







Научная статья

ОЦЕНКА ГИДРОЛОГИЧЕСКОГО РЕЖИМА ВОДОХРАНИЛИЩА СВЕТЛОГОРСКОЕ

Александр А. Волчек  д.г.н., Сергей И. Парфомук  к.т.н., Светлана В. Сидак ,
Николай Н. Шешко  к.т.н., Наталья Н. Шпендик к.г.н.

Брестский государственный технический университет, г. Брест, Беларусь, volchak@tut.by (ААВ), parfom@mail.ru (СИП), harchik-sveta@mail.ru (СВС), optimum@tut.by (ННШ), shpendik@tut.by (ННШ)

*Автор корреспонденции: Александр А. Волчек, volchak@tut.by

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

водохранилище, водохозяйственный баланс, водопользование, сток, экологический сток, допустимое изъятие, климатические изменения, прогноз

АБСТРАКТ

Выполнена комплексная оценка водных ресурсов рек Березины и Сведи в створах проектируемого водозабора для обоснования реконструкции Светлогорского наливного водохранилища. На основе многолетних гидрологических наблюдений и региональных расчетных методов определены основные статистические характеристики стока, его внутригодовое распределение и экологически допустимые объемы изъятия. С использованием метода переноса обеспеченностей получены уточненные значения экологического стока для рек Березина и Сведь. Разработан водохозяйственный баланс водохранилища для двух расчетных уровней обеспеченности (75 % и 90 %). Критерием допустимого изъятия принята разность между стоком расчетной обеспеченности и величиной экологического стока, определенного методом переноса обеспеченностей. Общий объем забора из р. Березина составил 37 720 тыс. м³, из р. Сведь – 3 673,7 тыс. м³, что соответствует снижению годового стока на 1,0 % и 8,3 % соответственно. Проанализированы многолетние изменения климата и стока в бассейне Березины за 1961...2018 гг., выявлены статистически значимые тренды: повышение зимнего стока (11...21 %), снижение стока весеннего половодья (30...40 %). На основе сценариев МГЭИК выполнен прогноз изменения стока до 2035 г., показавший возможное сокращение весеннего и летне-осеннего стока. Предложены направления совершенствования мониторинга и адаптивного управления водными ресурсами водохранилища.

По статье:

Получено: 17.12.2025

Пересмотрено: 20.03.2026

Принято: 30.03.2026

Опубликовано: 01.04.2026

Для цитирования:

Волчек А., Парфомук С., Сидак С., Шешко Н., Шпендик Н. Оценка гидрологического режима водохранилища Светлогорское // Гидрометеорология и экология, 121 (1), 2026, 43-59.

1. ВВЕДЕНИЕ

Современное потепление климата сопровождается повышением частоты и продолжительности засушливых периодов [1...2], что усиливает потребность в дополнительном увлажнении сельскохозяйственных земель. Одним из эффективных решений в данных условиях является создание или реконструкция водохранилищ, позволяющих накапливать воду в многоводные периоды и использовать ее в межень [3] на увлажнение сельскохозяйственных культур. Однако равнинный рельеф Беларуси ограничивает возможности строительства крупных водоемов, поэтому особое значение приобретает оптимизация режима существующих водохранилищ [4...5].

Светлогорское наливное водохранилище площадью 14,4 км² и полным объемом 64,43 млн м³ расположено в 11 км от г. Светлогорск. Основным назначением являлось орошение сельскохозяйственных культур на площади 49,8 тыс. га, рыбоводства и рекреации, однако по причине не завершенности строительства и последующего разрушения насосной системы с 90-х годов прошлого века находится в неудовлетворительном состоянии: ложе заросло древесно-кустарниковой растительностью на 50...60%, пополнение осуществляется за счет атмосферных осадков и грунтовых вод, а проектные параметры не достигнуты. В связи с планируемой реконструкцией водохранилища возникла необ-

ходимость в уточнении его водохозяйственного баланса с учетом современных гидрологических условий и климатических тенденций. Состав сооружений водохранилища входят: ограждающая дамба, водоподводящие и ловчие каналы, насосные станции, водовыпуски из водохранилища, водоотводящий канал [6].

В мировой практике концепция экологического стока (environmental flow) прошла путь от оценки минимальных расходов до признания необходимости сохранения всего естественного гидрографа как механизма поддержания биоразнообразия и экосистемных услуг [7...8]. Современные публикации [9...11] подчеркивают, что успешная реализация экологических попусков требует формализованных критериев, учитывающих внутригодовую изменчивость, и адаптивного управления в условиях меняющегося климата. В Беларуси нормативный подход (75 % от минимального месячного стока 95 % обеспеченности) не отражает сезонную динамику и может недооценивать реальные потребности водных экосистем.

Цель настоящей работы – комплексная оценка гидрологического режима и разработка научно обоснованного водохозяйственного баланса Светлогорского водохранилища, позволяющего определить допустимые объемы изъятия воды из рек Березина и Сведь, обеспечивающие минимальное воздействие на их естественный режим, с учетом экологических ограничений и прогнозируемых климатических изменений.

Научная новизна заключается в применении метода переноса обеспеченностей для расчета экологического стока и обоснования формализованного критерия допустимого изъятия, что позволяет более объективно, по сравнению с нормативным подходом, учесть внутригодовую изменчивость стока и обеспечить сохранение гидробиологических условий. Кроме того, в работе впервые для данного объекта выполнена количественная оценка влияния климатических изменений на приходные и расходные компоненты баланса до 2035 г.

2. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В работе использованы ряды ежедневных и среднемесячных расходов воды р. Березина по гидрологическим постам Борисов, Бобруйск, Светлогорск за период 1961...2018 гг., а также данные метеорологических станций Бобруйск, Василевичи, Жлобин, Мозырь, Октябрь за тот же период. Для р. Сведь, где отсутствуют систематические наблюдения, гидрологические характеристики определены расчетным путем с использованием реки-аналога Ведрич (створ Бабичи) и карт изолиний [12...13].

Река Березина – единственный из крупных водотоков (длина 615 км), который от истока до устья протекает по территории Беларуси. Площадь водосбора – 24650 км². Водосбор грушевидной формы, асимметричный, более развито правобережье. Режим реки изучался на 16 гидрологических постах. На сегодняшний день функционируют четыре гидрологических поста – в районе Борисова, Березино, Бобруйска и Светлогорска. Анализ гидрологических параметров реки Березины проводился на основе данных, полученных с постов наблюдений на р. Березина – г. Бобруйск, р. Березина – г. Светлогорск.

Река Сведь является правым притоком Березины. Начинается в 1,5 км на юг от деревни Прилуки Калинковичского района, устье за 3 км на восток от д. Сведское Речицкого района. Полная длина водотока составляет 49 км. Площадь водосборного бассейна – 625 км², средний уклон реки 0,3 ‰, средний расход воды в устье 2,60 м³/с.

Применительно к бассейну реки Березина на основании выполненного анализа климатических данных было отобрано 5 ближайших метеорологических станций (Бобруйск, Василевичи, Жлобин, Мозырь, Октябрь). Критерием выбора станций стало соблюдение требования: каждая из них должна была функционировать с 1961 г. без перерывов до 2018 г., а также продолжением функционирования в настоящее время. Это обеспечивало обязательное условие – наличие непрерывных рядов климатических наблюдений.

Исходные климатические данные при этом получены из различных источников, включая открытые информационные ресурсы ВМО и других организаций и центров, занимающихся изучением климата, а также из климатических справочников.

Итоги исследования динамики климата в период с 1961 по 2018 годы позволили сформулировать ряд обобщенных выводов, представленных ниже [14]:

1. Средняя температура воздуха в бассейне реки Березины увеличилась на 1,1 °С. Сезонный анализ показал, что максимальное повышение пришлось на зиму (2,0 °С), а минимальное — на осень (0,3 °С) (рис. 1).

