают в себя стоимость водных ресурсов [2].

Исследования, проведенные для Республики Беларусь, показали, что стоимость водных ресурсов может составлять более 25% от величины экологического капитала [3]. Однако укрупненные оценки не отражают особенности использования и воспроизводства водных ресурсов в различных сферах, что ограничивает возможность их применения в системе управления водными ресурсами. При оценке последних важно учитывать следующие факторы:

1) для каких целей используются природные ресурсы (питьевая вода, промышленное потребление, рекреация, водный транспорт, гидроэнергетика и пр.);

2) какие воспроизводственные характеристики являются ключевыми для экономической оценки природных ресурсов. Это может быть общий запас воды (размер водного объекта – для водного транспорта, рыбного хозяйства, уровень грунтовых вод имеет важное значение для экологического баланса и состояния наземных экосистем в целом), динамические характеристики (скорость возобновления подземных водных горизонтов, уровень речного стока, скорость очищения водных объектов от загрязнения и пр.), качественные характеристики (важны в первую очередь для питьевого водоснабжения);

3) баланс спроса и предложения водных ресурсов.

Последний параметр особенно важен в контексте экономической оценки. Спрос и предложение играют ключевую роль в определении стоимости. Именно благодаря избыточному предложению водных ресурсов по отношению к спросу они имеют заниженную или нулевую стоимость в экономике, несмотря на свое первостепенное значение для человека. По мере усиления антропогенного воздействия и изменения климата наблюдается ухудшение спроса при одновременном снижении предложения. При этом их баланс целесообразно рассматривать не в целом, а в разрезе конкретных видов водопользования. Например, общее предложение воды в стране может не уменьшаться, однако предложение качественной воды для целей питьевого водоснабжения, как правило, сокращается с увеличением загрязнения водных объектов. Кроме того, учитывая многоцелевой характер водопользования, использования ресурсов для различных целей может приводить к конкуренции, когда увеличение предложения воды в одной сфере становится фактором его снижения предложения в другой [4].

На баланс спроса и предложения оказывают влияние природно-климатические условия, уровень антропогенной нагрузки включая плотность населения, масштабы и структура промышленного производства, а также эффективность использования водных ресурсов в экономике. На рисунке 1 представлен сравнительный анализ отдельных стран по показателю «водоотдачи» ВВП (долларов США на 1 м<sup>3</sup> потребленной воды). В данном контексте водоотдача может рассматриваться как относительно интегральная характеристика баланса спроса и предложения на водные ресурсы, хотя она учитывает далеко не все направления использования водных ресурсов и объектов.

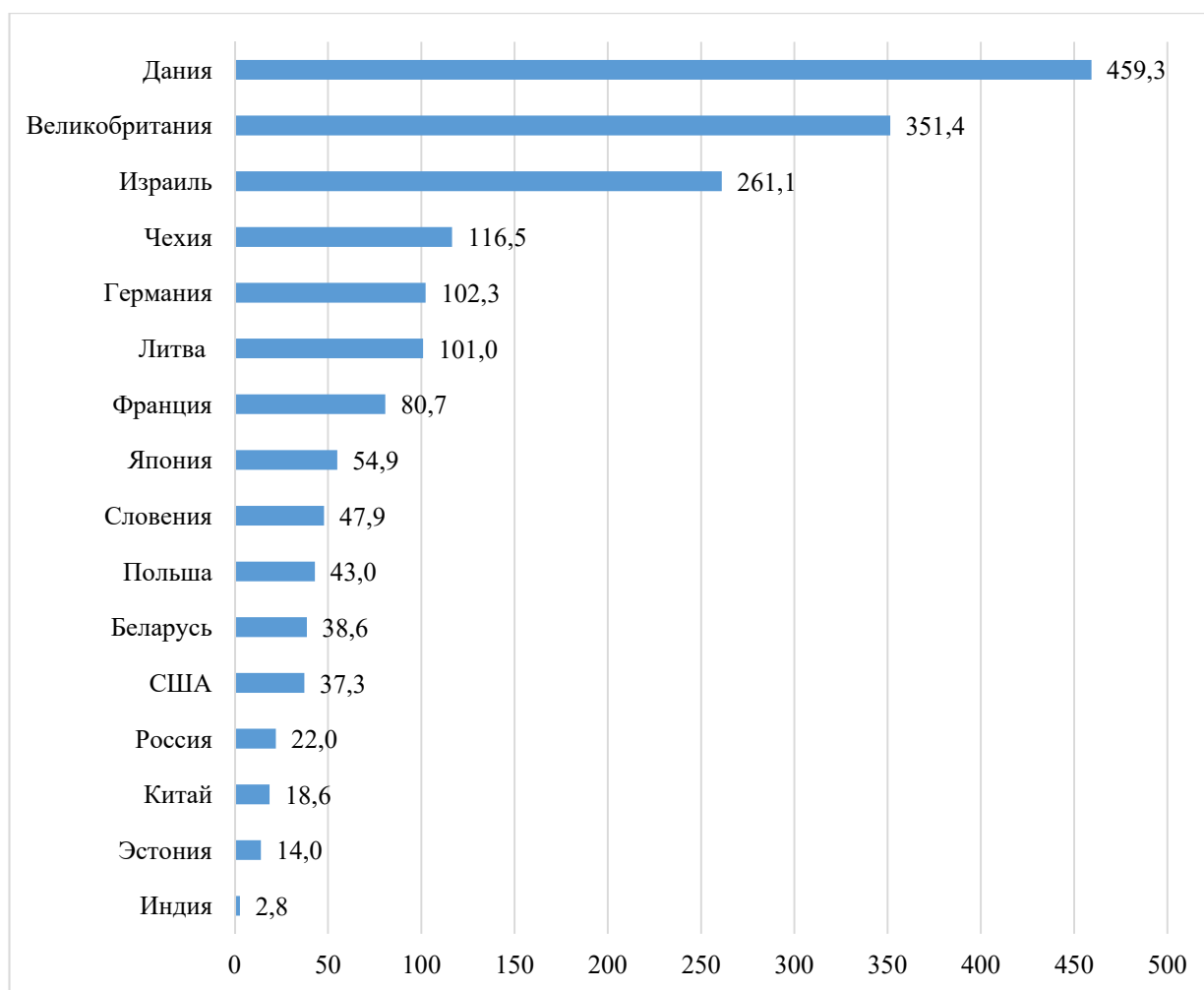


Рисунок 1 – ВВП, долларов США на 1 м<sup>3</sup> потребленной воды, 2015 г. [4]

Очевидно, что потребление воды в расчете на единицу ВВП будет больше в засушливых странах с недостатком атмосферным осадков, а также в странах с развитым поливным сельским хозяйством. Также определенную роль играет наличие водоемкой промышленности. Из диаграммы видно, что наряду с Данией и Великобританией к лидерам в эффективном водопользовании относится Израиль. Учитывая географическое расположение страны и вододефицитность региона, израильский опыт может оказаться ценным источником информации при решении задачи повышения эффективности использования водных ресурсов. Что касается Республики Беларусь, то водоэффективность экономики страны примерно соответствует уровню соседей со сходными климатическими условиями – чуть ниже, чем в Польше, но немного выше, чем в России, хотя более чем в два раза ниже, чем в Литве.

Стоит отметить, что важную роль в формировании спроса играет уровень доходов в той или иной стране. Чем выше доход, тем при прочих равных условиях больше готовность платить за воду и различные виды водопользования, а соответственно, выше оценка водных ресурсов. Сравнительный анализ в сфере водоснабжения показал, что уровень доходов существенно влияет на стоимость водопользования. На рисунке 2 представлена характеристика покупательной способности среднемесячной заработной платы в терминах объема услуг водоснабжения и водоотведения, которые можно на нее приобрести, в разрезе отдельных европейских стран и Республики Беларусь. В основу анализа положен показатель объема воды в м<sup>3</sup>, который может быть использован и оплачен домохозяйством исходя из существующих в стране тарифов и среднемесячной заработной платы.



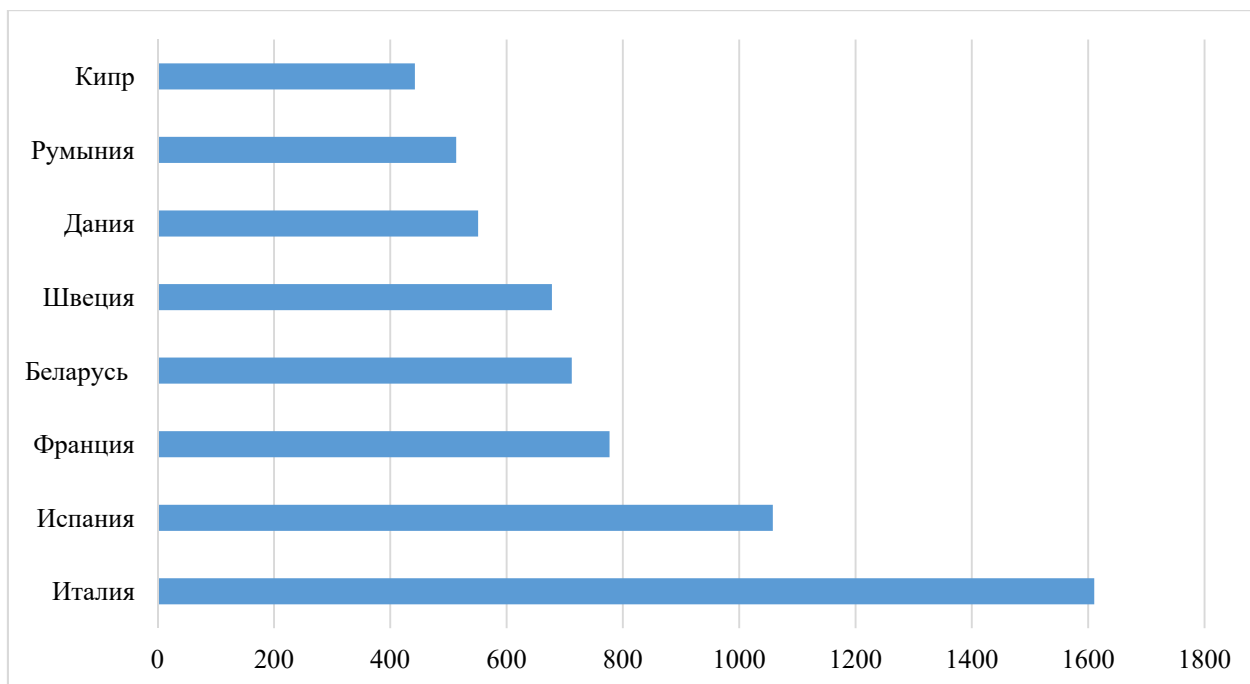


Рисунок 2 – Объем воды в м<sup>3</sup>, который может быть оплачен на среднемесячную заработную плату, в Республике Беларусь и некоторых странах ЕС [4]

Как можно увидеть из рис. 2, несмотря на то что тарифы на водоснабжение и водоотведение в Беларуси значительно ниже чем в любой европейской стране (а разница с Данией – более чем в 10 раз), по причине сравнительно низких доходов населения относительная цена водопроводной воды в Беларуси (в терминах среднемесячной заработной платы) соответствует среднеевропейскому уровню. С этой точки зрения оценка водных ресурсов в составе национального богатства должна отражать спрос, обусловленный экономическими реалиями в той или иной стране.

Водоотдача и другие показатели играют важную роль при оценке баланса спроса и предложения в сфере водопользования. Однако, учитывая его многоцелевой характер, стоимость водных ресурсов в составе национального богатства на основе единого критерия требует наличия адекватной системы цен, которая будет охватывать все виды водопользования. Учитывая их отсутствие на сегодняшний день, оценка водных ресурсов должна характеризоваться системой экологических и экономических параметров, которые отражают баланс спроса и предложения для ключевых видов водопользования. Первоначальной основой для такой оценочной системы могут стать цели устойчивого развития, определенные Повесткой в области устойчивого развития на период до 2030 года, которая включает в себя список из 17 Целей устойчивого развития (ЦУР).

Разработка Стратегии устойчивого развития Республики Беларусь на период до 2035 года предполагает сопряжение национальных целей с ЦУР, в достижении которых устойчивое водопользование играет одну из ключевых ролей [5]. В частности, цель 6 из списка ЦУР предполагает обеспечение наличия и рационального использования водных ресурсов и санитарии для всего населения. Также водные ресурсы могут выступать важным фактором достижения других ЦУР, включая обеспечение продовольственной безопасности, обеспечение доступа к надежным, устойчивым и современным источникам энергии, переход к рациональным моделям потребления и производства, защита и восстановление экосистем, сохранение биологического разнообразия.

#### Список литературных источников

1. Охрана окружающей среды в Республике Беларусь : статистический сборник / Национальный статистический комитет Республики Беларусь ; под общ. ред. И. В. Медведевой. – Минск, 2021. – 203 с.
2. The Changing Wealth of Nations 2018 : Building a Sustainable Future [Electronic resource] // World bank group. – Mode of access: <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/29001>. – Date of access: 22.03.2021.
3. Дервяго, И. П. Экологический капитал и экономическая система его воспроизводства / И. П. Дервяго. – Саарбрюкен : Lap Lambert, 2013. – 324 с.
4. Дервяго, И. П. Экономические инструменты управления водными ресурсами и объектами, и водохозяйственными системами в Республике Беларусь: тематические материалы проекта «Водная инициатива ЕС плюс для Восточного партнерства» / И. П. Дервяго, С. А. Дубенок. – Минск : БГТУ, 2020. – 320 с.
5. Национальная стратегия устойчивого развития Республики Беларусь до 2035 года [Электронный ресурс] / Министерство экономики Республики Беларусь. – Режим доступа: <https://economy.gov.by/uploads/files/ObsugdaemNPA/NSUR-2035-1.pdf>. – Дата доступа: 01.11.2022.

**СЕКЦИЯ 6**  
**Молодежь в науке**

## Геоэкологическое состояние родников Чечерского района

Ефимович М.А.

*Гомельский государственный университет им. Ф. Скорины, г. Гомель,  
Республика Беларусь, efimowitch.m@yandex.by*

**Резюме.** Статья посвящена изучению влияния антропогенных факторов на состояние родников Чечерского района. Приведена характеристика качества воды родников района в зависимости от их гидрохимического состава. Выполнено комплексное районирование территории по защитным свойствам литологической основы грунтовых вод. Оценена степень воздействия антропогенных факторов на родники и химический состав воды в зависимости от сезонов года.

## Geocological state of springs of Chechersky district

Efimovich M.

**Summary.** The article is devoted to the study of the influence of anthropogenic factors on the state of the springs of the Chechersky district. The characteristics of the water quality of the springs of the region depending on their hydrochemical composition are given. Integrated zoning of the territory was carried out according to the protective properties of the lithological base of groundwater. The degree of impact of anthropogenic factors on springs and the chemical composition of water depending on the seasons of the year was assessed.

Родники, называемые повсеместно так же криницами, источниками или ключами являются уникальными природными объектами, где подземные воды имеют естественный выход на поверхность земли или же под водой. Такие источники можно разделить на восходящие и нисходящие; сезонные и действующие постоянно.

Для территории Чечерского района характерны родники восходящего типа, они образуются при проникновении в поверхностные слои грунта напорных вод из нижележащих пластов в результате размыва покрывающих их водонепроницаемых пород и характеризуются восходящим излиянием воды под напором. В основном такие родники приурочены к равнинным территориям, где абсолютные отметки поверхности составляют 140–170 м, с относительными превышениями 4–8 м. Большинство родников района расположено в долинах рек Сож, Чечера, Мутнянка, Покоть, а также в оврагах и ложбинах стока.

Основными видами загрязнения поверхностных и подземных вод в районе служат животноводческие комплексы, автомобильный транспорт, ведение пастбищного животноводства и несанкционированные свалки. Преобладающая часть загрязняющих веществ приходится на: органические вещества, взвешенные вещества, соли аммония, фосфаты, хлориды.

Основными подстилающими породами служат пески и твердые суглинки. Большинство родников могут быть отнесены к группе нейтральных либо слабощелочных. Те родники, которые находятся в болотистой местности, являются креокренами, имеют застойный тип водного режима, у них наблюдается пониженное значение водородного показателя (табл. 1).

Природными источниками закисления воды могут быть избыточное накопление диоксида углерода при активном разложении органических веществ, поступление стоков болотных вод, содержащих много органических кислот, а также разложение железистых вод. рН болотных и железистых вод менее 4,0. Низкие значения рН наблюдаются весной в период таяния снега.

Большое значение изучение условий загрязнения родниковых вод приобретает в Чечерском районе, где благодаря наличию двух различных типов отложений широко распространены естественные выходы подземных вод на поверхность.

Питание большинства родников происходит за счет вод, приуроченных к верхнему мощному покрову рыхлых четвертичных (QI-IV) отложений, наиболее подверженных техногенному воздействию и загрязнению, что сказывается на их состоянии. В первую очередь оценивается наличие на поверхности водосбора опасных объектов – источников загрязнения родниковых вод, в частности промпредприятий, сельскохозяйственных объектов.