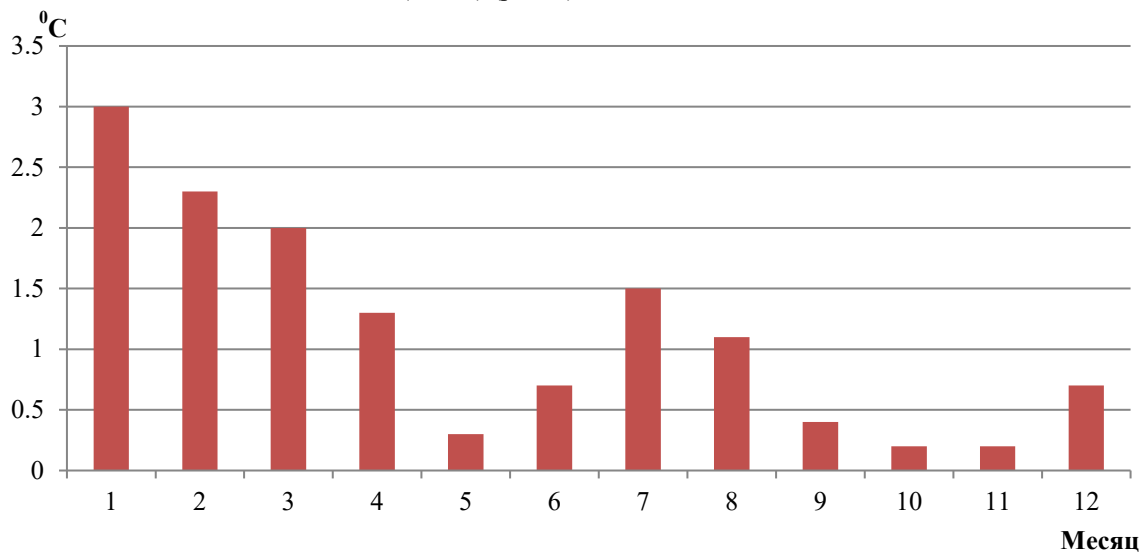


Рисунок 1. Изменение температуры воздуха (°С) по месяцам в бассейне реки Березины: динамика за период 1961...2018 гг.

2. По данным наблюдений, в бассейне реки Березина отмечается рост количества осадков: в среднем на 4,8 %, а в зимний период — на 8,6 % (рис. 2).

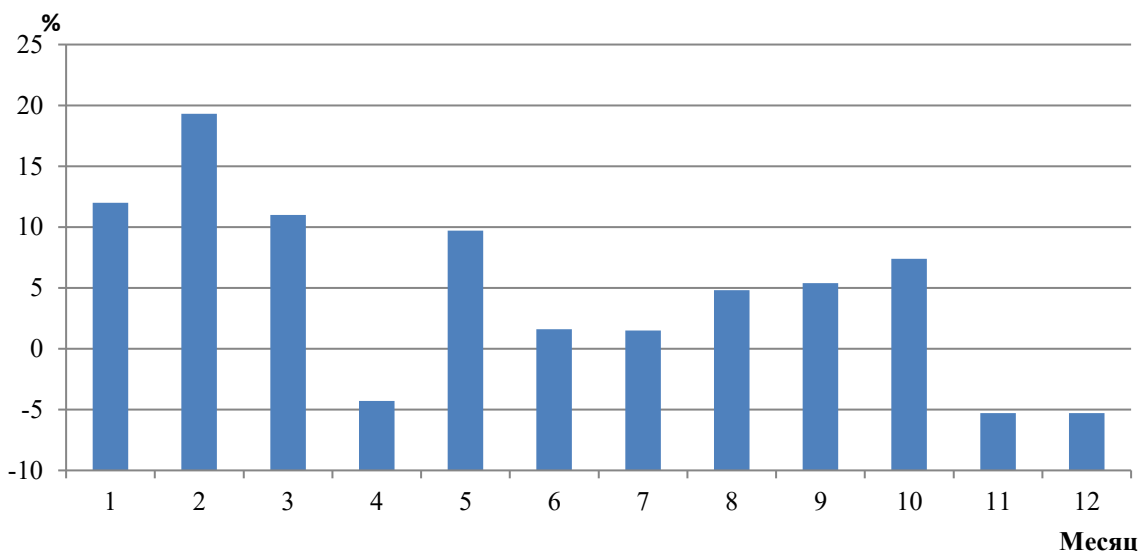


Рисунок 2. Помесячное распределение изменений количества осадков (%) в бассейне реки Березина за 1961...2018 гг.

Оценка однородности рядов выполнена с помощью критериев Смирнова–Граббса, Диксона, Фишера и Стьюдента. Для сглаживания эмпирических кривых обеспеченности использовано трехпараметрическое распределение Крицкого–Менкеля. Внутригодовое распределение стока для р. Березина установлено методом компоновки сезонов, для р. Сведь – по региональным схемам [15].

Существует несколько методов расчета водохозяйственного баланса, которые применяются в зависимости от целей исследования, доступных данных и особенностей водного объекта. Основные методы включают:

1. Метод водного баланса – основан на уравнении баланса, учитывающем приходные и расходные компоненты водохранилища: атмосферные осадки, приток воды, испарение, фильтрацию и водопотребление.

2. Гидрологический метод – использует данные о стоке рек, осадках и испарении для определения водных ресурсов и их распределения.

3. Метод математического моделирования – включает построение гидродинамических моделей, учитывающих физические процессы движения воды и взаимодействие с окружающей средой.

4. Метод статистического анализа – применяется для прогнозирования изменений водного баланса на основе многолетних наблюдений и статистических закономерностей.

5. Метод спутникового мониторинга – использует данные дистанционного зондирования для оценки уровня воды, испарения и других параметров.

6. Метод гидрохимического анализа – позволяет оценить качество воды и влияние антропогенных факторов на водохозяйственный баланс.

В настоящей работе расчет баланса выполнен согласно ТКП 17.06-03-2008 [16] по уравнению

$$B = W_{\text{ex}} + W_{\text{бок}} + W_{\text{пзв}} + W_{\text{ов}} + W_{\text{дом}} \pm \Delta V - W_{\text{исп}} - W_{\text{ф}} - W_{\text{у}} - W_{\text{пер}} - W_{\text{дон}} - W_{\text{кл}}, \quad (1)$$

где: B – значение баланса на расчетном участке; W_{ex} – объем стока, поступающий из верхнего течения рассматриваемого водного объекта, м³; $W_{\text{бок}}$ – объем воды, формирующийся в пределах расчетного участка и представляет как правило боковую приточность; $W_{\text{пзв}}$ – объем водозабора формирующийся за счет добычи из подземных источников; $W_{\text{ов}}$ – возвратные воды на водохозяйственном участке в виде сточных вод; $W_{\text{дом}}$ – объем воды за счет межбассейновые переброски; $\pm \Delta V$ – объем воды на наполнение и опорожнение прудов и водохранилищ на расчетном водохозяйственном участке; $W_{\text{исп}}$ – потери на дополнительное испарение в результате увеличения площади водной поверхности; $W_{\text{ф}}$ – потери на фильтрацию из водохранилищ, каналов, других поверхностных водных объектов; $W_{\text{у}}$ – изменение речного стока, обусловленное водозабором из подземных водных объектов, при наличии гидравлической связи с расчетным водным объектом; $W_{\text{пер}}$ – переброска объема воды из расчетного водохозяйственного участка в смежные водосборы; $W_{\text{дон}}$ – суммарная потребность всех водопользователей в пределах расчетного водохозяйственного участка; $W_{\text{кл}}$ – требуемая величина стока в замыкающем створе расчетного водохозяйственного участка (в первую очередь санитарно-экологические и хозяйственные попуски).

При составлении водохозяйственного баланса предусматривается многовариантная его проработка [16]. Попуски необходимы для нормальной работы водозаборов, поддержания санитарного состояния реки, обеспечения судоходства, а в некоторых случаях – обводнения пойм и нерестилищ.

Под санитарно-экологическими попусками в настоящее время понимают экологический сток. Он представляет собой минимальную величину речного стока постоянного или переменного в течение года.

При определении экологического стока необходимо учитывать ряд ключевых аспектов:

– *внутригодовая изменчивость стока.* Биологическое разнообразие водоема сохраняется благодаря естественным годовым колебаниям стока, которые задают необходимую цикличность в развитии разных биологических видов.

– *межгодовая изменчивость стока.* Гидрофобные растения склонны активно осваивать пойму в засушливые периоды, но периодические затопления служат природным механизмом их удаления из экосистемы пойменной зоны.