Таблица 1 – Физико-химические показатели родников Чечерского района

Родник	pH	Жесткость	NO <sub>3</sub>	NO <sub>2</sub> мг/л	CL <sub>2</sub> мг/л	Fe мг/л	t°
Замковый	8,3	5,0	60	0	1	0	9,1
На Маркса	8,0	5,0	0	0	2	0	11,0
Вознесенский	7,5	7,0	0	0	0	0	10,0
Бердыж	6,5	6,0	38	0	8	0	8,9
Шоховский	6,5	3,0	0	0	0	0	9,3
Залесье 1	7,0	10,0	45	0	3	0	9,4
Залесье 2	7,5	7,0	50	0	1	0	9,3
Святая криницы	7,5	7,0	30	0	0	0	10,0
Мотневичи 1	7,0	5,5	20	0	0	0	9,9
Мотневичи 2	7,0	7,4	40	0	0	0	10,4
Святая криница 2	7,0	5,3	19	0	0	0	12,0
Степанова	8,0	5,6	20	10	0	0	11,2
Лекарка	7,7	7,0	15	0	1	0	11,0
Сергеева 1	8,0	7,0	38	0	0	0	12,0
Сергеева 2	7,0	6,0	25	4	0	0	9,0
Молодых	8,5	6,5	20	0	0	0	10,3
Гибусовых	6,5	5,0	0	0	0	0	9,1
Сивая криница	8,5	8,0	48	0	0,5	0	8,3
У стадиона	6,0	7,0	10	0	0	0	9,7
Полесье 4	8,0	5,9	0	10	1	0	9,0
Полесье 3	7,8	6,0	20	0	0	0	11,0
Полесье 2	7,0	6,5	25	0	0	0	10,2
Полесье 5	7,0	7,0	0	0	0	0	8,9
Святая криница 3	6,5	6,0	5	0	0	0	11,0

Геологическое строение участков формирования родниковых вод имеет ключевое значение при оценке их защищенности от поверхностного загрязнения. Под

защищенностью грунтовых вод от загрязнения понимается перекрытие водоносного горизонта слабопроницаемыми отложениями, препятствующими проникновению загрязняющих веществ с поверхности земли в подземные воды. При этом вещество считается загрязняющим, если его концентрация превышает фоновую. В роли защитной зоны выступают почвы и зона аэрации.

Для определения степени защищенности родниковых вод от загрязнений Чечерского района нужны следующие сведения о защитной зоне и грунтовых водах: рельеф местности; характер гидрографической сети; величина атмосферных осадков; литологическое строение защитной зоны; фильтрационные свойства пород, слагающих защитную зону; глубина залегания грунтовых вод.

В результате исследования было проведено районирование территории по типам литологического строения участков расположения родников. На схеме были выделены типовые участки, характеризующиеся определенным строением защитной зоны.

По типу литологического строения и глубине залегания грунтовых вод, район относится к следующим категориям защитного потенциала защитной зоны: высокой, слабой, чрезвычайно слабой.

Чечерский район в основном перекрывают два вида почв, это сильно оподзоленные почвы на лессовидных суглинках, подстилаемых моренным суглинком или песком на западе района и слабо оподзоленные почвы на древнеаллювиальных песках с близким залеганием грунтовых вод (мокрые пески) (рис. 1).

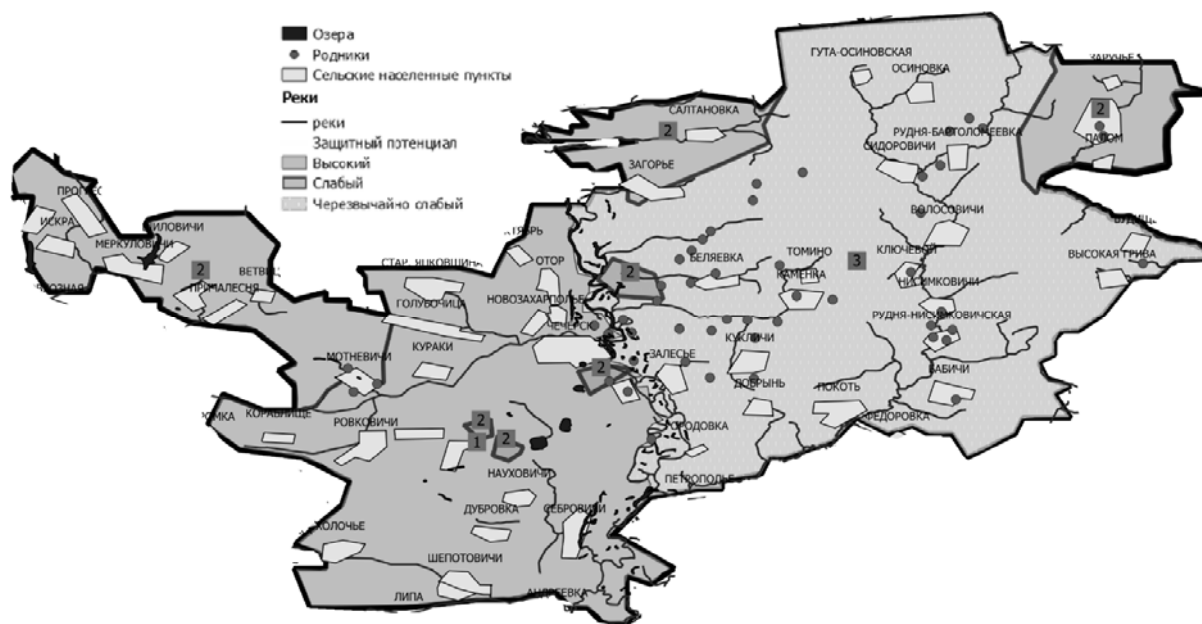


Рисунок 1 – Схема районирования Чечерского района по литологическому строению защитной зоны

Большинство родников характеризуются умеренным техногенным воздействием на поверхность водосбора. Наиболее опасные объекты расположены в самом городе и в пределах животноводческих ферм, которые могут являться потенциальными источниками загрязнения при просачивании химических элементов (поступление азота в форме нитрат-иона и бактериологическое загрязнение) из смежных водоносных горизонтов через гидрогеологические окна.

При составлении карты учитывалось, что слабопроницаемые породы (суглинки, глины) обуславливают наличие защитных свойств, проницаемые (пески, супеси) – их отсутствие. Из этого следует, что большая часть родников находится на древнеаллювиальных песках с близким залеганием грунтовых вод с низким защитным потенциалом.

В ходе исследований проведен корреляционный анализ данных по родникам. Установлена значимая парная линейная зависимость между рядом гидрохимических и геохимических условий с отдельными компонентами родниковых вод (таблица 2).

Таблица 2 – Значения парных коэффициентов корреляции между признаками и уровни их значимости

Признаки	Коэффициент корреляции
Нитраты, внесение удобрений	0,75
Нитриты, внесение удобрений, дебит	1
Цветность воды от взвесей	-0,08
Цветность от органических веществ в летний период	0,2

Таким образом, при оценке химического состава родниковых вод было установлено наличие динамики изменения характеристик, по сезонам года по хозяйственно деятельности и природного компонента.

Изучение режима источников (оценка изменений во времени их дебита, состава и температуры) позволяет установить природу источников, условия их питания, а также возможность использования родниковых вод в хозяйственно-питьевых целях.

В настоящее время в районе 34,9 тыс. га сельскохозяйственных земель, на которых ведется сельскохозяйственное производство 7 животноводческих комплексов: ОАО «Отор», ОАО «МотневичиАгро», ОАО «Вознесенск», ОАО «Звезда», ОАО «Полесье», ОАО «Ботвиново», КСУП «РовковичиАгро».

В ходе предварительных исследований родников Чечерского района был зафиксирован рост загрязняющих веществ в населенных пунктах (Чечерск, Отор, Беляевка, Залесье, Мотневичи, Полесье, Ровквичи). Основными источниками загрязнения служат: хозяйственно-бытовые отходы, городские сточные воды, сточные воды животноводческих комплексов, поверхностно-ливневые стоки (характерно для участков расположения большинства родников (рис. 2).

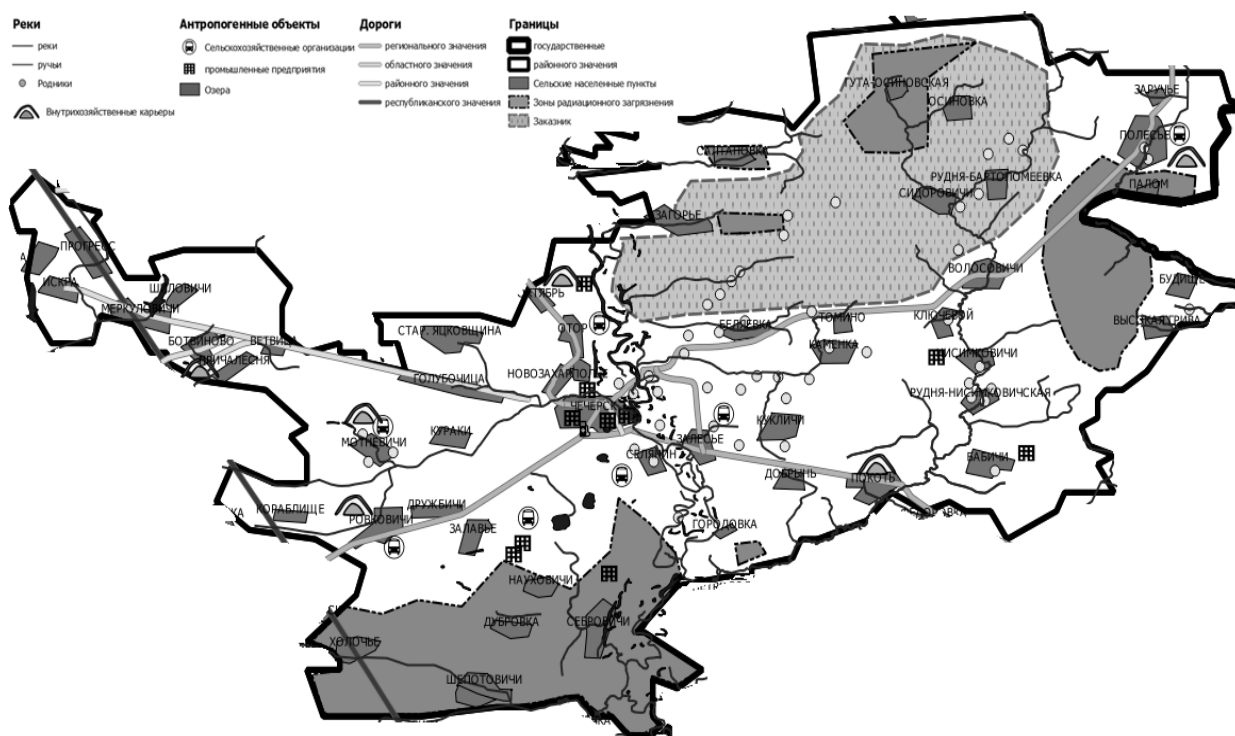


Рисунок 2 – Размещение антропогенных объектов по Чечерскому району

**Вывод.** Чечерский район находится в относительно благоприятной экологической обстановке, с минимальным количеством промышленных объектов, а те, которые имеются, в основном специализируются на лесной деятельности и сельском хозяйстве. Основную угрозу для родников представляют животноводческие комплексы и несанкционированные свалки бытовых отходов.

#### Список литературных источников

1. Капустин, В. В. Качество жизни: чистая вода из родника – полезный продукт / В. В. Капустин. – Минск : Энциклопедикс, 2019. – 98 с.
2. Краткая гидрологическая характеристика родников [Электронный ресурс] // Электронные графические данные. – Режим доступа: <http://samzan.ru/69882>. – Дата доступа: 20.02.2023.
3. Гидрогеохимическая характеристика водного объекта [Электронный ресурс] // Электронные графические данные. – Режим доступа: [https://studopedia.ru/22\\_79923\\_gidrohichimicheskaya-harakteristika-vodnogo-ob-ekta.html](https://studopedia.ru/22_79923_gidrohichimicheskaya-harakteristika-vodnogo-ob-ekta.html). – Дата доступа: 20.02.2023.

### **Способ переработки недопала извести в синтетический ангидрит сульфата кальция**

Комаров М.А.

*Белорусский государственный технологический университет, г. Минск, Республика Беларусь, [takkom1995@gmail.com](mailto:takkom1995@gmail.com)*

**Резюме.** Перспективным способом утилизации недопала извести, образующегося в процессе промышленной водоподготовки, является переработка его в системе  $\text{CaCO}_3 - \text{H}_2\text{SO}_4 - \text{H}_2\text{O}$  на синтетический ангидрит сульфата кальция. Оптимальные технологические параметры процесса позволяют получать ангидрит со степенью чистоты не менее 97,5 мас. % и средним размером частиц в 20 мкм и призматической формой кристаллов.

### **Method for the processing of lime mud into synthetic anhydrite of calcium sulfate**

Komarov M.

**Summary.** A promising way of utilizing the lack of lime formed in the process of industrial water treatment is its processing in the  $\text{CaCO}_3 - \text{H}_2\text{SO}_4 - \text{H}_2\text{O}$  system into synthetic calcium sulfate anhydrite. The optimal technological parameters of the process make it possible to obtain anhydrite with a purity of at least 97.5 wt. % and an average particle size of 20  $\mu\text{m}$  and a prismatic crystal shape.

Для питьевого водоснабжения вода может забираться из подземных или поверхностных источников. В качестве подземных источников чаще всего рассматриваются водоносные горизонты. Воды в них характеризуются преимущественно повышенным содержанием железа, марганца, мышьяка в зависимости от состава пород, в которых они расположены [1]. Поверхностные воды являются наиболее загрязненными. Очистка от них в большинстве случаев осуществляется коагуляцией [2, 3], при которой образуется два отхода: осадок коагуляции и недопал извести.

Для коагуляции природных вод используются железо и алюминий содержащие коагулянты. Для повышения эффективности коагуляции и связывания углекислого газа дополнительно вводят известь. При хранении извести происходит ее «старение» – часть ее гидратируется под воздействием атмосферной влаги, а также происходит поглощение углекислого газа с образованием карбоната кальция. Вследствие этого при приготовлении растворов для коагуляции образуется нерастворимый осадок – недопал извести [4]. Для данного отхода наиболее распространенным методом использования, предлагаемым в литературе, является термическая регенерация [5] с получением негашеной извести ( $\text{CaO}$ ).



Ранее на кафедре химической технологии вяжущих материалов БГТУ были проведены исследования по получению синтетического дигидрата [6, 7] и ангидрита сульфата кальция [8, 9] сернокислотным воздействием на карбонат содержащие материалы. Результаты проведенных исследований показали, что недопал извести является перспективным сырьевым материалом для получения синтетического ангидрита в системе  $\text{CaCO}_3 - \text{H}_2\text{SO}_4 - \text{H}_2\text{O}$  [10] за счет своего химического состава:  $\text{Ca}(\text{OH})_2 - 22,2$  мас. %;  $\text{CaCO}_3 - 61,1$  мас. %;  $\text{CaO} - 13$  мас. %; влажность 3,7 мас. %.

Синтез ангидрита сульфата кальция включает следующие этапы:

- прием исходного сырья;
- приготовление суспензии недопала извести;
- разложение недопала извести серной кислотой;
- старение полученной суспензии ангидрита сульфата кальция;
- выделение ангидрита сульфата кальция путем центрифугирования;
- отправление фильтрата в емкость-накопитель для дальнейшего использования:

повторно в технологическом цикле, в сельском хозяйстве в качестве почвоулучшающих добавок [11] либо для повторного использования в технологическом цикле с предварительной подготовкой [12].

Установленные оптимальные технологические параметры, значения которых приведены в таблице, позволяют получать ангидрит сульфата кальция со средними размерами частиц (сростки кристаллов) в 20 мкм и призматической формой кристаллов (рис. 1 а). Данный показатель оказывает максимальное влияние на прочностные характеристики получаемого ангидритового цемента на основе синтетического ангидрита сульфата кальция.

Таблица – Оптимальные технологические параметры получения синтетического ангидрита сульфата кальция

Технологический параметр	Значение
Массовое отношение «Твердое: Жидкое» при приготовлении суспензии	1:6
Расход кислоты, л/л суспензии	0,65
Скорость вращения мешалки, об/мин	300
Температура суспензии недопала извести, °С	25
Количество флокулянта, мас. % от массы недопала извести	0,4
Продолжительность стадии сгущения, мин	120
Продолжительность стадии старения, мин	30

Оптимальные технологические параметры позволяют получать синтетический ангидрит со степенью чистоты не менее 97,5 мас. % (рис. 1 б) по основному веществу ( $\text{CaSO}_4$ ), из-за чего можно отнести синтетический ангидрит сульфата кальция к гипсовому сырью I сорта.

Синтез из недопала извести в системе  $\text{CaCO}_3 - \text{H}_2\text{SO}_4 - \text{H}_2\text{O}$  ведется при температуре 25 °С, в то время как традиционная технология получения ангидрита проводится обжигом природного гипсового камня при температуре 800–1000 °С (РФА и микрофотография представлены на рисунке 1 в и 1 г).

Как видно из микрофотографии, представленной на рис. 1 а, что средние размеры образующихся частиц превышают размеры термического ангидрита. Этот показатель является ключевым для получения ангидритового цемента с более высокими прочностными показателями чем у ангидритового цемента, полученного термическим способом.

Таким образом недопал извести является перспективным сырьем для получения ангидрита сульфата кальция с высокой степенью чистоты и значительно меньшими энергетическими затратами на его производство в сравнении с традиционными термическими технологиями.