– *выполнение рекой природных функций.* Речная система играет ключевую роль в перемещении и перераспределении веществ и энергии как в пространственном, так и во временном измерении, что в итоге поддерживает целостность всей экосистемы.

– *объем воды для поддержания гидробионтов.* Нормальное развитие водных организмов возможно лишь при соблюдении определенных гидрологических условий: скорость течения должна быть в диапазоне 0,25...0,6 м/с (с минимальным порогом 0,25 м/с, запускающим активное развитие фитопланктона), а глубина водного потока — не менее 0,1...3 м.

На сегодняшний день существует множество подходов к оценке величины экологического стока, которые можно условно классифицировать на четыре основные группы. Подробный разбор указанных методик представлен в публикациях [12...17]. В рамках настоящего исследования для расчета экологического стока выбран метод переноса обеспеченностей [14...15], который позволяет учесть естественную многолетнюю изменчивость стока и установить верхнюю и нижнюю границы колебаний, характерные для конкретной реки. Как отмечается в критическом анализе [18], простые гидрологические методы (процент от среднегодового стока) часто игнорируют сезонную изменчивость, необходимую для сохранения экосистем. Метод переноса обеспеченностей лишен этого недостатка, так как опирается на структуру многолетних колебаний.

Для минимизации воздействия на естественный гидрологический режим объем изъятия $W_{изъят,i}$ в каждом месяце i не должен превышать разности между стоком расчетной обеспеченности $Q_{р,i}$ и экологическим стоком $Q_{эк,i}$:

$$W_{изъят,i} \leq (Q_{р,i} - Q_{эк,i}) \cdot t_i \quad (2)$$

где t_i – число секунд в месяце.

В качестве расчетной обеспеченности принята P=75 % (основной вариант) и P=90 % (поверочный). Экологический сток $Q_{эк,i}$ определен методом переноса обеспеченностей. Данный подход гарантирует сохранение в реке объема воды, необходимого для поддержания экосистемы в маловодный год даже в случае забора расчетного объема воды. Это соответствует современным рекомендациям, согласно которым целевые показатели должны быть законодательно закреплены и адаптированы к местным условиям [8... 10].

3. РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Расчет гидрологических характеристик годового стока и его внутригодового распределения для реки Березина выполнен на основе фактических данных наблюдений. Отсутствующие значения в рядах наблюдений за 1978...2018 годы были восстановлены с помощью программного комплекса «Гидролог-2» [19]. Основные статистические параметры стока приведены в табл. 1. Для р. Березина в створе Светлогорск среднегогодовой расход составляет 132 м³/с, коэффициент вариации 0,22, коэффициент автокорреляции 0,23. Внутригодовое распределение стока: весна – 39%, зима – 22%, лето–осень – 39% (рис. 3). Для р. Сведь средний расход 1,78 м³/с, распределение по сезонам: весна – 48%, зима – 20%, лето–осень – 32% (рис. 4).

Таблица 1
Основные гидрологические характеристики стока исследуемых рек

| Параметры | Месяцы | | | | | | | | | | | | Год |
|----------------------------------|--------|------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | |
| р. Березина в створе Светлогорск | | | | | | | | | | | | | |
| $Q, \text{ м}^3/\text{с}$ | 121 | 127 | 171 | 265 | 171 | 116 | 101 | 92,6 | 89,9 | 104 | 116 | 112 | 132 |
| C_v | 0,37 | 0,34 | 0,30 | 0,45 | 0,30 | 0,32 | 0,39 | 0,42 | 0,29 | 0,30 | 0,32 | 0,29 | 0,22 |
| C_s | 0,82 | 0,77 | -0,15 | 1,06 | 0,80 | 1,12 | 1,22 | 2,66 | 1,36 | 3,13 | 1,87 | 1,32 | -1,13 |

| | | | | | | | | | | | | | |
|--------|------|------|------|-------|------|------|------|------|------|------|------|-------|------|
| $r(1)$ | 0,11 | 0,13 | 0,14 | -0,03 | 0,04 | 0,08 | 0,17 | 0,17 | 0,12 | 0,06 | 0,07 | -0,08 | 0,23 |
|--------|------|------|------|-------|------|------|------|------|------|------|------|-------|------|

р. Сведь

| | | | | | | | | | | | | | |
|---------------------------|------|------|------|------|------|------|------|-------|-------|------|------|------|------|
| $Q, \text{ м}^3/\text{с}$ | 1,32 | 1,71 | 3,06 | 4,68 | 2,54 | 1,42 | 1,01 | 0,815 | 0,896 | 1,09 | 1,51 | 1,29 | 1,78 |
|---------------------------|------|------|------|------|------|------|------|-------|-------|------|------|------|------|

Примечание: Q – расход воды, $\text{м}^3/\text{с}$; C_v – коэффициент вариации; C_s – коэффициент асимметрии; $r(1)$ – коэффициент автокорреляции).

Расчет по нормативному методу дал для Березины $Q_{\text{эк,норм}} = 34,7 \text{ м}^3/\text{с}$, для Сведи – $0,332 \text{ м}^3/\text{с}$. Метод переноса обеспеченностей существенно повышает эти оценки: для Березины $Q_{\text{эк,пер}} = 67,7 \text{ м}^3/\text{с}$, для Сведи – $0,706 \text{ м}^3/\text{с}$. Разница обусловлена тем, что нормативный подход не учитывает внутригодовую динамику и многолетние колебания, тогда как метод переноса обеспеченностей опирается на естественную структуру стока реки. В дальнейших расчетах в качестве экологического ограничения использованы именно значения $Q_{\text{эк,пер}}$, поскольку они обеспечивают сохранение минимальных скоростей течения ($0,25 \dots 0,6 \text{ м/с}$) и глубин ($0,1 \dots 3 \text{ м}$), необходимых для гидробионтов [12]. Полученный результат согласуется с выводами [9] о недостаточности упрощенных гидрологических методов для адекватной оценки экологических потребностей рек.

На рис. 5 представлены водохозяйственные балансы участков водосборов, куда технически возможна подача воды из водохранилища «Светлогорское». Эти балансы рассчитаны для оценки ресурсов поверхностного стока в год с расчетной обеспеченностью 75 %. Расчеты выполнены по составляющим водного баланса – приходная часть и расходная часть. В табл. 2 представлена характеристика водохозяйственного участка р. Березина.

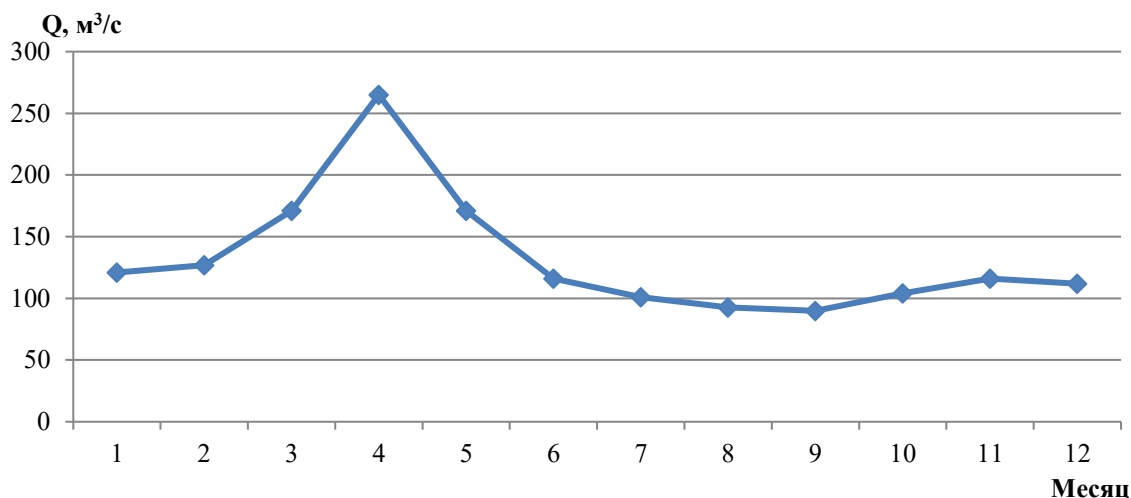


Рисунок 3. Внутригодовое распределение среднееголетнего стока р. Березина – Светлогорск

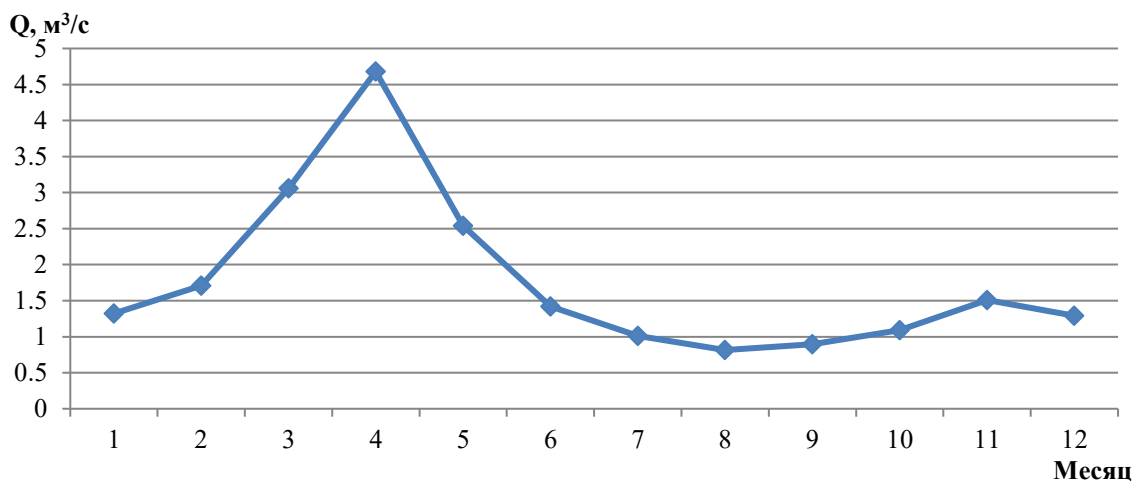


Рисунок 4. Внутригодовая динамика стока реки Сведь с месячной градацией



Рисунок 5. Расчетная линейная схема водохозяйственного участка

Анализ структуры поверхностного стока позволил установить основные направления линий стока и границы возможных участков увлажнения непосредственно из р. Сведь, что в свою очередь использовалось для оценки объемов водопотребления для целей орошения/увлажнения.

Таблица 2

Характеристика водохозяйственного участка р. Березина

| Створ | Расстояние от устья, км | Площадь водосбора, км ² | Расходы воды, м ³ /с | | | | |
|-------------|-------------------------|------------------------------------|---------------------------------|----------------|-----------------------------|------|------|
| | | | Норма стока | C _v | Расчетная обеспеченность, % | | |
| | | | | | 50 | 75 | 95 |
| Борисов | 383 | 5690 | 35,2 | 0,18 | 34,7 | 31,8 | 28,5 |
| Бобруйск | 167 | 20300 | 114 | 0,21 | 115 | 99,2 | 75,3 |
| Светлогорск | 68 | 23300 | 132 | 0,22 | 131 | 111 | 82,7 |

В таблице 3 представлены объёмы подачи воды на увлажнение из водохранилища «Светлогорское», рассчитанные для двух уровней обеспеченности: 75 % (основной расчёт) и 90 % (поверочный расход).

Таблица 3

Показатели подачи воды из водохранилища на увлажнение «Светлогорское» (75 % обеспеченность, основной, числитель) (90 % обеспеченность, поверочный, знаменатель)

| № п.п. | Потребление воды | Потребление воды, тыс. м ³ | | | | Итого: |
|---------------|--|---------------------------------------|-----------------|-----------------|----------------|-----------------|
| | | Май | Июнь | Июль | Август | |
| 1 | Потребление воды для регулирования почвенной влажности шлюзованием | <u>1 854,6</u> | <u>8 107,0</u> | <u>3 792,8</u> | <u>9 119,0</u> | <u>22 873,4</u> |
| | | 2 707,1 | 9 840,6 | 10 818,5 | 2 072,4 | 25 438,6 |
| | | <u>372,6</u> | | | | <u>372,6</u> |
| 2 | Заполнение водоподводящих каналов | 372,6 | | | | 372,6 |
| | | <u>294,3</u> | | | | <u>294,3</u> |
| | в т.ч. ВП-1 | 294,3 | | | | 294,3 |
| | | <u>57,2</u> | | | | <u>57,2</u> |
| | ВП-1-1 | 57,2 | | | | 57,2 |
| | | <u>16,5</u> | | | | <u>16,5</u> |
| | ВП-2 | 16,5 | | | | 16,5 |
| | | <u>4,6</u> | | | | <u>4,6</u> |
| | ВП-3 | 4,6 | | | | 4,6 |
| | | <u>92,7</u> | <u>405,4</u> | <u>189,6</u> | <u>456,0</u> | <u>1 143,7</u> |
| 3 | Потери на испарение и фильтрацию по каналам | 135,4 | 492,0 | 540,9 | 103,6 | 1 271,9 |
| | | <u>2 319,9</u> | <u>8 512,4</u> | <u>3 982,4</u> | <u>9 575,0</u> | <u>24 389,7</u> |
| Итого: | | 3 215,1 | 10 332,6 | 11 359,4 | 2 176,0 | 27 083,1 |

Результаты водохозяйственного баланса для основного расчетного случая (обеспеченность 75%) представлены в табл. 4, поверочный расчет (обеспеченность 90%) реализован аналогично.

Общий объем забора из р. Березина при 75% обеспеченности составил 37 720 тыс. м³, из р. Сведь – 3 673,7 тыс. м³. Доля изъятия от стока расчетной обеспеченности в створах водозабора приведена в табл. 5. Для Березины среднемесячное снижение стока не превышает 3,4%, годовое – 1,0%, что находится в пределах допустимых погрешностей. Для Сведи в феврале–апреле изъятие достигает 19,8% от стока 75% обеспеченности,

однако эта величина не превышает разности ($Q_{75} - Q_{эк.пер}$), которая в эти месяцы составила 20–25%. Таким образом, структура экологического стока не нарушается.

При поверочном расчете для 90% обеспеченности суммарный забор из Березины увеличился до 40 200 тыс. м³, доля изъятия возросла до 1,5% годового стока, при этом максимальное месячное изъятие (4,7% в июне) также остается в пределах, гарантирующих соблюдение экологического стока. Объем водохранилища при НПУ в этом случае составил 44 236,6 тыс. м³, что несколько ниже проектного, но достаточно для покрытия потребностей орошения.

Таблица 4

Водохозяйственный баланс 75 % обеспеченности (основной расчетный случай)