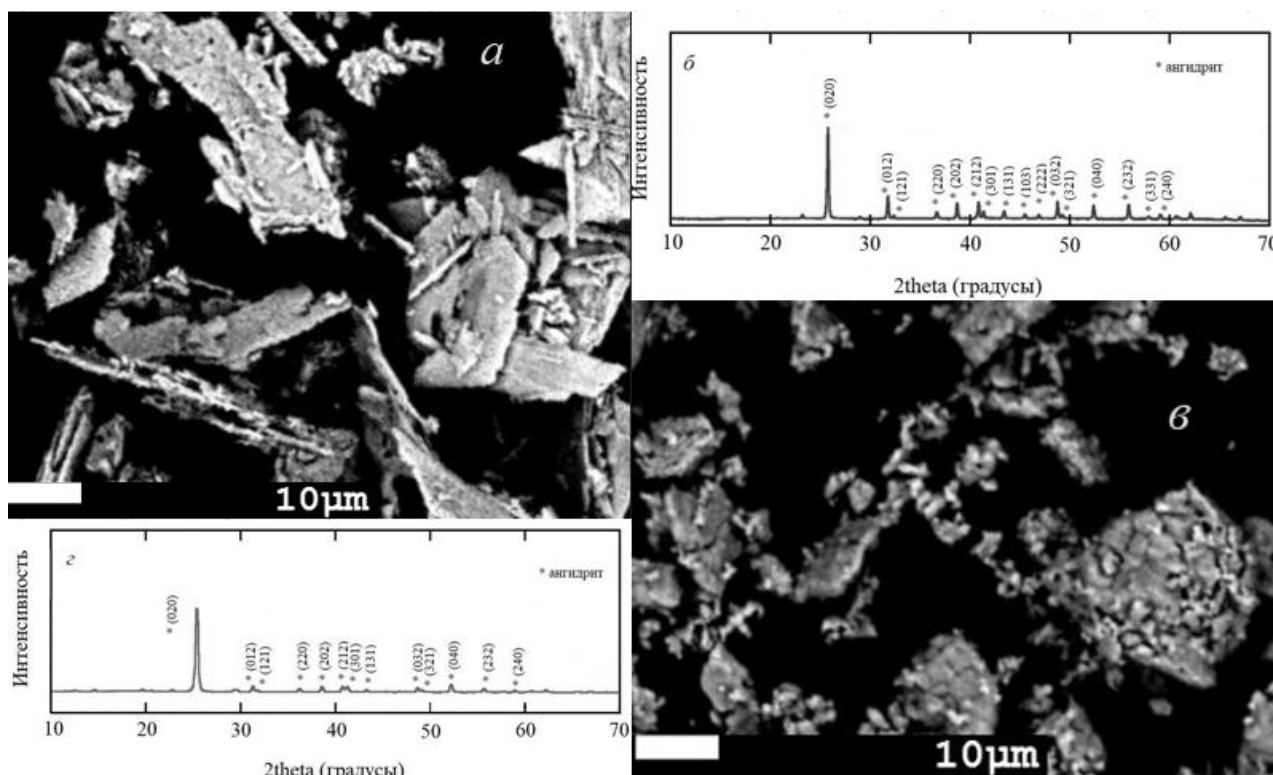


Рисунок 1 – Характеристики ангидритов

а – микрофотография синтетического ангидрита; б – рентгенограмма синтетического ангидрита;  
в – микрофотография термического ангидрита; г – рентгенограмма термического ангидрита

#### Список литературных источников

1. Романовский, В. И. Анализ загрязнений источников питьевого водоснабжения в Республике Беларусь / В. И. Романовский // Вестник БрГТУ. Водохозяйственное строительство, теплоэнергетика и геоэкология. – 2014. – № 2. – С. 65–67.
2. Ланина, Т. Д. Очистка поверхностных вод с высокой цветностью в условиях низких температур / Т. Д. Ланина, С. Н. Донин, Е. С. Силиванова // Водоочистка. Подготовка. Водоснабжение. – 2015. – № 10. – С. 42–51.
3. Сивков, А. Л. Результаты природоохранной деятельности ОАО «Генерирующая компания» за 2005 год / А. Л. Сивков // Энергетика Татарстана. – 2006. – № 3. – С. 83–91.
4. Романовский, В. И. Проблемы утилизации отходов водоподготовки и очистки сточных вод в Беларуси / В. И. Романовский, А. А. Федоренчик, А. Д. Гуринович // Вестник БрГТУ. Водохозяйственное строительство, теплоэнергетика и геоэкология. – 2011. – № 2 (68). – С. 66–69.
5. Концепция «Умный город»: научно-практические аспекты : монография / О. С. Голубова [и др.] ; под общ. ред. А. В. Губерта. – Ижевск : Изд-во УИР ИжГТУ имени М. Т. Калашникова, 2021. – 224 с.
6. Kamarou, M. Structurally controlled synthesis of synthetic gypsum derived from industrial wastes: sustainable approach / M. Kamarou, N. Korob, V. Romanovski // Journal of Chemical Technology & Biotechnology. – 2021. – Vol. 96, № 11. – P. 3134–3141. – DOI.10.1002/jctb.6865.
7. Gypsum and high quality binders derived from water treatment sediments and spent sulfuric acid: chemical engineering and environmental aspects / V. Romanovski [et al.] // Chemical Engineering Research and Design. – 2022. – Vol. 184. – P. 224–232. – DOI.10.1016/j.cherd.2022.06.008.
8. Romanovski, V. Green approach for low-energy direct synthesis of anhydrite from industrial wastes of lime mud and spent sulfuric acid / V. Romanovski, A. Klyndyuk, M. Kamarou // Journal of Environmental Chemical Engineering. – 2021. – Vol. 9, № 6. – P. 106711. – DOI.10.1016/j.jece.2021.106711.
9. Low energy synthesis of anhydrite cement from waste lime mud / M. Kamarou [et al.] // Journal of Chemical Technology & Biotechnology. – 2022. – Vol. 98, № 3. – P. 789–796. – DOI.10.1002/jctb.7284.

10. Low-energy technology for producing anhydrite in the  $\text{CaCO}_3 - \text{H}_2\text{SO}_4 - \text{H}_2\text{O}$  system derived from industrial wastes / M. Kamarou [et al.] // Journal of Chemical Technology & Biotechnology. – 2021. – Vol. 96, № 7. – P. 2065–2071. – DOI.10.1002/jctb.6740.

11. Approaches for filtrate utilization from synthetic gypsum production / V. Romanovski [et al.] // Environmental Science and Pollution Research. – 2022. – DOI.org/10.1007/s11356-022-24584-3.

12. Романовский, В. И. Очистка промывных вод станций обезжелезивания с использованием отходов водоподготовки / В. И. Романовский, П. А. Клебеко, Е. В. Романовская // Вестник БрГТУ. Водохозяйственное строительство, теплоэнергетика и геоэкология. – 2018. – № 2 (104). – С. 90–92.

### **Направления утилизации фильтратов, образующихся при синтезе синтетического ангидрита из недопала извести**

Комаров М.А.

*Белорусский государственный технологический университет, г. Минск, Республика Беларусь, [makkom1995@gmail.com](mailto:makkom1995@gmail.com)*

**Резюме.** При переработке недопала извести на синтетический ангидрит сульфата кальция в системе  $\text{CaCO}_3 - \text{H}_2\text{SO}_4 - \text{H}_2\text{O}$  образуется большое количество фильтрата. Перспективным направлением по его утилизации является его использование в качестве микроудобрения для растений за счет его химического состава, либо в качестве сырьевого компонента, замещающего воду при приготовлении суспензии недопала извести.

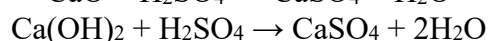
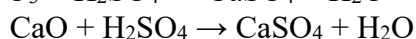
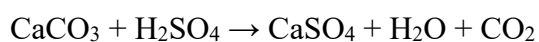
### **Directions for the disposal of filtrates formed during the synthesis of synthetic anhydrite from lime mud**

Komarov M.

**Summary.** During the processing of lime mud for synthetic anhydrite sulfate, the content in the  $\text{CaCO}_3 - \text{H}_2\text{SO}_4 - \text{H}_2\text{O}$  system is a large amount of filtrate. A promising direction for its use is its use as a microfertilizer for plants due to its chemical composition, or as a raw material component that replaces water in the preparation of a suspension and does not burn lime.

Приоритетным направлением природоохранной деятельности является переработка отходов с получением новых материалов, которые могут в дальнейшем вновь использоваться в хозяйственном обороте. Ввиду этого все более актуальными становятся комплексные технологии переработки сырья [1] с замкнутым технологическим циклом.

Химический синтез в системе  $\text{CaCO}_3 - \text{H}_2\text{SO}_4 - \text{H}_2\text{O}$  [2] позволяет получать синтетический гипс [3] и синтетический ангидрит [4] высокого качества, которые являются перспективным сырьем для получения гипсовых вяжущих [5]. В процессе синтеза синтетического ангидрита [6] образуется 2 материальных потока: синтетический ангидрит и фильтрат. В технологическом цикле получения синтетического ангидрита [7] фильтрат образуется за счет взаимодействия разбавленной серной кислоты (концентрация 53 мас. %) с суспензией недопала извести, концентрацией 14,29 мас. %, а также в ходе протекания следующих химических реакций:



Фильтрат, образующийся в процессе синтеза ангидрита, имеет рН 0,47. С целью разработки устойчивой технологии для его нейтрализации использовали отход недопала извести. рН нейтрализованного фильтрата составил 7,34. Солесодержание данного фильтрата составило 5,52 г/л. Состав сухого остатка представлен в табл.

Таблица – Элементный состав сухого остатка фильтрата и осадка после нейтрализации

Элемент	Сухой остаток	Осадок
O	39,55 ± 1,28	38,16 ± 6,41
Na	5,22 ± 1,01	0,04 ± 0,05
Mg	7,47 ± 0,47	0,11 ± 0,16
Si	1,97 ± 0,72	2,46 ± 0,60
S	15,26 ± 0,04	12,38 ± 1,54
Cl	2,26 ± 0,02	0,18 ± 0,26
K	1,58 ± 0,31	0,39 ± 0,12
Ca	24,94 ± 1,39	39,17 ± 3,92
C	1,76 ± 0,44	7,11 ± 0,60

Фильтрат после нейтрализации содержал остаточное количество сульфата кальция (содержание серы – 0,842 г/л), Содержащийся в исходном фильтрате магний (0,412 г/л), натрий (0,288 г/л) и калий (0,097 г/л) оставались в нем и после нейтрализации. Такой продукт может использоваться в качестве удобрения либо в качестве зародышей на стадии синтеза для укрупнения частиц  $\text{CaSO}_4$  в самой технологии. Использование мелких частиц в качестве зародышей является перспективным направлением. Так, полученный фильтрат может использоваться повторно в технологическом цикле, заменяя собой необходимую воду для приготовления суспензии недопала извести. Однако фильтрат, образующийся в процессе частого циклического повторного использования, будет накапливать в себе растворимые соли, вносимые с сырьевыми компонентами, которые в последствии могут оказать негативный вклад на рост кристаллов и образования частиц сульфата кальция. Исходя из этого, а также ввиду наличия в фильтрате кальция, серы, натрия, магния, калия, представляет интерес возможность использования фильтрата в качестве удобрения. Поглощение натрия очень сильно зависит от растения [8]. Кальций необходим для нормального роста надземных органов и корней растений [9]. Потребность в нем возникает уже в фазе прорастания. При сильном дефиците кальция корни останавливают рост, утолщаются, а корневые волоски разрушаются (стенки клеток слизнут, так как пектиновые вещества и липоиды при отсутствии кальция растворяются, внутренне содержимое клеток вытекает, ткань превращается в ослизлую бесструктурную массу).

Для подтверждения возможности использования нейтрализованного фильтрата проводились исследования по прорастаемость семян масленичной редьки и параметрам выросших растений, результаты представлены на рис.

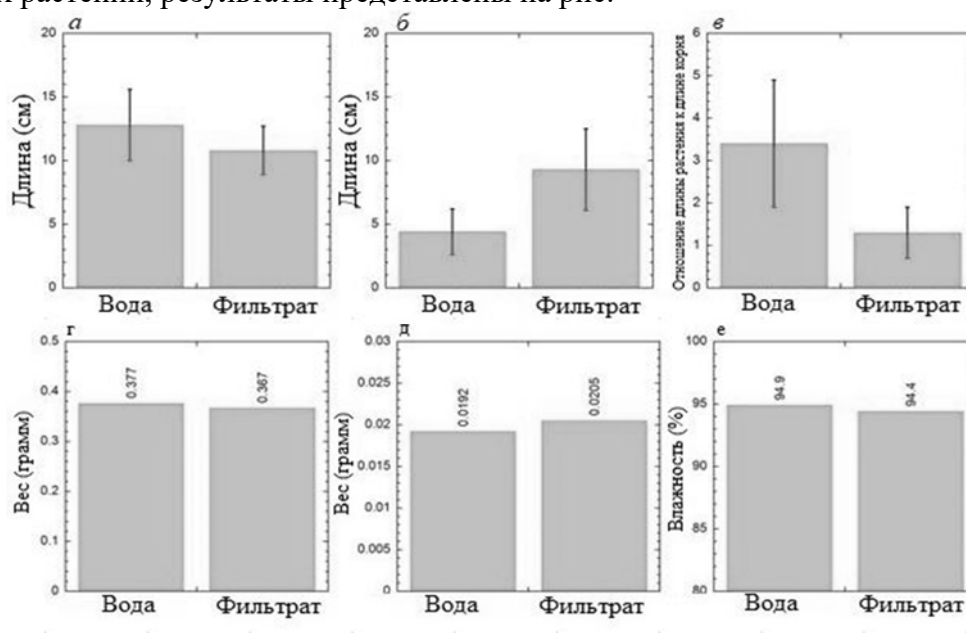


Рисунок – Параметры растений

а – высота побега; б – длина корней; в – соотношение высоты побега к длине корней;  
г – сырая масса; д – сухая масса; е – влажность

В боксе, в котором для полива использовалась только вода, эффективность прорастания составила 82 %, а в боксе, где для полива дополнительно использовался фильтрат – 80%. Из рис. 1 видно, что использование нейтрализованного фильтрата привело к снижению высоты ростков на 15,6 % и почти в 2 раза увеличению длины основного корня. Если сравнивать удельные показатели на одно растение, то при практически одинаковой влажности (рисунок 1 е) сухая масса растений после полива фильтратом была больше на 6,3 мас. % по сравнению с растениями, которые поливались водой (рис. 1 д). При поливе растений фильтратом ростки были более развиты с несколько большим количеством листиков. Об этом свидетельствует то, что общая длина побега при поливе фильтратом уменьшилась на 15,6 %, а удельная масса ростка меньше всего на 2,7 %.

Таким образом фильтрат, образующийся при синтезе синтетического ангидрита из недопала извести можно использовать как микроудобрения для растений либо пускать обратно в технологический цикл на стадию приготовления суспензии. Благодаря предложенным способам утилизации фильтратов технологию переработки недопала извести на синтетический ангидрит сульфата кальция можно считать замкнутой и не загрязняющей местные водные ресурсы.

#### Список литературных источников

1. Романовский, В. И. Очистка промывных вод станций обезжелезивания с использованием отходов водоподготовки / В. И. Романовский, П. А. Клебеко, Е. В. Романовская // Вестник БрГТУ. Водохозяйственное строительство, теплоэнергетика и геоэкология. – 2018. – № 2 (104). – С. 90–92.
2. Low-energy technology for producing anhydrite in the  $\text{CaCO}_3\text{--H}_2\text{SO}_4\text{--H}_2\text{O}$  system derived from industrial wastes / M. Kamarou [et al.] // Journal of Chemical Technology & Biotechnology. – 2021. – Vol. 96, № 7. – P. 2065–2071. – DOI:10.1002/jctb.6740.
3. Kamarou, M. Structurally controlled synthesis of synthetic gypsum derived from industrial wastes: sustainable approach / M. Kamarou, N. Korob, V. Romanovski // Journal of Chemical Technology & Biotechnology. – 2021. – Vol. 96, № 11. – P. 3134–3141. – DOI:10.1002/jctb.6865.
4. Romanovski, V. Green approach for low-energy direct synthesis of anhydrite from industrial wastes of lime mud and spent sulfuric acid / V. Romanovski, A. Klyndyuk, M. Kamarou // Journal of Environmental Chemical Engineering. – 2021. – Vol. 9, № 6. – P. 106711. – DOI:10.1016/j.jece.2021.106711.
5. Gypsum and high quality binders derived from water treatment sediments and spent sulfuric acid: chemical engineering and environmental aspects / V. Romanovski [et al.] // Chemical Engineering Research and Design. – 2022. – Vol. 184. – P. 224–232. – DOI:10.1016/j.cherd.2022.06.008.
6. Low energy synthesis of anhydrite cement from waste lime mud / M. Kamarou [et al.] // Journal of Chemical Technology & Biotechnology. – 2022. – Vol. 98, № 3. – P. 789–796. – DOI:10.1002/jctb.7284.
7. Approaches for filtrate utilization from synthetic gypsum production / V. Romanovski [et al.] // Environmental Science and Pollution Research. – 2022. – DOI:10.1007/s11356-022-24584-3.
8. Бингам, Ф. Т. Некоторые вопросы токсичности ионов металлов / Ф. Т. Бингам, М. Коста, Э. Эйхенбергер. – М. : Мир, 1993. – 366 с.
9. Кальций в растительных клетках / В. В. Швартау [и др.] // Biosystems Diversity. – 2014. – Vol. 22, № 1. – P. 19–32.

#### **Вертикальное распределение зоопланктона в двух мезотрофных озерах Беларуси**

Журавлёв М.Д.

*ГНПО «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по биоресурсам», г. Минск, Республика Беларусь, mishatelefon13@gmail.com*

**Резюме.** Изучено вертикальное распределение зоопланктона в пелагиали двух мезотрофных озер Беларуси. Установлено, что в средне глубоких озерах Беларуси в летнее время наблюдается неравномерное распределение зоопланктона по вертикали, связанное с температурной стратификацией и концентрацией кислорода. В исследованных озерах

отмечается концентрация организмов планктона в верхних слоях воды эпилимниона и металимниона, где интенсивно идут первичные продукционные процессы.

## Vertical distribution of zooplankton in two mesotrophic lakes of Belarus

Zhuravlev M.

**Summary.** Vertical distribution of zooplankton in the pelagic zone of two mesotrophic lakes in Belarus has been studied. It has been established, that in the middle-depth lakes of Belarus, an irregular vertical distribution of zooplankton is observed in summer time, which is connected with temperature stratification and oxygen concentration. The concentration of plankton organisms in the upper water layers of epilimnion and metalimnion, where the primary production processes are intensive, is observed in the investigated lakes.

Актуальность работ по вертикальной структуре для пресноводных водоемов обусловлена несколькими аспектами: в продукционной гидробиологии до сих пор все расчеты выполняются без учета факта неравномерности распределения, что приводит к значительным погрешностям в расчетах; в мониторинговых исследованиях в таких озерах рекомендуется сбор зоопланктона у поверхности и дна, что впоследствии неадекватно отражает экологическое состояние водоема. Пространственное распределение видов в вертикальном столбе воды может служить одной из характеристик таксона, особенно это важно для стенотермных видов при определении их биотопической приуроченности и границ жизнедеятельности. Учитывая быструю реакцию пространственной структуры зоопланктона на воздействия, ее можно рассматривать как перспективный метод для определения изменения не только трофического состояния водных экосистем, но и влияния климата.

Цель: изучить вертикальную структуру пелагического зоопланктона в стратифицированных озерах.

Сборы зоопланктона произведены фракционно через 5 м на станции с максимальной глубиной количественной замыкающейся планктонной сетью Джели с диаметром входного отверстия 25 см и ячеей фильтрующего конуса 62 мкм. Отобранные пробы переливали в стеклянные бутылки объёмом 250 см<sup>3</sup> с двукратным ополаскиванием планктонной сети. Консервировали 4% раствором формалина [1, 2].

Измерение температуры и содержания кислорода проведены термометром HANNA HI 76407/20 с помощью глубоководного датчика, прозрачности – белым диском Секки.

Лабораторную обработку проводили под бинокулярным микроскопом МБС 9 в камере Богорова с уточнением морфологических особенностей с помощью микроскопа Leika MD 1000. Для таксономической идентификации животных использовали определительные таблицы из [3, 4, 5, 6] и др.

Данные по численности представлены как количество организмов в единице объема (экз./м<sup>3</sup>). Для получения формализованной оценки распределения использовали среднюю глубину (D), на которой располагался весь зоопланктон или отдельные виды, которая рассчитывалась как среднее геометрическое по формуле:

$$D = \frac{\sum (N_i * d_i + N_n * d_n)}{\sum N_{i-n}},$$

где N – численность на определенной глубине; d – глубина лова.

*Температура и содержание кислорода.* Оба озера относятся к мезотрофным поэтому в распределении температуры они схожи. В оз. Вечелье в приповерхностных слоях воды – 23,8 °С, а в оз. Долгое – 24 °С. Металимнион в Вечелье начинался на 3 м, а в Долгом на 4 м. Температура в придонных слоях в Вечелье 5,0–4,8 °С, Долгом – 5,7–5,4 °С. Однако данные различия очень сильно влияют на вертикальное распределение зоопланктона, что что будет показано ниже.

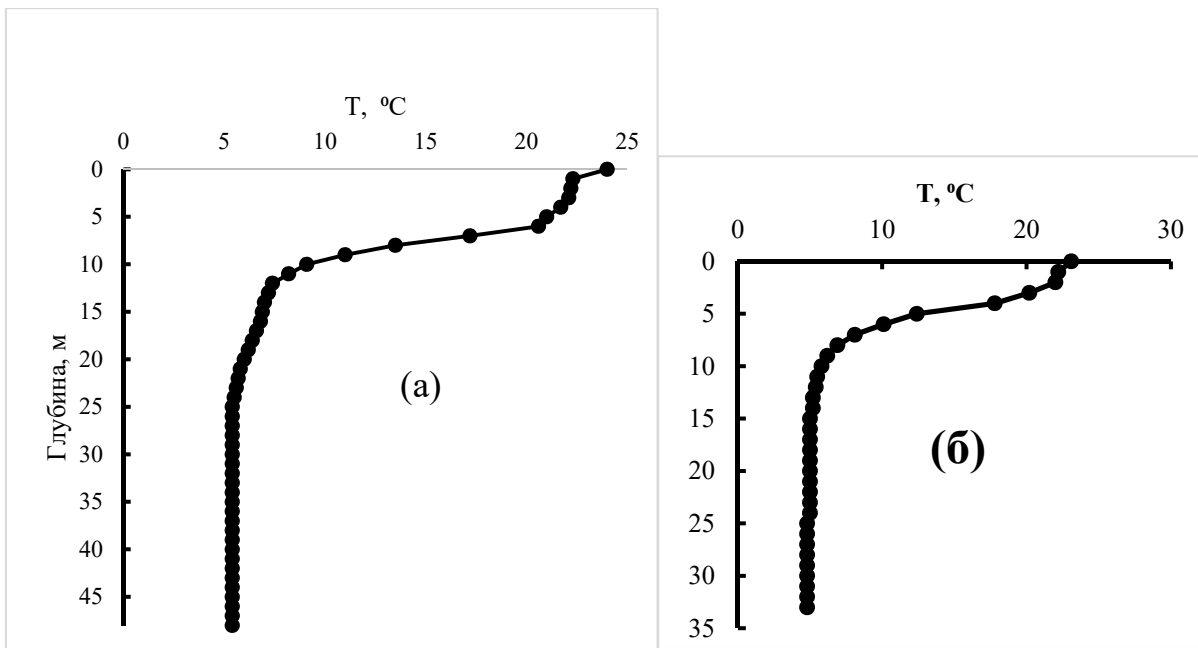


Рисунок 1 – Вертикальное изменение температуры в оз. Долгое (а) и Вечелье (б)

Характер изменения кривых распределения кислорода в этих двух озерах достаточно сложный, но у обоих присутствует дефицит в начале термоклина, который свидетельствует о происходящих в толще воды процессах разложения большого количества органического вещества, которое в процессе окисления снижает содержание кислорода до критических величин в зоне металимниона. Одно из отличий – это то, что в озере Долгое зона металимниона шире, это играет большую роль в распределении металимниальных видов.

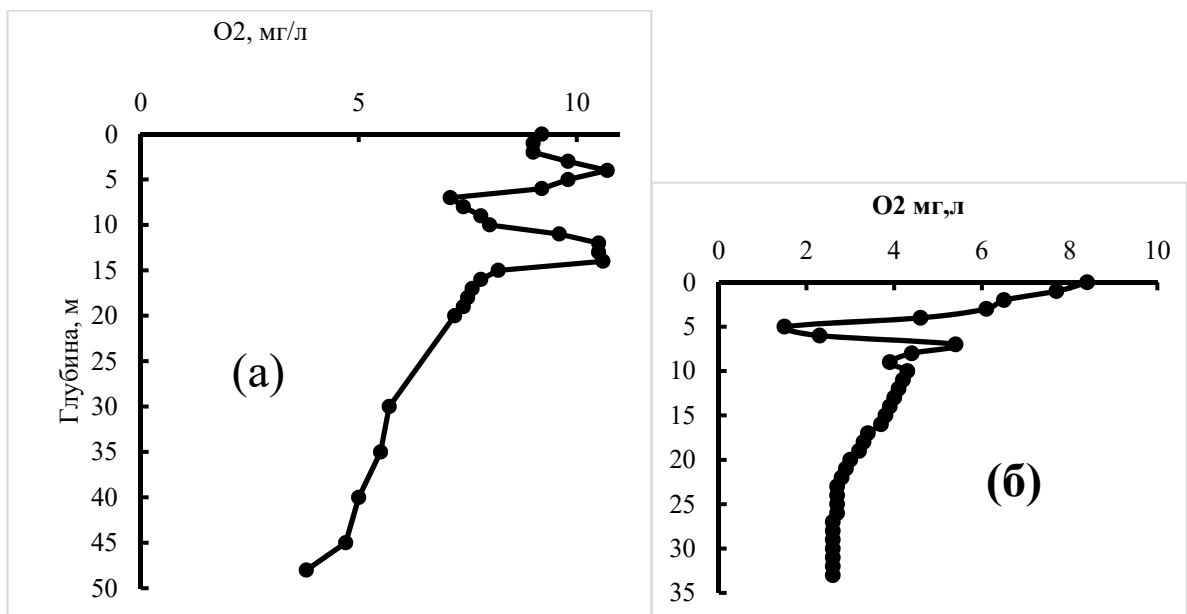


Рисунок 2 – Изменение температуры в оз. Долгое (а) и Вечелье (б)

В 2022 году в оз. Долгое максимальные значения приурочены к эпилимниону (51%). Минимальные значения (1,9%) на глубине 20–25 м. Прирост придонной численности небольшой (3,45%) и представлен в основном глубоководным реликтовым рачком *Limnocalanus macrurus*. Средняя глубина расположения для всего зоопланктона составила 13,2 м.

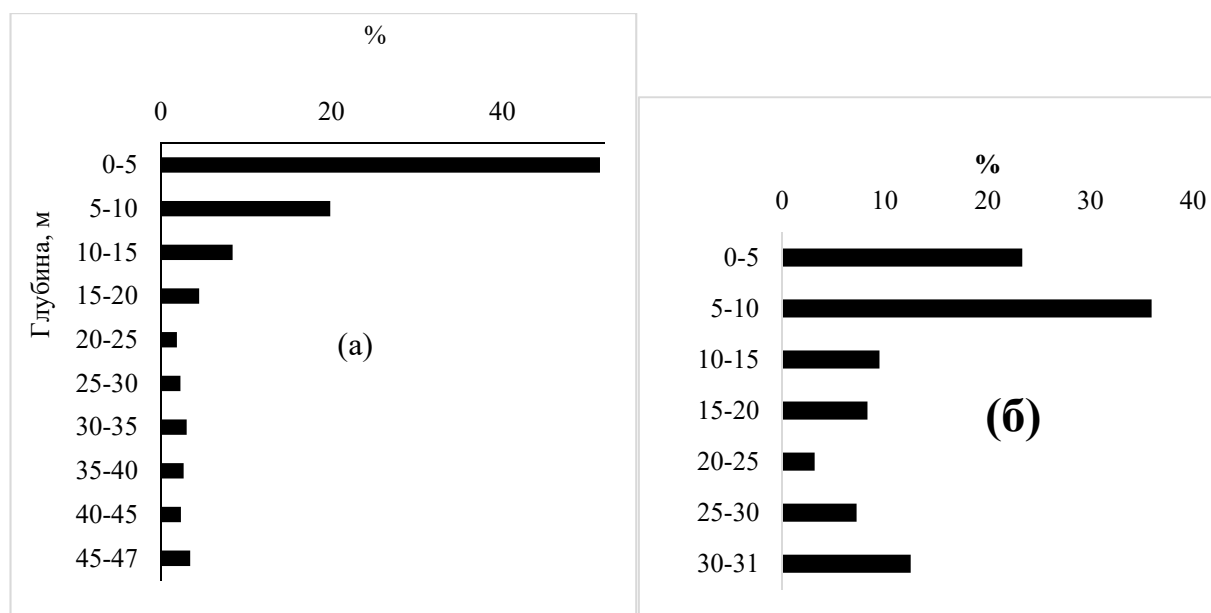


Рисунок 3 – Общее распределение (% численности в столбе воды) зоопланктона в оз. Долгое (а) и Вечелье (б)

В оз. Вечелье в 2022 году максимальные величины относительной численности (36%) наблюдаются в зоне температурного скачка (рис. 2). Минимальное значение (3%) наблюдается на глубине 20–25 м. Придонный рост численности небольшой, обусловлен нахождением на необычной для гибридных форм босмин глубине. Средняя глубина, на которой располагается весь зоопланктон, равна 13,4 м.

Таким образом, в изученных мезотрофных озерах Беларуси в летнее время наблюдается неравномерное распределение зоопланктона по вертикали. Отмечается концентрация организмов планктона в верхних слоях воды эпилимниона и металимниона, где интенсивно идут первичные продукционные процессы. Придонная же численность обусловлена отдельными стенотермными видами и популяциями. Распределение зоопланктона зависит от вертикального хода температуры и содержания кислорода.

*Работа выполнена при финансовой поддержке БРФФИ, договор Б23МС-001.*

#### Список литературных источников

1. Салазкин, А. А. Методические рекомендации по сбору и обработке материалов при гидробиологических исследованиях на пресноводных водоемах. Зоопланктон и его продукция / А. А. Салазкин, М. Б. Иванова, В. А. Лаврентьева ; под ред. Г. Г. Винберга. – Л. : ГосНИОРХ. – 1984. – 34 с.
2. Вежновец, В. В. Методические особенности сбора зоопланктона в стратифицированных озерах / В. В. Вежновец // Актуальные проблемы планктонологии : материалы II Международной конференции, Калининград, 14–18 сентября 2015 г. : тезисы докладов / ФГБОУ ВПО «КГТУ». – Калининград, 2015. – С. 11–12.
3. Кутикова, Л. А. Коловратки фауны СССР / Л. А. Кутикова. – Л. : Наука, 1970. – 744 с.
4. Монченко, В. И. Челюстноротые циклообразные. Циклопы (Cyclopidae) / В. И. Монченко // Фауна Украины. – Киев : Наукова думка, 1974. – Т. 27, № 3. – 452 с.
5. Определитель зоопланктона и зообентоса пресных вод Европейской России : в 2 т. / под ред. В. Р. Алексева, С. Я. Цалолихина. – М. : Товарищество научных изданий КМК, 2010. – Т. 1 : Зоопланктон. – 495 с.
6. Вежновец, В. В. Ракообразные (Cladocera, Sorepoda) в водных экосистемах Беларуси. Каталог. Определительные таблицы / В. В. Вежновец. – Мн. : Беларус. навука, 2005. – 150 с.



## Модифицированные антрациты для обезжелезивания подземных вод

Клебко П.А.

*БелНИЦ ЭКОЛОГИЯ, г. Минск, Республика Беларусь, pavkle@mail.ru*

**Резюме.** В работе представлены результаты сравнительного анализа модифицированных инертных материалов используемых для обезжелезивания подземных вод. В качестве исходного материала выбраны антрацит и огнеупорный шамот фракции 3–5 мм, а в качестве источника железа – железосодержащий осадок очистки промывных вод фильтров обезжелезивания. Установлено влияние дозы нитрата железа на содержание железа на поверхности модифицированного материала и сравнена эффективность окисления  $Fe^{2+}$  до  $Fe^{3+}$ .

### Modified anthracites for iron removal from groundwater

Klebko P.

**Summary.** The work presents the results of a comparative analysis of modified inert materials used for deferrization of groundwater. Anthracite and refractory chamotte with a fraction of 3–5 mm were chosen as the starting material, and iron-containing sediment from cleaning the washing water of iron removal filters was chosen as the source of iron. The influence of the dose of iron nitrate on the iron content on the surface of the modified material was established, and the efficiency of the oxidation of  $Fe^{2+}$  to  $Fe^{3+}$  was compared.

Допустимая концентрация ионов железа в питьевой воде регламентируется требованием стандартов: в соответствии с рекомендациями Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ) она составляет 0,2 мг/дм<sup>3</sup>, в ряде других стран – 0,3 мг/дм<sup>3</sup>. Наиболее распространенными фильтрующими материалами являются кварцевый песок, антрацит, гранитная крошка, керамзит и активированный уголь. Одним из широко применяемых методов модификации фильтрующих загрузок является модификация металлами, чаще всего железом.

Целью данной работы является сравнительный анализ эффективности модифицированных материалов (огнеупорный шамот и антрацит).

Для модификации выбраны огнеупорный шамот и антрацит фракции 3–5 мм. Прекурсор железа готовили из железосодержащего осадка очистки промывных вод фильтров обезжелезивания по параметрам, описанным в работах [1, 2, 3, 4]. Состав исследуемого железосодержащего осадка: Fe – 55,38 %, O – 33,38 %, Si – 4,53 %, Ca – 4,11 %, Mn – 0,27 %, P – 1,88 %, Mg – 0,09 %, S – 0,08 %, Al – 0,06 %.

В качестве способа нанесения функционального покрытия был определен метод экзотермического горения в растворе (solution combustion synthesis – SCS) с использованием стехиометрической смеси нитрата железа (окислитель) и лимонной кислоты (citric acid – CA, восстановитель) [5]. Уравнения реакции представлены ниже:

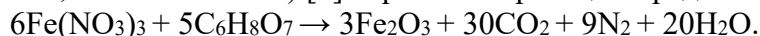


Схема экспериментальной установки по оценке эффективности окисления  $Fe^{2+}$  до  $Fe^{3+}$  представлена в публикациях [6-8]. Установка представляет собой колонки диаметром 50 мм и высотой 1,7 м. Высота слоев исследуемых материалов составила 0,5 м для каталитического слоя (исследуемый модифицированный материал) и 1,0 м для фильтрующего слоя (кварцевый песок). Подача исходной воды осуществлялась из скважин с последующей аэрацией в градирне. Начальная скорость фильтрации составляла 12 м/ч. Объем воды в баке поддерживался на одном уровне для поддержания постоянного напора, а уровень воды над слоем загрузки составлял до 5 см.