| Характеристики | Объемы воды в тыс. м ³ | | | | | | | | | | | | Год |
|--|-----------------------------------|--------|--------|---------|---------|---------|---------|---------|--------|--------|--------|--------|----------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | |
| р. Березина - Светлогорск | | | | | | | | | | | | | |
| Объем стока P=75% | 268 | 280 | 377 | 586 | 377 | 257 | 223 | 204 | 198 | 229 | 256 | 247 | 3 508 |
| | 762,53 | 725,69 | 313,57 | 053,53 | 671,66 | 586,16 | 058,43 | 891,78 | 884,98 | 801,57 | 456,42 | 615,18 | 821,50 |
| р. Сведь | | | | | | | | | | | | | |
| Объем стока P=75% | 3 | 3 | 6 | 8 | 4 | 3 | 2 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 44 |
| | 211,25 | 581,59 | 018,69 | 935,89 | 055,59 | 074,08 | 292,65 | 936,00 | 621,62 | 690,51 | 974,45 | 986,60 | 378,91 |
| Доступно для забора | 636,44 | 709,84 | 1 | 1 | 803,78 | 609,26 | 454,38 | 383,70 | 519,58 | 533,24 | 589,51 | 591,92 | 8 795,52 |
| | | | 192,85 | 771,02 | | | | | | | | | |
| Забор насосной №1 | | | 10 | 10 | 9 | 8 | | | | | | | 37 |
| | | | 000,00 | 000,00 | 000,00 | 720,00 | | | | | | | 720,00 |
| Забор насосной №2 | 0,00 | 0,00 | 9 | 9 | 8 | 8 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 35 |
| | | | 500,00 | 500,00 | 550,00 | 284,00 | | | | | | | 834,00 |
| Забор насосной №4 (фильтрация) | 0,00 | 0,00 | 177,39 | 269,50 | 351,49 | 365,42 | 314,89 | 228,31 | 173,74 | 165,42 | 158,32 | 0,00 | 2 204,46 |
| Забор из р. Сведь | 0,00 | 709,84 | 1 | 1 | | | | | | | | | 3 673,71 |
| | | | 192,85 | 771,02 | | | | | | | | | |
| Итого приток | 0,00 | 709,84 | 10 | 11 | 8 | 8 | 314,89 | 228,31 | 173,74 | 165,42 | 158,32 | 0,00 | 41 |
| | | | 870,24 | 540,51 | 901,49 | 649,42 | | | | | | | 712,17 |
| Подача воды на увлажнение | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 2 | 8 | 3 | 9 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 24 |
| | | | | | 319,90 | 512,40 | 982,40 | 575,00 | | | | | 389,70 |
| Наполнение (+) водохранилища | 0,00 | 709,84 | 10 | 11 | 6 | 137,02 | 0,00 | 0,00 | 173,74 | 165,42 | 158,32 | 0,00 | 30336,6 |
| | | | 870,24 | 540,51 | 581,59 | | | | | | | | 6 |
| Сработка (-) водохранилища | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | -3 | -9 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | - |
| | | | | | | | 667,51 | 346,69 | | | | | 13014,2 |
| | | | | | | | | | | | | | 0 |
| Распределение испарения | 0,00 | 0,00 | 5,18 | 11,37 | 14,72 | 17,06 | 18,27 | 9,98 | 6,11 | 3,03 | 0,00 | 14,29 | 100,00 |
| Доп. испарение | 0,0 | 0,0 | 14,3 | 31,4 | 40,6 | 47,1 | 50,4 | 27,5 | 16,9 | 8,3 | 0,0 | 39,4 | 275,92 |
| Потери на испарение | 0,0 | 0,0 | 179,6 | 412,2 | 552,4 | 643,7 | 676,0 | 354,7 | 211,5 | 104,3 | 0,0 | 488,9 | 3623,32 |
| Отметка воды в водохр., м | 132,98 | 132,94 | 133,33 | 134,07 | 134,60 | 134,69 | 134,39 | 133,75 | 133,29 | 133,22 | 133,15 | 133,06 | |
| Фильтрация из водохранилища | 826,8 | 809,2 | 991,5 | 1 361,2 | 1 630,3 | 1 672,4 | 1 519,5 | 1 200,9 | 974,4 | 938,1 | 906,7 | 866,0 | 13696,9 |
| | | | | | | | | | | | | | 4 |
| Объем воды в водохранилище на нач. | 22 | 21 | 21 | 30 | 40 | 45 | 42 | 37 | 26 | 25 | 24 | 23 | |
| | 180,0 | 353,2 | 253,8 | 953,0 | 720,1 | 119,0 | 940,0 | 076,9 | 174,6 | 162,5 | 285,5 | 537,1 | |
| Объем воды в водохранилище на конец | 21 | 21 | 30 | 40 | 45 | 42 | 37 | 26 | 25 | 24 | 23 | 22 | |
| | 353,2 | 253,8 | 953,0 | 720,1 | 119,0 | 940,0 | 076,9 | 174,6 | 162,5 | 285,5 | 537,1 | 182,2 | |
| Средняя глубина, м | 1,76 | 1,73 | 2,08 | 2,73 | 3,16 | 3,22 | 2,98 | 2,45 | 2,04 | 1,98 | 1,92 | 1,84 | |
| Изменение стока в р. Березина, % | 0,000 | 0,000 | 2,650 | 1,706 | 2,383 | 3,385 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 1,075 |
| Изменение стока в створе Сведь, % | 0,000 | 19,819 | 19,819 | 19,819 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 8,278 |

Современные климатические колебания и антропогенные воздействия, несомненно, оказывают заметное влияние на речной сток, которое с течением времени будет усиливаться. Поэтому необходимы экспертные оценки изменения стока в будущем, которые основываются на тенденциях прошлых лет.

В рамках данной работы проанализированы изменения расходов воды в р. Березина на двух гидрологических постах. Временной охват включал два периода: базовый (1961...1985 гг.) и современный (1986...2018 гг.). Расчеты проводились отдельно для среднемесячных и среднегодовых значений. Итоговые данные по динамике стока за весь период наблюдений (1961...2018 гг.) систематизированы в таблицах 5 и 6 [14].

Таблица 5

Изменения стока в бассейне р. Березина за период с 1961 по 2015 гг.

| Гидрологический пост | Площадь водосбора, км ² | Характеристика | Значения расходов воды за периоды (1986...2015), (1961...1985), м ³ /с, разница, % | | | | | | | | | | | |
|----------------------|------------------------------------|------------------------|--|---------|------|--------|------|------|------|--------|----------|---------|--------|---------|
| | | | январь | февраль | март | апрель | май | июнь | июль | август | сентябрь | октябрь | ноябрь | декабрь |
| Борисов | 5690 | Q _{ср.} | 28,3 | 27,6 | 40,8 | 84,2 | 51,0 | 31,4 | 24,8 | 23,0 | 22,5 | 26,1 | 31,0 | 30,0 |
| | | Q ₁₉₆₁₋₁₉₈₅ | 24,9 | 21,6 | 34,5 | 93,8 | 51,7 | 31,2 | 24,0 | 23,4 | 23,0 | 25,8 | 30,2 | 28,5 |
| | | Q ₁₉₈₆₋₂₀₁₅ | 31,1 | 32,7 | 46,1 | 76,3 | 50,5 | 31,6 | 25,5 | 22,6 | 22,1 | 26,4 | 31,5 | 31,0 |
| | | Δ% | 24,7 | 51,6 | 33,7 | -18,7 | -2,3 | 1,3 | 6,1 | -3,3 | -3,8 | 2,5 | 4,3 | 8,9 |
| Бобруйск | 20300 | Q _{ср.} | 97,6 | 99,0 | 144 | 265 | 159 | 106 | 90,5 | 84,2 | 82,0 | 90,0 | 101 | 97,9 |
| | | Q ₁₉₆₁₋₁₉₈₅ | 89,7 | 80,8 | 134 | 306 | 167 | 103 | 90,0 | 83,7 | 82,4 | 86,4 | 101 | 98,4 |
| | | Q ₁₉₈₆₋₂₀₁₅ | 104 | 114 | 152 | 230 | 153 | 108 | 90,9 | 84,6 | 81,6 | 92,8 | 102 | 97,4 |
| | | Δ% | 16,3 | 41,3 | 13,6 | -24,9 | -8,2 | 4,9 | 1,0 | 1,0 | -1,1 | 7,5 | 0,2 | -1,1 |

Таблица 6

Абсолютные значения характерных расходов воды (м³/с) р. Березина за период с 1961 по 2015 гг. (числитель), изменение стока, (%) (знаменатель)

| Гидрологический пост | Площадь водосбора, км ² | Средний | максимальный весеннего половодья | минимальный летне-осенней межени | минимальный зимней межени |
|----------------------|------------------------------------|------------|----------------------------------|----------------------------------|---------------------------|
| Борисов | 5690 | 35,1 / 3,6 | 112 / -29,7 | 16,9 / -3,8 | 19,7 / 20,9 |
| Бобруйск | 20300 | 118 / -0,9 | 407 / -40,4 | 59,3 / 2,6 | 57,6 / 11,2 |

На основе анализа динамики стока за 1961...2018 гг. сформулированы следующие обобщенные выводы: изменения среднегодового стока носили умеренный характер: на севере зафиксировано повышение на 3,6%, на юге – снижение до 1%; весеннее половодье существенно сократилось: объем стока уменьшился на 30...40%, при этом пик половодья

стал наступать раньше; в зимний период наблюдался рост стока: на севере бассейна – на 21%, на юге – на 11%.

На протяжении всего исследуемого периода (1961...2018гг.) изменения летнего стока оставались незначительными. Однако в последние годы зафиксировано резкое снижение показателя – до значений, оказавшихся ниже минимального уровня за весь рассматриваемый промежуток времени.