Эффективность очистки воды от железа оценивалась в первых порциях фильтрата объемом 250 мл с целью оценки эффективности работы каталитического слоя.

В результате модификации материалы приобретали темно-красный или темно-коричневый цвет за счет образования оксидов железа на их поверхности. Установлено, что образовавшиеся в результате синтеза железосодержащей фазы твердые частицы представляют собой преимущественно гексагональную кристаллическую фазу гематита с пространственной группой R-3c и кубической фазы магнетита.

Показано, что значительных изменений эксплуатационных характеристик модифицированных материалов в сравнении с исходным материалом не наблюдалось. Это является показателем того, что использование модифицированных материалов не потребует изменений в режимах работы фильтра и его промывки.

Эффективность использования модифицированных материалов оценена по остаточному содержанию железа общего в первой порции фильтрата в 250 мл. Исходная азрированная вода (средне содержание железа общего 3,75 мг/дм<sup>3</sup>) имела рН 7,4. После фильтрации значение рН отфильтрованной воды практически не изменилось и составило 7,5.

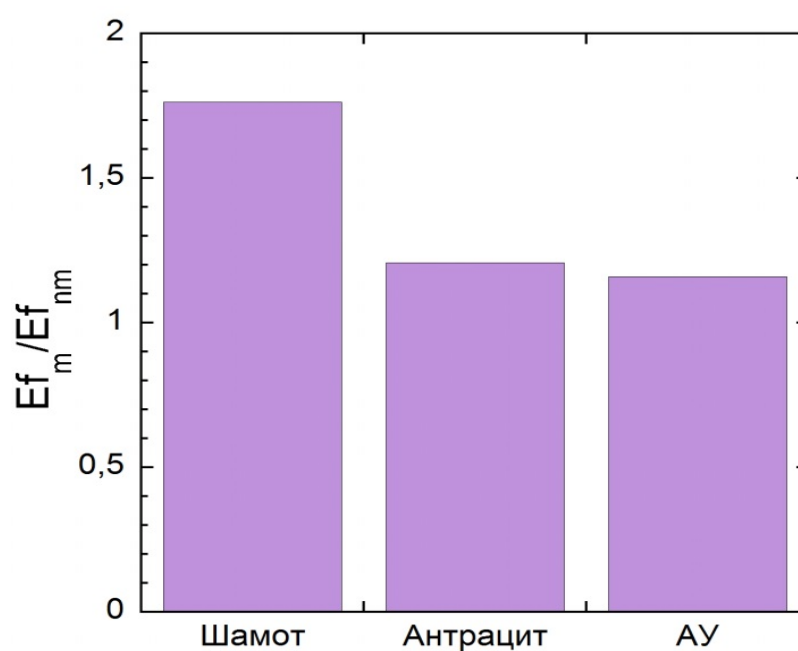


Рисунок – Сравнительный анализ эффективности обезжелезивания подземных вод между модифицированным и немодифицированным материалом

Эффективность обезжелезивания подземной воды при использовании модифицированного шамота составила в среднем 86 % для первой порции отфильтрованной воды. Для сравнения, эффективность обезжелезивания при использовании модифицированного таким же способом антрацита – 95% [2], модифицированного активированного угля – 96% [9]. Более низкие полученные результаты для шамота можно объяснить разной по структуре и химическому составу поверхности модифицируемого материала. Угли характеризуются более развитой поверхностью. Однако по такому параметру как отношение эффективности окисления модифицированной загрузки к немодифицированной результаты для шамота оказались более высокими в сравнении с результатами, полученными для углей. Таким образом, модифицированный шамот дает более высокую степень окисления Fe<sup>2+</sup> до Fe<sup>3+</sup>, однако за счет менее развитой поверхности его эффективность по удалению железа общего ниже в сравнении с модифицированными углями.

В результате проведенных исследований установлена эффективность использования метода экзотермического горения в растворах для модификации фильтрующих материалов. Данный метод способствует образованию микродисперсных кристаллических фаз гематита, что положительно влияет на каталитическую способность материала. Остаточная

концентрация железа общего в первых порциях фильтрата, при использовании модифицированных образцов до трех раз ниже, чем в случае использования исходного материала.

В сравнении с альтернативными вариантами модификации фильтрующих загрузок предложенный метод позволяет значительно повысить экологичность процесса. Так, энергопотребление предложенной технологии в сравнении с аналогами снижается более чем в 100 раз, до 10 раз сокращается расход необходимых реагентов. В представленном примере получен материал на основе отхода огнеупорного шамота, а в качестве прекурсора железа использовали осадки станций обезжелезивания. Таким образом, даже при использовании только отходов были получены высокоэффективные гранулированные загрузки [10].

#### Список литературных источников

1. Куличик, Д. М. Кислотное выщелачивание железа из железосодержащих осадков станций обезжелезивания / Д. М. Куличик, В. И. Романовский, В. В. Лихавицкий // Вестник БрГТУ. Водохозяйственное строительство, теплоэнергетика и геоэкология. – 2019. – № 2. – С. 52–54.
2. Очистка подземных вод от железа с использованием модифицированных антрацитов / Романовский В. И. [и др.] // Вестник БрГТУ. Водохозяйственное строительство, теплоэнергетика и геоэкология. – 2016. – № 2 (98). – С. 80–83.
3. Получение каталитических материалов для водоподготовки и очистки сточных вод из отходов станций обезжелезивания – Preparation of catalytic materials for water and wastewater treatment from wastes of deironing stations / В. И. Романовский [и др.] // Вода magazine. – 2017. – № 6 (118). – С. 12–15.
4. Клебеко, П. А. Очистка подземных вод от железа с использованием модифицированных антрацитов / П. А. Клебеко, В. И. Романовский // Весті Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі. Серыя хімічных навук. – 2017. – № 3. – С. 104–109.
5. Романовский, В. И. Получение керамических материалов строительного назначения с использованием отходов станций обезжелезивания – Production of ceramic materials of construction purpose with use of waste of deironing stations / В. И. Романовский, Е. В. Крышилович, П. А. Клебеко // Вода magazine. – 2018. – № 2 (126). – С. 8–11.
6. Романовский, В. И. Очистка промывных вод станций обезжелезивания с использованием отходов водоподготовки / В. И. Романовский, П. А. Клебеко, Е. В. Романовская // Вестник БрГТУ. Водохозяйственное строительство, теплоэнергетика и геоэкология. – 2018. – № 2 (104). – С. 90–92.
7. Клебеко, П. А. Модифицированные антрациты – эффективные каталитические материалы для обезжелезивания подземных вод / Клебеко П. А., Романовский В. И. // Водоснабжение и санитарная техника. – 2020. – № 7. – С. 24–29.
8. Клебеко, П. А. Влияние условий синтеза на фазовый состав модифицированного покрытия антрацитов для обезжелезивания подземных вод / П. А. Клебеко, В. И. Романовский // Вестник БрГТУ. Водохозяйственное строительство, теплоэнергетика и геоэкология. – 2020. – № 2. – С. 65–67.
9. Пропольский, Д. Э. Полифункциональный модифицированный уголь для очистки подземных вод / Пропольский Д. Э., Романовский В. И. // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. – 2020. – № 4. – С. 103–111.
10. Клебеко, П. А. Обезжелезивание подземных вод модифицированным огнеупорным шамотом / Клебеко П. А., Романовский В. И. // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. – 2021. – № 4. – С. 103–111.

## Особенности учёта зообентоса в стратифицированных озерах

Лапука И.И.

ГНПО «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по биоресурсам», г. Минск, Беларусь, e-mail: [ilya.lapuka@yandex.ru](mailto:ilya.lapuka@yandex.ru)

**Резюме.** Рассмотрены особенности учета зообентоса в стратифицированных водоемах разной трофности. Полученные результаты, важны для правильного учета беспозвоночных в мониторинговых исследованиях, оценке продуктивности и влияния абиотических факторов на пространственную структуру.

## Features of account of zoobenthos in stratified lakes

Lapuka I.

**Summary.** The features of zoobenthos accounting in stratified water bodies of different trophicity are considered. The results obtained are important for the correct accounting of invertebrates in monitoring studies and in assessing the influence of various factors on lakes.

Процессы формирования структуры макрозообентоса, как правило, протекают в пределах влияния других сообществ в экосистеме. Структура сообщества определяется числом входящих в них видов, их численностью, различного вида взаимоотношениями между видами, особенно трофическими, конкурентными, симбиотическими и другими, т.е. разнообразием. Биологическое разнообразие, согласно А. Ф. Алимову – «часть всеобщего разнообразия в природе, которая имеет отношение к живым организмам, биологическим системам надорганизменного уровня. Создание структурной и функциональной организации экологических систем возможно, благодаря биологическому разнообразию» [1].

Результаты большого количества исследований показывают тесную связь между отдельными факторами водной среды и структурной организацией зообентоса. Эта корреляция зачастую настолько сильна, что позволяет рассматривать качественный состав и количественное развитие донной фауны как надежный критерий экологического состояния водоема [2, 3, 4, 5].

С другой стороны, многие авторы отмечают, что, несмотря на бесспорное существование некоторых закономерностей, формированию структуры зообентоса в большей степени характерна стохастичность [6, 7]. Анализ формирования структурной организации сообществ донных беспозвоночных осложняется тем, что изменение одного и того же фактора в одном направлении в зависимости от сочетания с другими факторами может оказывать противоположные эффекты [8]. Достаточно длительные циклы развития бентосных организмов обуславливают то, что складывающаяся структура сообществ является интегрирующим результатом за сравнительно большой промежуток времени всех воздействий и изменений среды [9].

В стратифицированных озерах соотношение различных факторов, например, кислорода и температуры имеют различные вариации в зависимости от глубины водоема. Также при учете зообентоса, в стратифицированных озерах, необходимо учитывать трофность водоема, которую лучше всего определять по прозрачности.

В рассматриваемых озерах распределение температуры, независимо от трофности водоемов, имеет схожий характер: эпилимнион занимает верхний 5-метровый слой, гиполимнион заканчивается на глубине 10–15 м (рис. 1).

Как видно на рисунке, в оз. Южный Волос, которое относится к мезотрофным с чертами олиготрофии, имеющее прозрачность больше 5 метров, и в эфтрофном оз. Круглик (прозрачность 1,8 м) ход распределения температуры схож.

В распределении концентрации кислорода наблюдаются значительные отличия в зависимости от трофии озер (рис. 2). В оз. Южный Волос присутствует металимниальный

максимум и высокая концентрация кислорода сохраняется до максимальных глубин. В эфтрофном оз. Круглик, кислород отсутствует с 6 метров глубины.

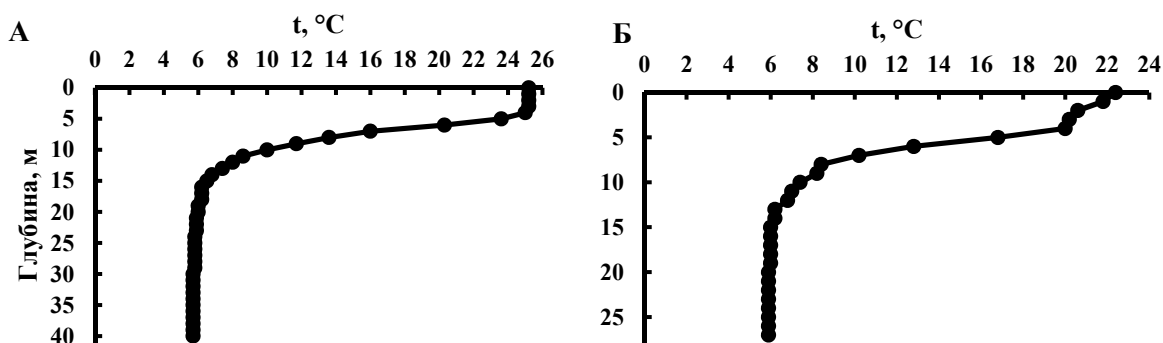


Рисунок 1 – Распределение температуры по глубинам в стратифицированных озерах:  
А – оз. Южный Волос; Б – оз. Круглик

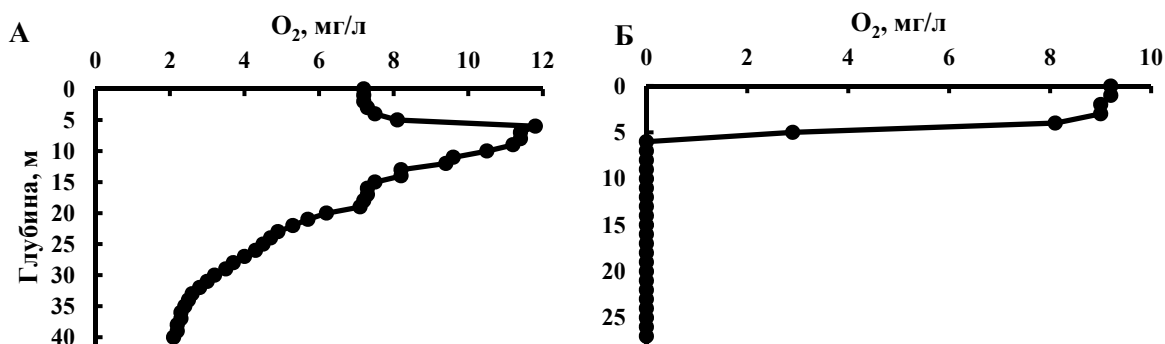


Рисунок 2 – Распределение концентрации кислорода по глубинам в стратифицированных озерах:  
А – оз. Южный Волос; Б – оз. Круглик

Такое распределение температуры и кислорода создает условия для неравномерного пространственного распределения зообентоса по всему дну озера. Независимо от трофности водоема, максимальные значения таксонов в озерах наблюдается в зоне прозрачности, которая также совпадает с зоной произрастания макрофитов (рис. 3).

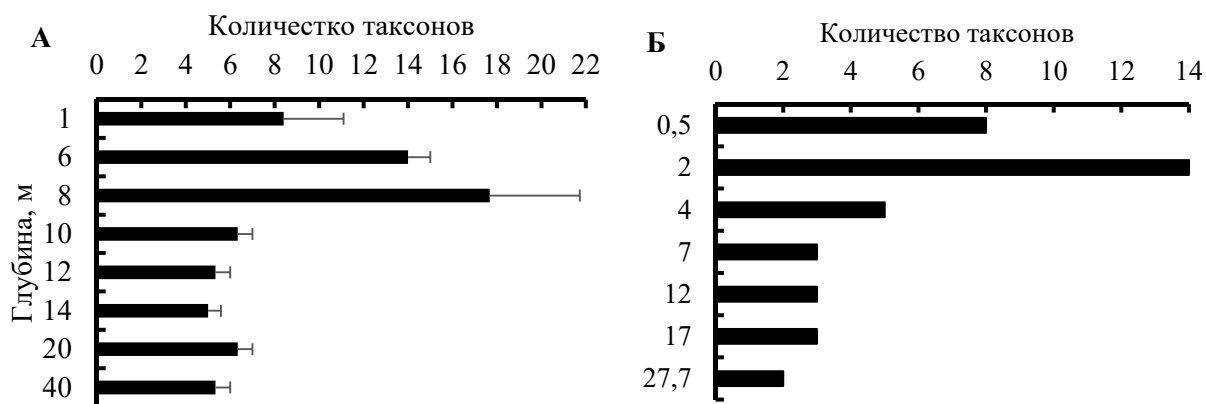


Рисунок 3 – Распределение таксонов по глубинам в стратифицированных озерах:  
А – оз. Южный Волос; Б – оз. Круглик

Совокупность этих факторов, позволяет выделить оптимальную глубину отбора пробы для учета таксономического разнообразия зообентоса. Однако нужно понимать, что в менее трофных водоемах недостаточно выделить глубину прозрачности, необходимо определить границы распространения подводной растительности и производить дополнительные отборы проб. Также, в стратифицированных водоемах следует производить отбор проб на глубоководных станциях, чтобы учесть глубоководные виды.

При определении численности, необходимо иметь в виду, что, как и таксономическое разнообразие, максимальные значения располагаются в тех же зонах при разной трофности трофности озер (рис. 4).

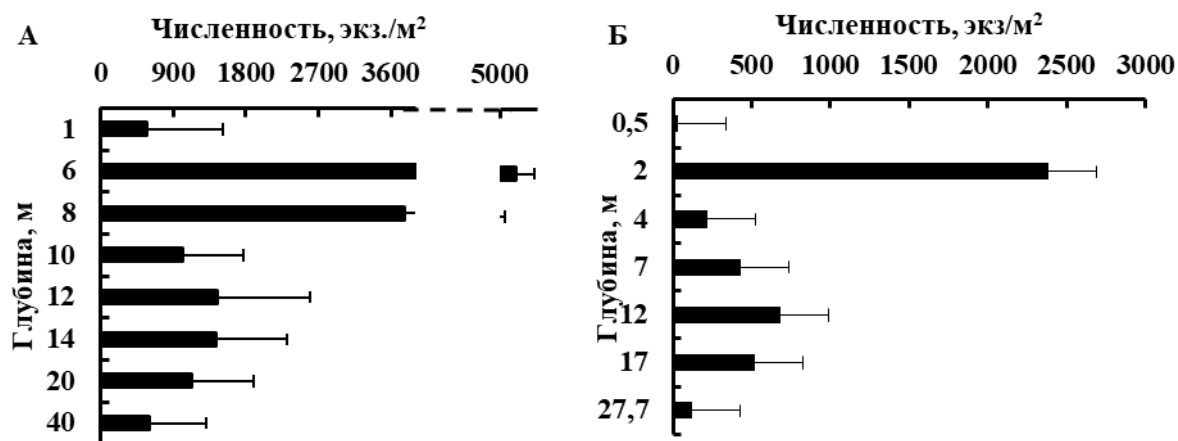


Рисунок 4 – Распределение численности по глубинам в стратифицированных озерах:  
А – оз. Южный Волос; Б – оз. Круглик

Независимо от трофности водоема после максимальной плотности происходит снижение численности зообентоса с увеличением глубины. Однако, в стратифицированных водоемах присутствует повторное увеличение показателя численности в конце термоклина, и последующее снижение ее до максимальной глубины.

Таким образом, при определении численности зообентоса в стратифицированных водоемов, необходимо учитывать трофность водоема, прозрачность, распределение температуры и концентрации кислорода по глубинам. Для учета таксономического разнообразия зообентоса, необходимо отбирать пробы в границах произрастания макрофитов, а также в литоральной и глубоководной частях водоема. Для установления плотности зообентоса, необходим отбор проб в литоральной зоне, зоне произрастания макрофитов, в конце термоклина, между этими станциями и на максимальной глубине. Такой отбор проб позволит дать более точную информацию о состоянии сообщества зообентоса для мониторинговых и хозяйственных целей.

Работа выполнена с поддержкой грантов БРФФИ №Б23М-052

#### Список литературных источников

1. Абакумов, В. А. Зообентос в системе контроля качества вод / Абакумов В. А., Качалова О. Л. // Научные основы контроля по гидробиологическим показателям. – Л. : Гидрометеоздат, 1981. – С. 167–174.
2. Wiederholm, T. Bottom fauna as an indicator of water quality in Sweden's large lakes / T. Wiederholm // AMBIO. – 1973. – Vol. 2, № 2. – P. 104–110.
3. Макрушин, А. В. Биологический анализ качества вод / А. В. Макрушин. – Л. : Зоол. ин-т АН СССР, 1974. – 60 с.
4. Пшеницина, В. Н. Об эффективности шкалы Вудивисса при биоиндикации качества воды / В. Н. Пшеницина // Гидробиол. журн. – 1986. – № 4. – С. 45–48.

5. Алимов, А. Ф. Биоразнообразие, как характеристика структуры сообщества / А. Ф. Алимов // Изв. АН. Серия биологическая. – 1998. – № 4. – С. 434–439.
6. Хазов, А. Р. Случайность и закономерность в распределении донной фауны / А. Р. Хазов, А. В. Рябинин // Биологические ресурсы водоемов Прибалтики. – Вильнюс, 1987. – С. 202–207.
7. Шитиков, В. К. Количественная гидроэкология: методы системной идентификации / Шитиков В. К., Розенберг Г. С., Зинченко Т. Д. – Тольятти : ИЭВБ РАН, 2003. – 463 с.
8. Шуйский, В. Ф. Изоболитический метод оценки и нормирования многофакторных антропогенных воздействий на пресноводные экосистемы по состоянию макрозообентоса / Шуйский В. Ф., Максимова Т. В., Петров Д. С. – СПб. : МАНЭБ, 2004. – 304 с.
9. Курашов, Е. А. Мейобентос как компонент озерной экосистемы / Е. А. Курашов. – М. : Наука, 1994. – 201 с.

## **Сезонные изменения пространственной структуры зообентоса в озере Северный Волосо**

Лапука И.И.

*ГНПО «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по биоресурсам», г. Минск, Республика Беларусь, [ilya.lapuka@yandex.ru](mailto:ilya.lapuka@yandex.ru)*

**Резюме.** Изучено сезонное изменение пространственного распределения численности зообентоса в оз. Северный Волосо. Установлены доминирующие таксоны в зависимости от сезона года и глубины. Во все сезоны года в сублиторальной части озера доминирует *Asellus aquaticus* (Linnaeus, 1758) и *Oligochaeta gen. spp.*, в профундальной зоне – *Chironomus f.l. plumosus* (Meigen, 1830) и *Chaoborus crystallinus* (De Geer, 1776).

## **Seasonal change in the spatial distribution of zoobenthos in lake Severny Voloso**

Lapuka I.

**Summary.** The seasonal changes in the spatial distribution of zoobenthos abundance in Lake Severny Voloso have been studied. Dominant taxa have been established depending on the season and depth. In all seasons, *Asellus aquaticus* (Linnaeus, 1758) and *Oligochaeta gen. spp.* dominate in the sublittoral part of the lake, in the profundal – *Chironomus f.l. plumosus* (Meigen, 1830) and *Chaoborus crystallinus* (De Geer, 1776).

Определение пространственной структуры макрозообентоса, ее характерные особенности, способы формирования, методы анализа и сезонные изменения – важнейшая, но до сих пор еще недостаточно разработанная область экологии [1, 2, 3].

Изучение сезонных изменений зообентоса базируются на общем изменении количественных показателей зообентоса во всем озере, без установления пространственной структуры. Основной тенденцией для всех озер, независимо от трофности является уменьшение количества зообентоса от весны к лету и увеличение в июле августе с максимумом в сентябре. Доминирующими таксонами при этом являются представители сем. Chironomidae и кл. Oligochaeta [4, 5, 6].

Целью работы было определить сезонные изменения пространственного распределения численности зообентоса в оз. Северный Волосо.

Материалом для работы послужили одноразовые сборы зообентоса в ноябре, декабре, марте и июле 2019–2021 г. в оз. Северный Волосо на станциях разной глубины (1, 4, 6, 8, 10, 15, 20 и 28 м). Пробы отбирали дночерпателем системы Боруцкого с площадью захвата 0.0225 м<sup>2</sup> (не менее трех дночерпателей на станции). Одновременно, на каждом метре глубины, измеряли температуру и концентрацию кислорода термооксиметром Hanna HI 9143. Прозрачность определяли по белому диску Секки.

Прозрачность воды колебалась от 5,5 м (март, июль) до 9,5 м в декабре. Температура воды и концентрация кислорода имела хорошо выраженную стратификацию только летом в июле месяце (рис. 1), в декабре и марте обратная термическая стратифицированность была слабо выражена, в ноябре наблюдалось полное перемешивание толщи воды. В ноябре температура воды по всей толще была 6,4 °С, декабрь – 0,2–2,1°С, март – 1,3–2,6 °С. Концентрация кислорода по всем глубинам в ноябре, декабре и марте была около 10,0 мг/л.

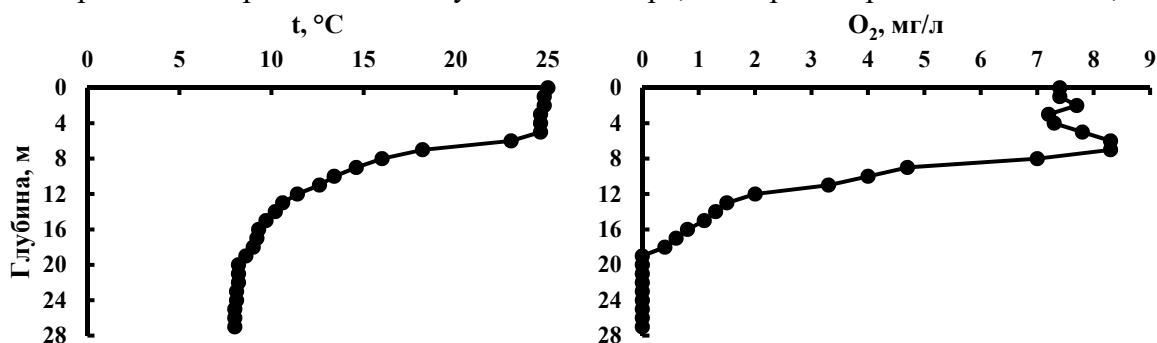


Рисунок 1 – Распределение температуры (слева) и концентрации кислорода (справа) по глубинам в оз. Северный Волосо в июле

В июле эпилимнион занимал верхний 5 м слой, термоклин заканчивался на глубине 15–16 м. В распределении кислорода по глубинам важно отметить металимнионный максимум, который располагался на глубине 7–8 м, полное отсутствие кислорода наблюдалось с глубины 19 м.

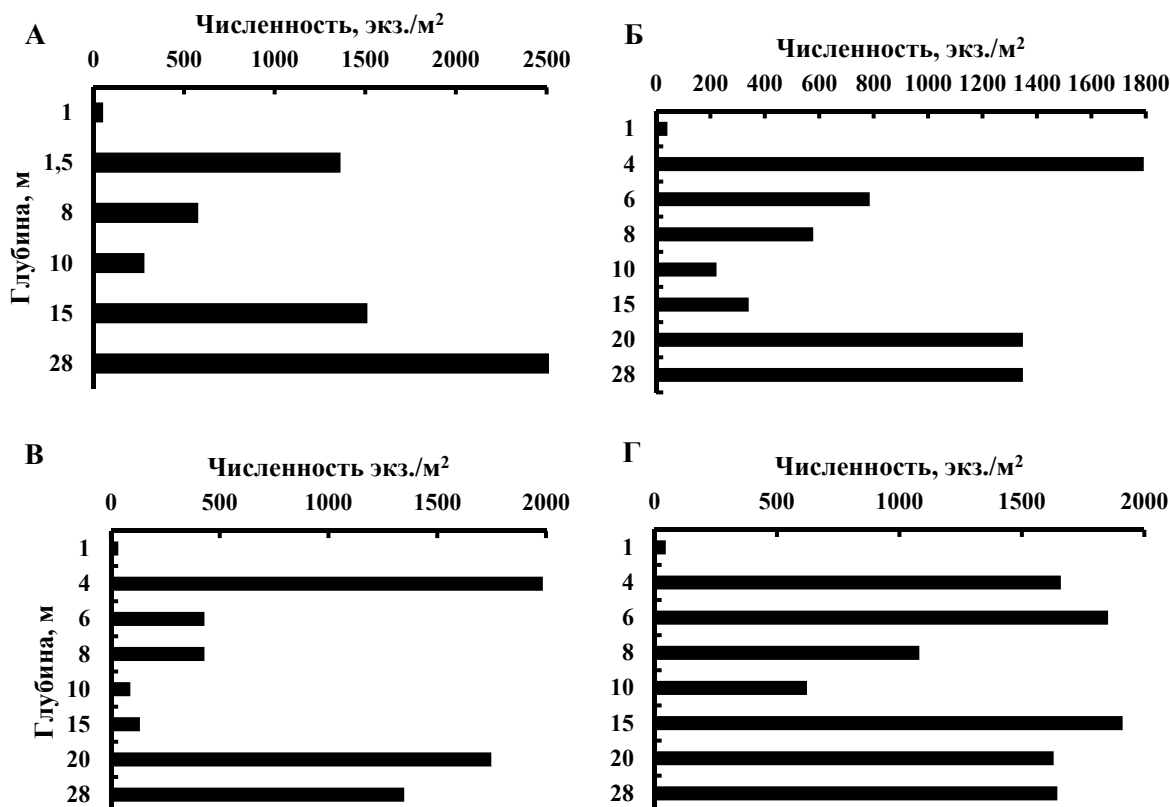


Рисунок 2 – Распределение численности зообентоса (без учета *Dreissena polymorpha* Pallas, 1771) в оз. Северный Волосо: А – ноябрь; Б – декабрь; В – март; Г – июль

Распределение численности по глубинам носит одинаковый характер в осенне-зимне-весенний период (рис. 2). Наблюдается увеличение численности зообентоса от прибрежья,



где фиксируются минимальные значения, до глубины 4 м (кроме ноября, где пробы на данной глубине не отбирались), где фиксируются максимальные значения. Максимум совпадает с зоной произрастания макрофитов и обусловлен как высокой численностью дрейссены, так и обильным развитием водяного ослика и личинок хирономиды *Microtendipes pedellus* (De Geer, 1776). После глубины 4 м идет резкое снижение численности до глубины 15 метров. В этом промежутке глубин встречаются только олигохеты и *Chironomus f.l. plumosus*. Увеличение численности зависит от обитания и обильного развития в профундальной зоне хаборид (*Chaoborus crystallinus*).

В летний период, пространственная структура отличается от ранее рассмотренных месяцев тем, что распределение численности «мягкого» бентоса имеет более выравненный характер. Однако, доминирующие таксоны не изменяются. Такая выравненность обусловлена развитием личинок *Chironomus f.l. plumosus*, обильное развитие которых начинается с глубины 10 м и сохраняется до максимальной глубины.

Полученные результаты подтверждают устоявшееся утверждение, что организмы зообентоса малоподвижны и не подвержены миграциям. Однако, в соседнем озере Южный Волос, нами было установлено, что движение хирономид последних возрастов, происходит в зимне-весенний период с максимальных глубин к зоне подводной растительности [7]. В связи с этим, этот аспект требует дальнейшего изучения.

Таким образом, в оз. Северный Волосо пространственное распределение численности сохраняется без значительных изменений в осенне-зимне-весенний период, и наблюдается выравнивание численности по глубинам в летний период. Доминирующими таксонами, без учета дрейссены, являются представители олигохет, хирономид (*Chironomus f.l. plumosus*) и хаборид (*Chaoborus crystallinus* (De Geer, 1776)).

*Работа выполнена с поддержкой грантов БРФФИ №Б23М-052.*

#### Список литературных источников

1. Смуров, А. В. Количественные методы оценки основных популяционных показателей: статистический и динамический аспекты / Смуров А. В., Полищук Л. В. – М. : Изд-во МГУ, 1989. – 208 с.
2. Greig-Smith, P. Quantitative plant ecology (3d edn.) / Greig-Smith P. – Oxford : Blackwell, 1983. – 359 p.
3. Гиляров, А. М. Популяционная экология / А. М. Гиляров. – М. : Изд-во МГУ, 1990. – 191 с.
4. Еремова, Н. Г. Сезонная динамика численности и биомассы зообентоса Нарочанских озер / Н. Г. Еремова, О. А. Орловская // Вестник Белорусского государственного университета. Серия 2. Химия. Биология. География. – 1997. – № 3. – С. 26–30.
5. Особенности биологической продуктивности экосистем озер Нарочь, Мястро, Баторин / Остапеня [и др.] // Продукционно-биологические исследования экосистем пресных вод / под ред. Г. Г. Винберга. – Минск, 1973. – С. 83–94.
6. Сезонные изменения численности и биомассы зоопланктона и зообентоса озер окрестностей г. Томска / Е. Н. Баскаева [и др.] // Концептуальные и прикладные аспекты научных исследований и образования в области зоологии беспозвоночных : сборник материалов IV Международной конференции, 26–28 октября 2015 г., г. Томск, Россия. – Томск, 2015. – С. 28–31.
7. Lapuka, I. I. Seasonal changes in the spatial structure of zoobenthos in lake Yuzhny Volos (Belarus) / I. I. Lapuka // Inland Water Biology. – 2022. – Vol. 15, № 6. – P. 866–874 ; Published in Biologiya Vnutrennykh Vod. – 2022. – № 6. – P. 766–774. – DOI: 10.1134/S1995082922060104.

## **Экологическая оценка альтернативных вариантов дезинфекции сооружений водоснабжения**

Поспелов А.В.<sup>1</sup>, Комаров М.А.<sup>1</sup>, Мацукевич И.В.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> БГТУ, г. Минск, Республика Беларусь, *takkom1995@gmail.com*

<sup>2</sup> ИОНХ НАН Беларуси, г. Минск, Республика Беларусь, *irinasvas.k1975@gmail.com*

**Резюме.** В работе представлены результаты сравнительного анализа воздействия на окружающую среду способов дезинфекции сооружений водоснабжения. В качестве сравниваемых вариантов рассматривали использование гипохлорита натрия, гипохлорита кальция, хлорной извести и озона. Показаны перспективы использования озонирования по показателям экологической эффективности.

### **Environmental assessment of alternative disinfection options for water supply facilities**

Pospelov A., Komarov M., Matsukevich I.

**Summary.** The work presents the results of a comparative analysis of the environmental impact of methods of disinfection of water supply facilities. As compared options considered the use of sodium hypochlorite, calcium hypochlorite, bleach and ozone. The prospects for the use of ozonation in terms of environmental efficiency are shown.

Одним из видов обеззараживания является дезинфекция, которая представляет собой комплекс мероприятий, направленных на уничтожение возбудителей инфекционных заболеваний и разрушение токсинов на поверхности объектов окружающей среды. Наибольшее распространение среди веществ для дезинфекции получили такие как хлор, хлорная известь, гипохлорит натрия и кальция, озон. Как было показано ранее, данные вещества могут использоваться для дезинфекции резервуаров, колодцев, фильтров систем водоподготовки и других функциональных поверхностей [1, 2]. С развитием генераторов озона они стали намного доступнее, потребляют в разы меньше энергии на выработку грамма озона, сырьем для генерации озона служит воздух, не требуется предварительная подготовка воздуха [3, 4]. Перспективным методом дезинфекции емкостей, резервуаров, трубопроводов питьевого водоснабжения, помимо хлорирования, является применение озона [5, 6, 7, 8]. Так на территории Европы и США действуют более 1200 водопроводных станций [9], применяющих озонирование как составляющую ступень в технологическом процессе очистки воды.