Климатические изменения и антропогенное воздействие неизбежно отразились на процессе испарения с водной поверхности водоемов. Результаты наблюдений подтверждают существенные трансформации в пространственно-временной структуре этого явления.

Сравнительный анализ испарения на территории Беларуси выявил две ключевые тенденции:

- общее снижение величины испарения с водной поверхности;
- рост пространственной неоднородности процесса.

Для количественной оценки изменений применялся метод градиентов линейных трендов – их значения представлены в месячной динамике. Анализ месячных показателей испарения по метеостанциям Беларуси свидетельствует о наличии статистически значимых (на уровне 95 %) линейных трендов в многолетней динамике.

В бассейне реки Березины за период с мая по октябрь зафиксированы статистически значимые снижения испарения. При этом выявлены следующие особенности по сезонам:

- максимальные градиенты наблюдаются в летние месяцы (июнь–июль);
- в осенние месяцы градиенты меньше по величине, но практически все имеют отрицательное значение.

Полученные данные позволяют сделать два важных вывода:

- отмечается снижение скорости изменения климатических факторов.
- природная составляющая оказывает большее влияние на динамику испарения, чем антропогенная (табл. 7).

Таблица 7

Градиенты (α , мм/10 лет) изменения испарения с водной поверхности и коэффициенты корреляции линейных трендов (r) по метеостанциям Беларуси

| Интервал осреднения | Параметр | |
|------------------------|----------------------------------|---|
| | Градиент (α , мм/10 лет) | Коэффициент корреляции линейных трендов (r) |
| май | -3,35 / -3,12* | -0,31 / -0,31 |
| июнь | -6,56 / -5,08 | -0,40 / -0,34 |
| июль | -6,74 / -4,21 | -0,38 / -0,26 |
| август | -1,91 / -1,365 | -0,13 / -0,10 |
| сентябрь | -2,52 / -1,79 | -0,29 / -0,22 |
| октябрь | -0,37 / -0,08 | -0,10 / -0,02 |

Примечание. * в числителе приведены сведения из работы [20]; коэффициенты корреляции, обладающие статистической значимостью, выделены.

На интенсивность испарения с водной поверхности в первую очередь влияют два показателя: температура воздуха и скорость ветра. Несмотря на то что повышение температуры ускоряет испарение, наблюдается тенденция к снижению скорости ветра, который в настоящее время играет доминирующую роль в динамике испарения. Кроме того, на процесс испарения с водной поверхности оказывают влияние локальные факторы. Данный фактор необходимо учитывать при составлении водохозяйственного баланса.

Сценарии изменения климата для бассейна Березины на период до 2035 года получены с использованием материалов, представленных в Атласе глобальных и региональных климатических прогнозов, являющегося приложением к Пятому докладу Межправительственной группы экспертов по изменению климата (МГЭИК) [14...21]. Для общего прогноза изменения климата и стока до 2035 года используется представленный в Пятом докладе МГЭИК для Европы мультимодельный ансамбль из четырех сценариев – RCP8.5, RCP6.0, RCP4.5, RCP2.6 и картосхемы, разработанные МГЭИК с использованием глобальных климатических моделей и представленные в данном атласе.

Для бассейна р. Березины более подробный прогноз климата с учетом региональной его изменчивости, выявленной по метеорологическим станциям за период с 1961 по 2018 гг., разработан с использованием наиболее неблагоприятных (консервативных) сценариев наибольшего повышения температуры и снижения осадков, а также с учетом линейной интерполяции.

С учетом использования наиболее консервативных сценариев изменения климата повышение температуры в бассейне Березины в среднем за год может составить до 1,9°C при максимальном повышении зимой на 2,3°C, летом – на 1,9°C, весной и осенью – примерно на 1,7°C. При этом годовое количество осадков изменится незначительно (суммарно за год уменьшится на 2%) с увеличением их зимой (в среднем на 7%), максимальным уменьшением летом (в среднем на 10%), в меньшей степени уменьшением весной (на 4%) и незначительном уменьшении осенью (в среднем на 1,6%).

По методу гидролого-климатических расчетов [22] получены прогнозные оценки изменения речного стока в бассейне Березины на период до 2035 года. При этом использованы результаты оценки фактического изменения климата и речного стока за период с 1961 по 2018 гг. и уточненный прогноз изменения климата на период до 2035 года в исследуемом бассейне с учетом мультимодельного ансамбля из четырех сценариев, рекомендуемого МГЭИК, а также региональной изменчивости климата [14... 23].

Обобщение результатов расчетов прогнозного изменения стока в бассейне Березины на период до 2035 года приведено в табл. 8 [14].

Таблица 8

Прогноз изменения поверхностного стока до 2035 года для рек бассейнов Березина, в % от современного состояния

| Гидрологический пост | Зима | Весна | Лето | Осень | среднегодовой |
|----------------------|------|-------|------|-------|---------------|
| Борисов | 13,7 | -0,8 | -3,5 | -1,1 | 2,1 |
| Бобруйск | 4,3 | -18,4 | -2,1 | -10,8 | -6,7 |

На основании проведенных расчетов выявлены следующие прогнозные тенденции изменения стока в бассейне реки Березины вплоть до 2035 года:

- в зимний период прогнозируется незначительное изменение объема стока на юге бассейна, тогда как на севере предполагается его рост;
- на южной части бассейна ожидается уменьшение среднегодового стока;
- весной, в основном, вероятно сокращение стока, летом – определенное снижение стока, осенью, прежде всего в начальной фазе сезона и до середины октября, предвидится уменьшение стока.

ОБСУЖДЕНИЕ

Примененный критерий допустимого изъятия, основанный на сравнении стока расчетной обеспеченности и экологического стока, рассчитанного методом переноса обеспеченностей, позволил количественно обосновать режим водозабора, минимизирующий воздействие на речные экосистемы. Существенное различие между нормативным и уточненным значениями экологического стока (в 2 раза для Березины) свидетельствует о

необходимости пересмотра региональных нормативов с учетом современных гидрологических и экологических требований, что согласуется с выводами международных обзоров [8, 10], подчеркивающих важность адаптации законодательства к местным условиям.

Полученные балансы подтверждают принципиальную возможность реконструкции водохранилища даже при более жестких экологических ограничениях. Однако прогнозируемое снижение весеннего стока до 2035 г. требует периодичности в корректировке параметров забора в будущем. Как отмечается в [9...22], климатические изменения вносят дополнительную неопределенность в оценку экологического стока, поэтому необходимы адаптивные стратегии управления, включающие регулярный мониторинг и корректировку режимов водозабора. Предложенные в работе направления мониторинга (автоматизация, спутниковый контроль, создание ГИС-модели) соответствуют современным тенденциям, изложенным в [8], где мониторинг и вовлечение заинтересованных сторон названы ключевыми факторами успеха.

Сравнение с мировыми примерами внедрения экологических стоков [7...11] показывает, что в Беларуси пока доминирует упрощенный подход. Настоящее исследование демонстрирует возможность использования более совершенных гидрологических методов даже при ограниченных исходных данных, что особенно актуально для малых рек (р. Сведь). Полученные результаты могут служить основой для разработки региональных нормативов экологического стока, учитывающих внутригодовую изменчивость, что соответствует рекомендациям [8] о необходимости перехода от фиксированных процентов к научно обоснованным режимам.

Для корректной эксплуатации водохранилища «Светлогорское» необходимо совершенствовать мониторинг поверхностных вод, для чего нужно осуществлять переход от эпизодического наблюдения к автоматизированной системе сбора данных.

Предлагается:

- установить гидрометеорологические станции и датчики уровня/температуры воды;
- вести учет реального времени по фильтрационным потерям и испарению;
- использовать спутниковый мониторинг для отслеживания площади зеркала водохранилища.
- организовать лабораторные исследования по динамике заиления и коэффициентам фильтрации;
- создать цифровую геоинформационную модель водохранилища (в среде QGIS, ArcGIS и т.п.);
- разработать сценарный анализ при экстремальных осадках и длительных засухах, модель изменения сезонной водоотдачи рек Березина и Сведь;
- выполнить анализ потребности водопотребителей по месяцам для сглаживания водозаборов;
- исследовать возможность накапливающей фильтрации для поддержания уровней;
- разработать адаптивные графики управления водоподачей и сбросами;
- провести анализ биоразнообразия в зоне влияния водохранилища (в т.ч. болотные и пойменные экосистемы);
- исследовать влияние изменения водного режима на агропромышленный комплекс региона.

В качестве инженерно-технического решения для повышения эффективности мониторинга за уровнем водопотребления и водопользования предлагается установка измерительного устройства в реперных точках расчетных створов исследуемых рек [24].

4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализ многолетних колебаний стока воды р. Березина показал, что на весенний, зимний и летне-осенний периоды приходится 39, 22 и 39 % от годового стока соответственно. На р. Сведь – 48, 20 и 32 % от годового стока соответственно. Изменения среднегодовых расходов воды в р. Березина для периода с 1986 по 2018 гг. по отношению к периоду 1961...1986 гг. являются незначительными. Значительные изменения касаются весеннего половодья, снижения колеблется от 30 до 40 % с более ранним наступлением его пика. При этом, имело место увеличение стока в зимний период от 11 до 21 %, и незначительные изменения расходов воды в летне-осенний период.

Для р. Березина в створе Светлогорск уточненное значение экологического стока (95% обеспеченности методом переноса обеспеченностей) составляет 67,7 м³/с, для р. Сведь – 0,706 м³/с, что значительно превышает нормативные 34,7 и 0,332 м³/с соответственно. Использование этих величин в водохозяйственных расчетах позволяет более надежно защитить речные экосистемы.

Предложен формализованный критерий допустимого изъятия: объем забора в каждом месяце не должен превышать разности между стоком расчетной обеспеченности (75% или 90%) и экологическим стоком (95% по методу переноса обеспеченностей). При соблюдении этого условия доля изъятия для Березины не превышает 1,5% годового стока, для Сведи – 8,3%.

Разработанный водохозяйственный баланс подтверждает достаточность водных ресурсов для наполнения водохранилища до объема 44...45 млн м³ и обеспечения орошения 49,8 тыс. га в годы 75% и 90% обеспеченности. Потери воды на испарение и фильтрацию составляют около 17,3 млн м³/год, из них 2,2 млн м³ – фильтрация в оградительный канал.

Климатические изменения за 1961...2018 гг. привели к росту зимнего стока на 11...21% и снижению весеннего половодья на 30...40%. Прогноз до 2035 г. указывает на дальнейшее сокращение весеннего и осеннего стока, что требует корректировки графика наполнения водохранилища и внедрения адаптивных методов управления.

Для обеспечения устойчивой эксплуатации водохранилища рекомендовано развивать автоматизированную систему мониторинга уровня воды, фильтрационных потерь и испарения, создать геоинформационную модель объекта и проводить регулярную оценку биоразнообразия в зоне влияния. Полученные результаты могут быть использованы при пересмотре региональных нормативов экологического стока.

ВКЛАД АВТОРОВ

Концептуализация - ААВ; управление данными - ННШ; формальный анализ - СИП; методология - ААВ; программное обеспечение - СИП; отслеживание - ННШ; Визуализация - СВС; написание исходного проекта - ННШ; написание и редактирование обзора - ННШ .

БЛАГОДАРНОСТЬ

Работа выполнена при поддержке БРФФИ (грант № X25КИ-036).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Глобальное потепление // Всероссийский Экологический портал. – URL: <https://ecoportal.su/public/klimat/view/2110.html> (дата обращения: 10.06.2025).
2. Данилович И. С., Гледко Ю. А., Тарасевич И. В. Повторяемость засух на территории Беларуси в связи с атмосферной циркуляцией в Атлантико-Европейском секторе // Метеорология и гидрология. – 2023. – № 9. – С. 61-71. – DOI 10.52002/0130-2906-2023-9-61-71.
3. Коледа, К.В. Современные технологии возделывания сельскохозяйственных культур : рекомендации / К.В. Коледа и др.; под общ. ред. К.В. Коледы, А.А. Дудука. – Гродно : ГГАУ, 2010. – 340 с.
4. Эколого-социальные аспекты освоения водно-земельных ресурсов и технологий управления режимами гидромелиораций / П.В. Шведовский, В.Е. Валуев, А.А. Волчек, В.Г. Федоров. – Минск: Ураджай, 1998. – 363 с.
5. Логинов В.Ф., Волчек А.А. Водный баланс речных водосборов Беларуси. – Минск: Тонпик, 2006 – 160 с.
6. Блакітны скарб Беларусі: Рэкі, азёры, вадасховішчы, турысцкі патынцыял водных аб'ектаў / маст.: Ю.А. Тарэў, У.І. Цярэнцьеў. – Мінск : БелЭн, 2007. – 480 с.
7. Alexandra, J., Rickards, L., Pahl-Wostl, C. The logics and politics of environmental flows – A review // Water Alternatives. – 2023. – Vol. 16, No. 2. – P. 346-373.

8. Arthington, A.H., Tickner, D., McClain, M.E. et al. Accelerating environmental flow implementation to bend the curve of global freshwater biodiversity loss // *Environmental Reviews*. – 2024. – Vol. 32, No. 3. – P. 387-413.
9. Bhuiyan, C. Environmental flows: issues and gaps—a critical analysis // *Sustainability Science*. – 2022. – Vol. 17, No. 3. – P. 1109-1128.
10. Gebreegzabher, G.A., Degefa, S., Furi, W., Legesse, G. Evolution and concept of environmental flows (e-flows): meta-analysis // *Water Supply*. – 2023. – Vol. 23, No. 6. – P. 2466-2490.
11. Tickner, D., Opperman, J.J., Abell, R. et al. Bending the curve of global freshwater biodiversity loss: an emergency recovery plan // *BioScience*. – 2020. – Vol. 70, No. 4. – P. 330-342.
12. Волчек А.А., Дашкевич Д.Н., Кухаревич М.Ф., Парфомук С.И., Сидак С.В., Шешко Н.Н., Шпендик Н.Н. Оценка допустимого отбора речных вод пойменными рыбхозами Белорусского Полесья // *Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление*. 2025. № 1. С. 76 – 99.
13. Расчетные гидрологические характеристики. Порядок определения. Технический кодекс установившейся практики ТКП 45-3.04-168-2009(02250). – Минск: РУП «Стройтехнорм», 2010. – 55 с.
14. Водные ресурсы Беларуси и их прогноз с учетом изменения климата / А.А. Волчек, В.Н. Корнеев, С.И. Парфомук, И.А. Булак; под общ. ред. А.А. Волчек, В.Н. Корнеева. – Брест : Альтернатива, 2017. – 228 с.
15. Волчек, А.А. Гидрологические расчеты : учебное пособие / А.А. Волчек. – Москва : КНОРУС, 2021. – 418 с.
16. «Охрана окружающей среды и природопользование. Гидросфера. Порядок проведения расчета и оформления водохозяйственных балансов. ТКП 17.06-03-2008 (02120). – Минск, 2018. – 25 С.
17. Ясельда / И. В. Абрамова [и др.] ; под общ. ред. А.А. Волчека, И.И. Кирвеля, Н.В. Михальчука ; Национальная академия наук Беларуси, Полесский аграрно-экологический институт. – Минск : Беларуская навука, 2017. – (Реки Полесья). – 416 с.
18. Бурлибаев М.Ж., Волчек А.А., Шведовский П.В. Проблемы оптимизации природопользования и природообустройства в математических моделях и методах. – Алматы: Издательство «Каганат», 2003. – 532 с.
19. Волчек А.А., Парфомук С.И. Пакет прикладных программ для определения расчетных характеристик речного стока / *Вестник Палескага дзяржаўнага ўніверсітэта. Серыя прыродазнаўчых навук*. – 2009. – №1. – С. 22 – 30.
20. Логинов В.Ф., Волчек А.А. Изменение испарения с водной поверхности на территории Белоруссии // *География и природные ресурсы*, №2, 2005. – С. 137 – 144.
21. Изменение климата, 2013 г. Физическая научная основа. Вклад Рабочей группы I в Пятый доклад об оценке Межправительственной группы экспертов по изменению климата (МГЭИК). – Женева: МГЭИК, 2013. – 1552 с. // *Материалы МГЭИК. Электронный ресурс*. – Режим доступа: https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/WG1AR5_all_final.pdf. – Дата доступа: 04.06.2025.
22. Мезенцев В.С. Гидролого-климатическая гипотеза и примеры ее использования // *Водные ресурсы*. – 1995. – Том 22, №3. – С. 299–301.
23. Волчек А.А., Парфомук С.И. Оценка трансформации водного режима малых рек Белорусского Полесья под воздействием природных и антропогенных факторов (на примере р. Ясельда) // *Водное хозяйство России*. – 2007. – № 1. – С. 50 – 62.
24. Устройство для измерения уровня воды: пат. 13217 Респ. Беларусь, МПК U G 01F 23/00 / А.А. Волчек, М.А. Таратенкова, Д.А. Шпока, Е.И. Дмухайло; заявитель Брест. гос. техн. ун-т. – № u 20220312; заявл. 30.12.22; опубл. 30.06.23 // *Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці*. – 2023. – № 3. – С. 97 – 98.