Недостатками способов хлорирования являются: недостаточная эффективность дезинфекции, образование высокотоксичных хлорорганических соединений, высокие дозы используемого активного хлора, высокая токсичность самого хлора и многих хлорсодержащих агентов, высокая коррозионная активность раствора, длительность времени обработки и соответственно времени простоя скважины, а также необходимость в дехлорировании растворов, с помощью которых производили обработку. Использование озона приводит к упрощению процесса, повышению эффективности дезинфекции, снижению времени обработки и соответственно времени простоя сооружений, меньшему коррозионному воздействию на металлические части скважины, а также можно отметить его экологическую безопасность. Применение озона для дезинфекции устраняет необходимость обезвреживания раствора после использования, как дехлорирование, поскольку озон распадается на кислород в воде в течение небольшого периода времени, обычно меньше, чем за 1 ч. В ряде работ показано, что, несмотря на то, что озон является более сильным окислителем в сравнении с гипохлоритами, он оказывает в 3–4 раза меньшее коррозионное воздействие на материалы как в низких концентрациях (50–250 мг/л), так и при высоких (2 мас. %), за счет значительного меньшего времени воздействия, требующегося для достижения требуемого эффекта дезинфекции [10, 11, 12, 13, 14, 15].

Некоторые аспекты воздействия процесса дезинфекции сооружений водоснабжения на окружающую среду раскрыты в [16, 17].

Целью данной работы является применение методологии оценки воздействия на окружающую среду на этапах жизненного цикла для комплексного анализа и выбора наилучшего варианта дезинфекции водозаборных скважин и сооружений водоснабжения.

Для оценки и сравнения альтернативных вариантов дезинфекции водозаборных скважин и сооружений водоснабжения проводился анализ воздействия на окружающую среду на этапах жизненного цикла рассматриваемых технологий, включающая стадии от добычи сырья до утилизации отработанных растворов. В качестве возможных способов дезинфекции в работе рассмотрено применение таких дезинфицирующих веществ как гипохлорит кальция, гипохлорит натрия, хлорная известь и озон (его насыщенный раствор в воде). В качестве функциональной единицы выбран объем дезинфицирующего раствора в количестве 1 м<sup>3</sup>. Воздействие на окружающую среду происходит на всех этапах. Для оценки жизненного цикла процесса дезинфекции водозаборных скважин и сооружений водоснабжения применялся программный продукт SimaPro 804 включающий метод исследования IMPACT 2002+ V2.12 / IMPACT 2002+. Для сравнительного анализа оценку проводили по 10 различным методикам, включенным в программный продукт SimaPro 804.

Как следует из результатов проведенного инвентаризационного анализа, рассмотренные варианты применения различных веществ для дезинфекции водозаборных скважин и сооружений водоснабжения характеризуются такими экологическими аспектами, как потребление сырьевых материалов и энергии, а также выбросы загрязняющих веществ в атмосферный воздух, сбросы сточных вод в водные объекты или в местную сеть канализации, образование отходов. Согласно этапам оценки воздействия жизненного цикла по имеющимся входным и выходным потокам установлены категории воздействия. На основании данных инвентаризационного анализа проводится оценка значимости потенциальных воздействий исследуемой системы на окружающую среду.

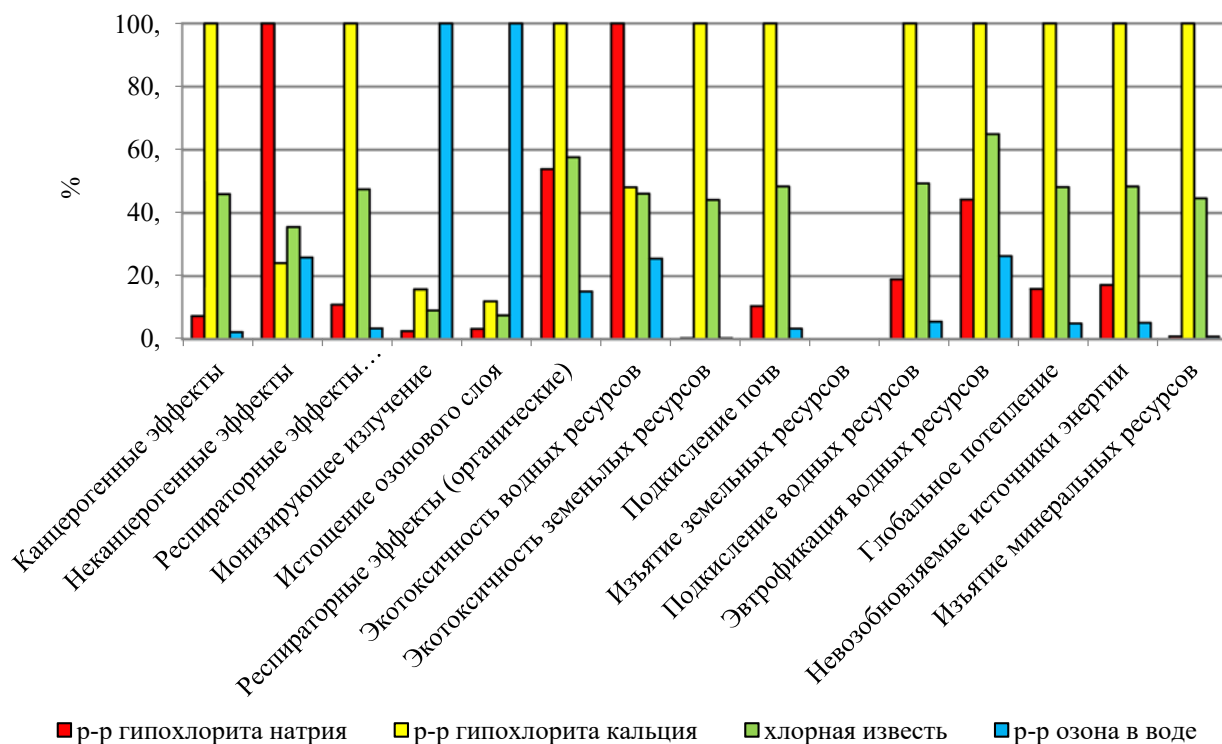


Рисунок – Результаты оценки применения различных дезинфицирующих веществ по категориям воздействия

Из рисунка видно, что наиболее небезопасным хлор содержащим дезинфицирующим веществом для окружающей среды и человека является использование гипохлорита кальция, однако применение насыщенного раствора озона вызывает истощение озонового слоя и является источником ионизирующего излучения.

Применение методики оценки жизненного цикла для сравнения применения различных веществ для дезинфекции водозаборных скважин и сооружений водоснабжения показало (рисунок), что наименьшее значение такого интегрирующего показателя как экоиндикатор, соответствует варианту применения раствора озона в воде. Кроме того, необходимо отметить, что из вариантов применения хлор содержащих веществ наилучшей характеристикой обладает гипохлорит натрия.

Оценка жизненного цикла позволила определить количественные экологические показатели различных дезинфицирующих веществ, включая стадии их производства, приготовление реагента и непосредственно процесса дезинфекции. На основании оценки жизненного цикла можно предсказать возможные последствия по таким категориям воздействия, как здоровье человека, состояние экосистем, а также истощение природных ресурсов, а также обосновать выбор наилучшей технологии при сравнении альтернативных вариантов.

Среди рассмотренных вариантов наиболее эффективным из хлорсодержащих реагентов является использование гипохлорита натрия. Однако если сравнивать хлорсодержащие реагенты с озоном, то технологии дезинфекции с использованием последнего являются наиболее эффективными.

Работа выполнена при поддержке ГПНИ «Химические процессы, реагенты и технологии, биорегуляторы и биооргхимия», задания 2.1.02 «Сорбционные, каталитические и мембранные материалы для водоочистки и водоподготовки», НИР 5 «Физико-химические основы коррозии материалов в дезинфицирующих средах и разработка экологичных и высокоэффективных способов дезинфекции» (2021–2023 гг.).

#### Список литературных источников

1. Дезинфекция озоном водозаборных скважин и трубопроводов систем питьевого водоснабжения / В. И. Романовский [и др.] // Труды БГТУ. – 2013. – № 3 (159) : Химия и технология неорганич. в-в. – С. 55–60.
2. Ozone disinfection of water intake wells and pipelines of drinking water supply systems / V. I. Ramanouski [et al.] // Proceedings of BSTU. Chemistry and technology of inorganic substances. – 2013. – № 3. – P. 51–56.
3. Hurynovich, A. D. Analiza efektywności kaskadowego generatora ozonu / A. D. Hurynovich, V. I. Romanovski, P. Wawrzeniuk // *Economia i środowisko*. – 2013. – № 1 (44). – S. 156–164.
4. Исследование технических характеристик турбоозонатора с высокочастотным резонансным электроионизационным генератором озона / В. И. Романовский [и др.] // *Водоочистка*. – 2014. – № 3. – С. 66–69.
5. Романовский, В. И. Эффективность использования озона в технологии водоподготовки / В. И. Романовский, А. Д. Гуринович, П. Вавженюк // *Водоочистка*. – 2014. – № 2. – С. 66–70.
6. Анализ эффективности дезинфекции сооружений питьевого водоснабжения с использованием хлорсодержащих дезинфицирующих средств и озона / Романовский В. И. [и др.] // *Вестник БрГТУ. Водохозяйственное строительство, теплоэнергетика и геоэкология*. – 2015. – № 2 (92). – С. 68–71.
7. Определение основных параметров дезинфекции и обеззараживания озоном сооружений питьевого водоснабжения / В. И. Романовский [и др.] // *Труды БГТУ*. – 2015 – № 3 (176) : Химия и технология неорганич. в-в. – С. 108–112.
8. Гуринович, А. Д. Эффективность дезинфекции озоном сооружений систем водоснабжения / А. Д. Гуринович, В. И. Романовский, Ю. Н. Бессонова // *Водоочистка. Водоподготовка. Водоснабжение*. – 2016. – № 10. – С. 48–51.
9. Sonntag Clemens. Chemistry of Ozone in Water and Wastewater Treatment: From Basic Principles to Application / Sonntag Clemens, Urs von Gunten. – London : IWA Publishing, 2012. – P. 287.

10. Коррозионные аспекты использования растворов гипохлоритов и озона для дезинфекции сооружений водоснабжения / В. И. Романовский [и др.] // *Вода magazine*. – 2018. – № 9 (133). – С. 38–41.
11. Romanovski, V. Comparison of different surface disinfection treatments of drinking water facilities from a corrosion and environmental perspective / Romanovski V., Claesson P. M., Hedberg Y. S. // *Environmental Science and Pollution Research*. – 2020. – № 27 (11). – P. 12704–12716.
12. Романовский, В. И. Сравнительный анализ коррозионной устойчивости углеродистых сталей к дезинфицирующим растворам электрохимическим методом / Романовский В. И., Жилинский В. В., Бессонова Ю. Н. // *Вестник БрГТУ. Водохозяйственное строительство, теплоэнергетика и геоэкология*. – 2016. – № 2 (98). – С. 126–129.
13. Романовский, В. И. Коррозионная устойчивость углеродистых сталей к дезинфицирующим растворам / В. И. Романовский, Ю. Н. Чайка // *Труды БГТУ*. – 2014. – № 3 (167) : Химия и технология неорган. в-в. – С. 47–50.
14. Romanovski, V. I. Carbon steels corrosion resistance to disinfectants / V. I. Ramanouski, Yu. N. Chaika // *Proceedings of BSTU. Chemistry and technology of inorganic substances*. – 2014. – № 3. – P. 40–43.
15. Романовский, В. И. Коррозионная устойчивость стали 15 к дезинфицирующим растворам / В. И. Романовский, В. В. Жилинский // *Труды БГТУ*. – 2015. – № 3 (176) : Химия и технология неорган. в-в. – С. 29–34.
16. Романовский, В. И. Сравнительный анализ способов дезинфекции водозаборных скважин и сооружений водоснабжения / В. И. Романовский, Ю. Н. Бессонова // *Перспективы развития и организационно-экономические проблемы управления производством : мат. Междунар. научно-технической конференции : в 2 т. / Белорусский национальный технический университет*. – Минск : Право и экономика, 2015. – Т. 1. – С. 211–226.
17. Рымовская, М. В. Воздействие отработанных растворов дезинфекции сооружений водоснабжения на почву / М. В. Рымовская, В. И. Романовский // *Труды БГТУ*. – 2016. – № 4 (186) : Химия и технология орган. в-в. – С. 214–219.

**Вопросы использования водных ресурсов трансграничных рек  
в современных геополитических реалиях (на примере р. Нарва)**

Толмачева С.А.

*РГПУ им. А.И. Герцена, Санкт-Петербург, Россия, s-a-tolmacheva@yandex.ru*

**Резюме.** Дефицит пресной воды в засушливых регионах, изменение климата и напряженная геополитическая обстановка приводят к конфликтам водопользования. В частности, последние международные события обусловили обострение отношений по вопросам использования водных ресурсов трансграничной реки Нарва. Несовершенство международного права в области водопользования определяет актуальность пересмотра существующей системы.

**Issues of the use of water resources of transboundary rivers in modern geopolitical realities  
(on the example of the Narva River)**

Tolmacheva S.

**Summary.** The shortage of fresh water in arid regions, climate change and the tense geopolitical situation lead to conflicts of water use. In particular, recent international events have led to an aggravation of relations on the use of water resources of the transboundary Narva River. The imperfection of international law in the field of water use determines the relevance of the revision of the existing system.

Одна из актуальных проблем водопользования в мире – нехватка пресной воды в засушливых регионах и совместное использование водных ресурсов трансграничных водотоков. Ситуация усугубляется периодическим обострением геополитической

обстановки и изменением, в основном, уменьшением водности, связанной с изменением климата. При этом помимо того, что реки и озера являются основным источником пресной воды, используемой для промышленных, хозяйственных, сельскохозяйственных и питьевых нужд, эти водные объекты используются как приемник коммунально-бытовых и промышленных сточных вод. Принимая во внимание увеличение населения планеты, рост мировой экономики и, как следствие, количества предприятий, объемы водопользования также увеличиваются.

Известно, что проблемы водопользования трансграничных водных объектов значительно обостряется в случае политических и экономических противоречий между странами. И, несмотря на внушительное количество принятых международным сообществом соглашений по использованию трансграничных водотоков, универсальный международный-правовой акт, систематизирующий основные принципы и нормы поведения государств в этой области международных отношений появился относительно недавно. Первая попытка составить полноценный международный правовой акт в этой области была предпринята в середине 1960-х гг. Ассоциацией международного права (профессиональной неправительственной международной организацией). Затем, по результатам анализа международных соглашений и судебной практики в 1996 году Ассоциация приняла «Правила пользования водами международных рек» (известные также как Хельсинские правила).

Основная цель Хельсинкских правил – контроль использования и охрана вод «международного водосборного бассейна». В документе описаны нормы, которые обязаны исполнять государства, на территориях которых располагаются подобные объекты. При этом, несмотря на формально рекомендательный характер правил, их с уверенностью можно считать не менее значимыми, чем прочие принятые нормы международного права. Именно Хельсинские правила послужили основой второго значимого документа для международного водопользования: Конвенции ООН о несудоходном использовании международных водотоков (1997). Среди прочего, в Конвенции указано, что государство, имеющее часть трансграничного водотока на своей территории, не может наносить «значительный ущерб» другим странам, и сотрудничество в его освоении должно строиться «справедливым и разумным образом». К прочим значимым для этой области международного права документам можно отнести «Конвенцию по оценке воздействия на окружающую среду в трансграничном контексте» (1991 г.), «Конвенцию по охране и использованию трансграничных водотоков и международных озер» (1993 г.), а также «Глобальную программу ООН по воде» [3].

Однако говорить про исчерпывающее регулирование использованием трансграничных водотоков существующими международными соглашениями на текущий момент всё ещё преждевременно. Одним из показательных примеров подобного является сложившаяся ситуация с трансграничной рекой Нарвой [2].

Нарва – одна из крупнейших рек, впадающих в Балтийское море, по ней проходит государственная граница России и Эстонии. Нарва берёт начало в северо-восточной оконечности Чудского озера и впадает в Финский залив Балтийского моря. По гидрографическим описаниям длина р. Нарва составляет 77 км. Средний расход воды в устье 400 м<sup>3</sup>/с, средний годовой сток составляет 12,5 км<sup>3</sup>. Питание реки – смешанное с преобладанием снегового (большую часть воды приносит Чудское озеро). Основными притоками Нарвы являются реки Плюсса и Россонь [2].

После распада СССР возникли практически неизбежные трудности, связанные с этим трансграничным водотоком. Основными предметами разногласия между российской и эстонской сторонами являются такие вопросы качества воды, рыбный промысел, места миграции угрей и ситуация с Нарвской ГЭС [2].

Отсутствие единых критериев оценки степени загрязнённости традиционно считается осложняющим фактором международного сотрудничества в сфере охраны трансграничных водотоков. И несмотря на регулярный мониторинг качества воды обоими государствами и

оценку общего состояния реки как слабо загрязнённую, разногласия по этому вопросу регулярно возникают. Преимущественно их причиной является активное сельскохозяйственная освоенность водосбора реки Нарвы.

Не менее важным аспектом взаимодействия России и Эстонии по поводу этого трансграничного водотока является рыбный промысел. Построенная в середине XX века плотина на реке Нарва поставила под угрозу популяции угря, атлантического лосося и некоторых других видов промысловых рыб. Для решения этой проблемы был построен Нарвский рыбоводный завод, но созданный на Нарвской ГЭС угреход не функционирует в течении многих лет. Констатируется существенное снижение численности этой рыбы в нагульные водоёмы как в России, так и в Эстонии. По этой проблеме было проведено немало форумов и конференций с участием обеих стран, заключена договорённость обмена гидрологическими данными, однако тема по-прежнему не теряет актуальности [4].

Также одним из обсуждаемых вопросов является осушение части русла Нарвы. Дамба, построенная на реке, разделяет её на три части, что в итоге привело к осушению русла на эстонской части [1]. Конкретно по этой проблеме решение, которое устраивало бы обе стороны, найти не удаётся и на сегодняшний день (эксперты связывают это с различными как экономическими, так и историко-правовыми причинами; не меньшую роль играет и международная обстановка).

И самым острым кризисным вопросом в отношении реки Нарва на сегодняшний день является ситуация с Нарвской ГЭС. В настоящее время, в связи с обострением международной обстановки перед Эстонией в очередной раз встал риск серьёзного удара по энергетике страны в случае принятия Россией решения о спуске воды из Нарвского водохранилища в Балтийское море. Фактически, система охлаждения местных электростанций напрямую зависит от решений российской стороны об открытии или закрытии шлюзов [5]. Ситуацию усугубляет политика Эстонии в отношении территориальных вод Финского залива (речь идёт о ведении «прилежащей зоны», в результате чего российские военные и гражданские корабли могут фактически оказаться без возможности выхода в Балтийское море из-за географических особенностей Финского залива и узкой судоходной зоны).

В условиях крайне напряженной геополитической обстановки практически прекращено сотрудничество с эстонскими коллегами по вопросу рационального водопользования, некоторые незначительные объекты гражданского водопользования подвергаются разрушению, заморожен диалог по режиму функционированию Нарвской ГЭС.

Таким образом, можно констатировать неэффективности действующих международных норм в области водопользования трансграничных водотоков. Подобные разногласия не только приводят к нагнетению противоречий между соседствующими государствами, но и могут привести к проблемам качества воды самого водотока. В условиях взаимного несоблюдения договорённостей, контроль мирного водопользования фактически не представляется возможным. Это подтверждается рассмотренным примером реки Нарва: продуктивное сотрудничество в области взаимных интересов (улучшение качества воды, рыбный промысел) серьёзно осложнено политическими разногласиями, а эффективного международного механизма по разрешению споров относительно использования вод трансграничных рек фактически не существует. Для решения подобных разногласий требуется желание и готовность государств, использующих ресурсы трансграничных рек к конструктивным переговорам, что, очевидно, не может быть осуществлено в случае острых политических разногласий. Единственным вариантом решения проблемы будет обновление существующей системы международного права в области использования трансграничных водотоков. При этом следует учесть следующие положения:

– геополитическая обстановка не должна оказывать влияние на мирное водопользование;

- условия эксплуатации трансграничных водотоков не должны быть предметами торговли и не должны восприниматься таковыми зависимыми сторонами;
- принятые правовые акты должны быть гарантом экологического благополучия водных объектов с учётом актуальных потребностей населения.

#### Список литературных источников

1. Родзевич, Н. Н. Региональные конфликты водопользования / Родзевич Н. Н. // География. – 2009. – № 3. – С. 30–36.
2. Фрумин, Г. Т. Динамика качества вод трансграничной реки Нарва / Фрумин Г. Т., Фетисова Ю. А. // Общество. Среда. Развитие. – 2017. – № 1. – С. 85–87.
3. Шалгымбаева, А. С. Международно-правовое регулирование трансграничных водных ресурсов / Шалгымбаева А. С. // Вестник КазНУ. Серия международные отношения и международное право. – 2011. – № 3 (41). – С. 58–63.
4. <https://eadaaily.com/ru/news/2017/06/24/estoncy-i-rossiyane-obsudili-migraciyu-ugrya-v-rayone-narvskoy-ges>.
5. <https://regnum.ru/news/polit/3772975.html>.

### **Ранжирование отдельных регионов Республики Беларусь по результатам рейтинга экологического развития за 2021 год**

Цубленок Д.В., Громадская Е.И., Водейко М.В.

*Республиканское унитарное предприятие «Центральный научно-исследовательский институт комплексного использования водных ресурсов»,  
г. Минск, Республика Беларусь, [opr@criciwr.by](mailto:opr@criciwr.by)*

**Резюме.** Расчет рейтинга экологического развития регионов Республики Беларусь обусловлен необходимостью комплексной оценки экологического состояния отдельных регионов Республики Беларусь для реализации государственной политики страны в области устойчивого развития и повышения качества окружающей среды.

### **Ranking of individual regions of the Republic of Belarus based on the results of the environmental development rating for 2021**

Tsublenok D., Hramadskaya E., Vodeiko M.

**Summary.** The calculation of the rating of the ecological development of the regions of the Republic of Belarus is conditioned by the need for a comprehensive assessment of the ecological state of individual regions of the Republic of Belarus for the implementation of the country's state policy in the field of sustainable development and environmental quality improvement.

Рейтинг экологического развития регионов служит информационной основой для принятия экологически значимых решений по совершенствованию экологической политики, механизмов регулирования природопользования и охраны окружающей среды, контроля за соблюдением природоохранного законодательства, оценки эффективности принимаемых мер по охране окружающей среды, разработки региональных программ, а также научно-технических разработок, направленных на обеспечение экологической безопасности и устойчивого природопользования [1].

Наиболее важными задачами проведения работ по составлению экологического рейтинга развития регионов Республики Беларусь являются проведение оценки экологического состояния отдельных регионов и их последующее ранжирование по комплексу показателей с целью выявления и определения значимости отдельных экологических проблем на рассматриваемой территории для последующего планирования, разработки и реализации мероприятий по улучшению экологического состояния территории и ее устойчивому функционированию.



В Беларуси экорейтинг введен впервые в 2021 году РУП «ЦНИИКИВР». В 2022 году проведен расчёт и составление экологического рейтинга за 2021 год в разрезе областных центров и города Минска, а также Брестского, Витебского, Гомельского, Гродненского, Минского и Могилевского районов на основании данных статистики, предоставленных в 2022 году за предыдущий год.

Показатели экологического развития регионов, согласно техническому кодексу установившейся практики ТКП 17.02-19-2021 (33140) «Охрана окружающей среды и природопользование. Рейтинг экологического развития регионов Республики Беларусь. Технические требования», утвержденному и введенному в действие постановлением Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь от 27 апреля 2021 г. № 5-Т (далее – ТКП 17.02-19-2021 (33140)), затрагивают вопросы охраны окружающей среды и рационального использования природных ресурсов. Проведение рейтинговой оценки и представление ее результатов в виде информационных материалов способствует повышению качества экологической информации и информированности населения о состоянии окружающей среды в конкретном регионе [2].

На основании результатов экологического рейтинга осуществляется координация на региональном уровне деятельности субъектов, вовлеченных в управление окружающей средой, и развивается система экологических показателей на территориальном уровне.

Расчет рейтинга экологического развития отдельных регионов Республики Беларусь проведен, согласно ТКП 17.02-19-2021, на основании исходных данных, сформированных в соответствии с национальным законодательством в области использования природных ресурсов и охраны окружающей среды, с учетом международных подходов по оценке экологического состояния окружающей среды и ее отдельных компонентов.

Рейтинг экологического развития регионов Республики Беларусь представляет собой метод количественной оценки и сравнительного анализа показателей экологического развития отдельных административно-территориальных единиц Республики Беларусь: 118 районов и 6 городов областного подчинения [2].

В 2022 году рейтинг экологического развития регионов рассчитан для областных центров, г. Минска, Брестского, Витебского, Гомельского, Гродненского, Минского и Могилевского районов [3].

Рейтинг экологического развития областных центров и г. Минска, а также Брестского, Витебского, Гомельского, Гродненского, Минского и Могилевского районов за 2021 год составлен на основе ранжирования и сопоставления 32 показателей для городов и 37 показателей для районов.

По каждому показателю район или город получает баллы, количество которых определяется положением данного района (города) среди других районов (городов) с присвоением баллов от 0 до 100, где 100 баллов характеризует район или город как абсолютного лидера по показателю, а 0 баллов – как абсолютного аутсайдера [2].

Методология экологического рейтинга позволяет ранжировать города и районы Республики Беларусь по показателям в 3-х категориях, каждая из которых имеет свой относительный вес (вклад) в итоговый рейтинг района:

- текущее состояние и использование компонентов окружающей среды – 30 %;
- воздействие основных видов экономической деятельности на окружающую среду – 30 %;
- управление воздействием на окружающую среду и эффективность экологической политики – 40 % [1].

Для визуализации распределения баллов на рисунках используется градиентная цветовая заливка: наиболее высокие баллы по показателю отражаются насыщенным зеленым цветом, переходящим в светло-зеленый и белый, с последующим переходом на светло-красный цвет и его насыщением, характеризующим наиболее низкий балл [2].

Результат составления рейтинга экологического развития городов и районов за 2021 год получен путем суммирования баллов по всем показателям каждой группы в

пределах 3-х категорий, а именно, «Текущее состояние и использование компонентов окружающей среды», «Воздействие основных видов экономической деятельности на окружающую среду» и «Управление воздействием на окружающую среду и эффективность экологической политики».

Итоговый результат расчёта рейтинга экологического развития регионов за 2021 год с распределением мест ранжирует областные центры и г. Минск, Брестский, Витебский, Гомельский, Гродненский, Минский и Могилевский районы в следующей последовательности (от лучшего к худшему):

в разрезе городов: Брест, Могилев, Минск, Гродно, Витебск, Гомель (рис. 1);

в разрезе районов: Могилевский, Брестский, Гомельский, Витебский, Гродненский, Минский (рис. 2).

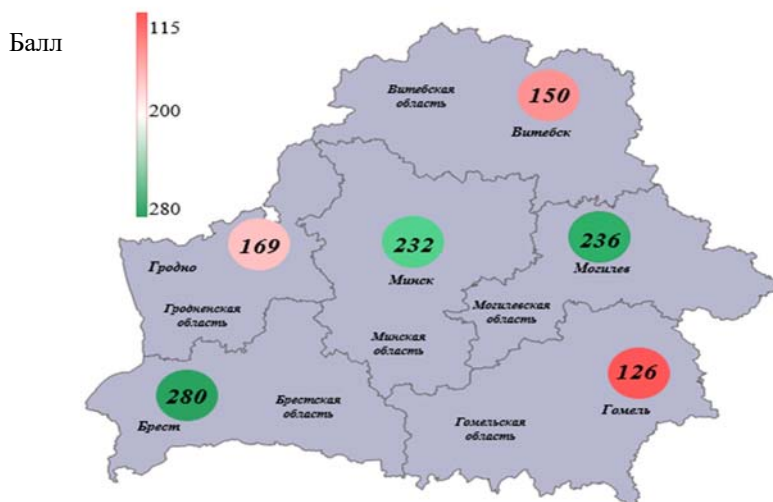


Рисунок 1 – Итоговые баллы рейтинга экологического развития городов Беларуси за 2021 год [3]

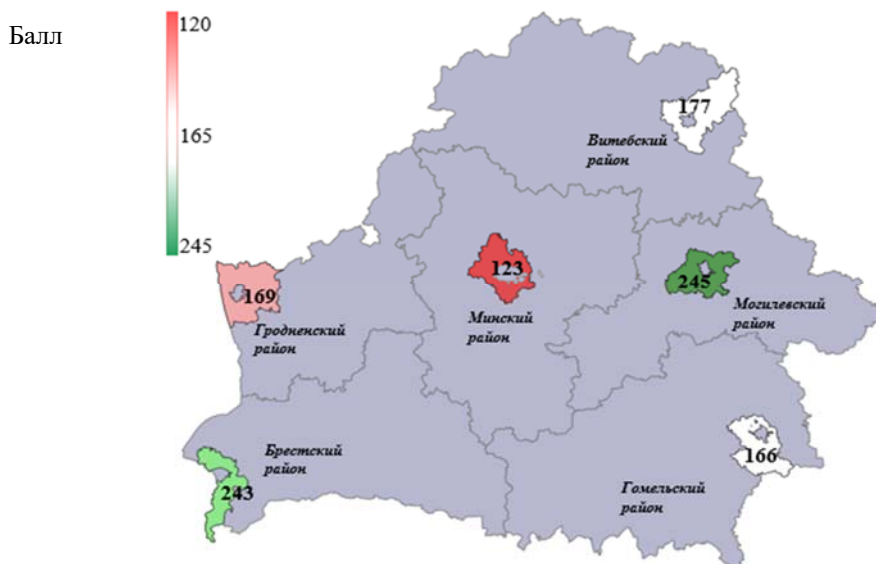


Рисунок 2 – Итоговые баллы рейтинга экологического развития районов Беларуси за 2021 год [3]

Согласно результатам расчета рейтинга за 2020 год максимальное количество баллов в 2020 году составляло 283, что соответствовало 1 месту и г. Гродно [4]. В 2021 году максимальный балл (1 место) находится на уровне 280. В 2021 году г. Брест улучшил свое положение в рейтинге и занял 1 место.

Минимальное количество баллов в 2020 году – 100 (г. Витебск) [4]. Минимальное количество баллов в 2021 году – 126 (г. Гомель). В 2021 году г. Витебск улучшил результат, переместившись с 6 места на 5 с количеством баллов 150 (рис. 3).

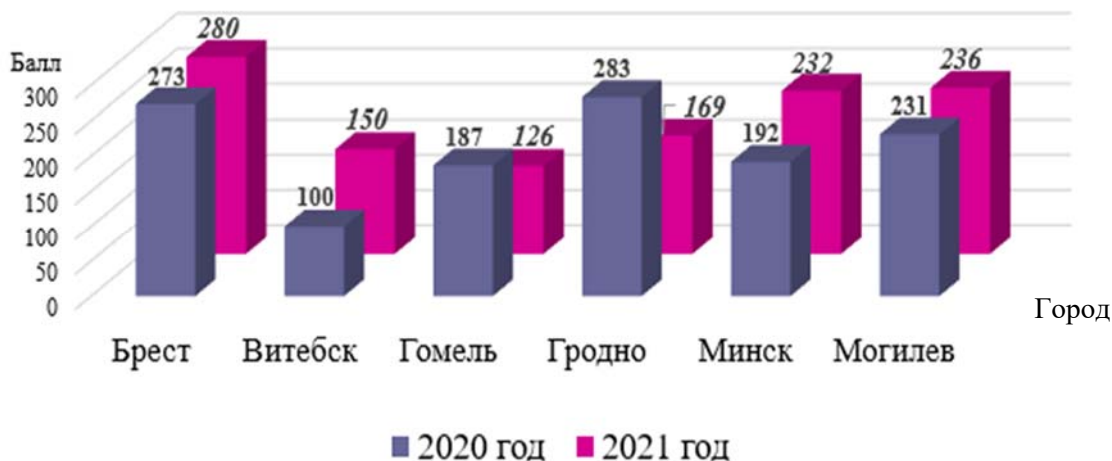


Рисунок 3 – Распределение итоговых баллов рейтинга экологического развития городов по категориям за 2020 и 2021 годы [3]

Расчет рейтинга экологического развития районов за 2021 год проведен впервые. В 2021 году 1 место с количеством баллов 245 занял Могилевский район. Наименьшее количество баллов 123 – Минский район.

На основе анализа статистических данных за 2021 год и результатов расчета рейтинга экологического развития регионов разработан комплекс мероприятий, направленных на снижение антропогенной нагрузки на компоненты окружающей среды.

#### Список литературных источников

1. Дубенок, С. А. Журнал Белорусского государственного университета. Экология / С. А. Дубенок, А. Ю. Кулаков, Т. П. Конончук. // Методология разработки и формирования рейтинга экологического развития регионов Республики Беларусь. – 2022. – № 1. – С. 14–24. – DOI:10.46646/2521-683X/2022-1-14-24.
2. Охрана окружающей среды и природопользование. Рейтинг экологического развития регионов Республики Беларусь. Технические требования = Ахова навакольнага асяроддзя і прыродакарыстанне. Рэйтынг экалагічнага развіцця рэгіёнаў Рэспублікі Беларусь. Тэхнічныя патрабаванні. ТКП 17.02-19-2021 (33140) : введен в действие постановлением Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь от 27 апреля 2021 г. № 5-Т. – Минск, 2021. – 40 с.
3. Громадская, Е. И. Состояние природной среды Беларуси / Е. И. Громадская, Д. В. Баканова, М. В. Водейко. – Минск : РУП «ЦНИИКИВР», 2022. – 147 с.
4. Громадская, Е. И. Состояние природной среды Беларуси / Е. И. Громадская, С. А. Дубенок, С. В. Сушко. – Минск : РУП «ЦНИИКИВР», 2021. – 150 с.

Научное издание

СБОРНИК МАТЕРИАЛОВ  
МЕЖДУНАРОДНОЙ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ  
«АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ЭФФЕКТИВНОГО И КОМПЛЕКСНОГО  
ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ», ПРИУРОЧЕННОЙ  
КО ВСЕМИРНОМУ ДНЮ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ

22–24 марта 2023 года, г. Минск

Ответственный редактор О. В. Ковзунова  
Технический редактор В. Д. Бладыко  
Корректоры Т. Н. Белохвостова, Т. Н. Булатова

Подписано в печать 15.05.2023. Формат 60x84<sup>1/8</sup>. Цифровая печать.  
Гарнитура Таймс. Усл. печ. л. 26,97. Уч.-изд. л. 24,39.  
Тираж 10 экз. Заказ 1197.

Издатель и полиграфическое исполнение:  
государственное учреждение «Национальная библиотека Беларуси».

Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,  
распространителя печатных изданий № 1/398 от 02.07.2014.  
Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,  
распространителя печатных изданий № 2/157 от 02.07.2014.

Пр. Независимости, 116, 220114, Минск.  
Тел. (+375 17) 293 27 68. Факс (+375 17) 266 37 23. E-mail: edit@nlb.by.