REFERENCES

1. Global'noe poteplenie // *Vserossiiskii Ekologicheskii portal*. – URL: <https://ecoportal.su/public/klimat/view/2110.html> (data obrashcheniya: 10.06.2025).
2. Danilovich I. S., Gledko Yu. A., Tarasevich I. V. Povtoryaemost' zasukh na territorii Belarusi v svyazi s atmosfernoй tsirkulyatsiei v Atlantiko-Evropейskom sektore // *Meteorologiya i gidrologiya*. – 2023. – № 9. – S. 61-71. – DOI 10.52002/0130-2906-2023-9-61-71.
3. Koleda, K.V. Sovremennye tekhnologii vzdelyvaniya sel'skokhozyaistvennykh kul'tur : rekomendatsii / K.V. Koleda i dr.; pod obshch. red. K.V. Koledy, A.A. Duduka. – Grodno : GGAU, 2010. – 340 s.
4. Ekologo-sotsial'nye aspekty osvoiniya vodno-zemel'nykh resursov i tekhnologii upravleniya rezhimami gidromelioratsii / P.V. Shvedovskii, V.E. Valuev, A.A. Volchek, V.G. Fedorov. – Minsk: Uradzhai, 1998. – 363 s.
5. Loginov V.F., Volchek A.A. Vodnyi balans rechnykh vodosborov Belarusi. – Minsk: Tonpik, 2006 – 160 s.
6. Blakitny skarb Belarusi: Reki, azery, vadaskhovishchy, turystski patyntsyyal vodnykh ab'ektaŭ / mast.: Yu.A. Tareeŭ, U.I. Tsyarents'eŭ. – Minsk : BelEn, 2007. – 480 s.
7. Alexandra, J., Rickards, L., Pahl-Wostl, C. The logics and politics of environmental flows – A review // *Water Alternatives*. – 2023. – Vol. 16, No. 2. – P. 346-373.
8. Arthington, A.H., Tickner, D., McClain, M.E. et al. Accelerating environmental flow implementation to bend the curve of global freshwater biodiversity loss // *Environmental Reviews*. – 2024. – Vol. 32, No. 3. – P. 387-413.
9. Bhuiyan, C. Environmental flows: issues and gaps—a critical analysis // *Sustainability Science*. – 2022. – Vol. 17, No. 3. – P. 1109-1128.
10. Gebreegzabher, G.A., Degefa, S., Furi, W., Legesse, G. Evolution and concept of environmental flows (e-flows): meta-analysis // *Water Supply*. – 2023. – Vol. 23, No. 6. – P. 2466-2490.
11. Tickner, D., Opperman, J.J., Abell, R. et al. Bending the curve of global freshwater biodiversity loss: an emergency recovery plan // *BioScience*. – 2020. – Vol. 70, No. 4. – P. 330-342.
12. Volchek A.A., Dashkevich D.N., Kukharevich M.F., Parfomuk S.I., Sidak S.V., Sheshko N.N., Shpendik N.N. Otsenka dopustimogo otbora rechnykh vod poimennymi rybkhozami Belorusskogo Poles'ya // *Vodnoe khozyaistvo Rossii: problemy, tekhnologii, upravlenie*. 2025. № 1. С. 76 – 99.
13. Raschetnye gidrologicheskie kharakteristiki. Poryadok opredeleniya. Tekhnicheskii kodeks ustanovivsheysya praktiki TKP 45-3.04-168-2009(02250). – Minsk: RUP «Stroitekhnorm», 2010. – 55 s.

14. Vodnye resursy Belarusi i ikh prognoz s uchedom izmeneniya klimata / A.A. Volchek, V.N. Korneev, S.I. Parfomuk, I.A. Bulak; pod obshch. red. A.A. Volchek, V.N. Korneeva. – Brest : Al'ternativa, 2017. – 228 s.
15. Volchek, A.A. Hidrologicheskie raschety : uchebnoe posobie / A.A. Volchek. – Moskva : KNORUS, 2021. – 418 s.
16. «Okhrana okruzhayushchei sredy i prirodopol'zovanie. Gidrosfera. Poryadok provedeniya rascheta i oformleniya vodokhozyaistvennykh balansov. TKP 17.06-03-2008 (02120). – Minsk, 2018. – 25 S.
17. Yasel'da / I. V. Abramova [i dr.] ; pod obshch. red. A.A. Volcheka, I.I. Kirvelya, N.V. Mikhal'chuka ; Natsional'naya akademiya nauk Belarusi, Poleskii agrarno-ekologicheskii institut. – Minsk : Belaruskaya navuka, 2017. – (Reki Poles'ya). – 416 s.
18. Burlibaev M.Zh., Volchek A.A., Shvedovskii P.V. Problemy optimizatsii prirodopol'zovaniya i prirodoobustroistva v matematicheskikh modelyakh i metodakh. – Almaty: Izdatel'stvo «Kaganat», 2003. – 532 s.
19. Volchek A.A., Parfomuk S.I. Paket prikladnykh programm dlya opredeleniya raschetnykh kharakteristik rechnogo stoka / Vesnik Paleskaga dzhyarzhaynaga universiteta. Seryya pryrodaznaŭchykh navuk. – 2009. – №1. – S. 22 – 30.
20. Loginov V.F., Volchek A.A. Izmenenie ispareniya s vodnoi poverkhnosti na territorii Belorussii// Geografiya i prirodnye resursy, №2, 2005. – S. 137 – 144
21. Izmenenie klimata, 2013 g. Fizicheskaya nauchnaya osnova. Vklad Rabochei grupy I v Pyaty doklad ob otsenke Mezhpravitel'stvennoi grupy ekspertov po izmeneniyu klimata (MGEIK). – Zheneva: MGEIK, 2013. – 1552 s. // Materialy MGEIK. Elektronnyi resurs. – Rezhim dostupa: https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/WG1AR5_all_final.pdf. – Data dostupa: 04.06.2025.
22. Mezentshev V.S. Hidrologo-klimaticheskaya gipoteza i primery ee ispol'zovaniya // Vodnye resursy. – 1995. – Tom 22, №3. – S. 299–301.
23. Volchek A.A., Parfomuk S.I. Otsenka transformatsii vodnogo rezhima malykh rek Belarusskogo Poles'ya pod vozdeistviem prirodnykh i antropogennykh faktorov (na primere r. Yasel'da) // Vodnoe khozyaistvo Rossii. – 2007. – № 1. – S. 50 – 62.
24. Ustroistvo dlya izmereniya urovnya vody: pat. 13217 Resp. Belarus', MPK U G 01F 23/00 / A.A. Volchek, M.A. Taratenkova, D.A. Shpoka, E.I. Dmukhailo; zayavitel' Brest. gos. tekhn. un-t. – № u 20220312; zayavl. 30.12.22; opubl. 30.06.23 // Afitsyiny byul. / Nats. tsentr intelektual. ulasnasti. – 2023. – № 3. – S. 97 – 98.

СВЕТЛОГОРСК СУ ҚОЙМАСЫНЫҢ ГИДРОЛОГИЯЛЫҚ РЕ- ЖИМІН БАҒАЛАУ

Александр А. Волчек г.ғ.д., Сергей И. Парфомук т.ғ.к., Светлана В. Сидак, Николай Н. Шешко т.ғ.к., Наталья Н. Шпендик г.ғ.к.

Брест мемлекеттік техникалық университеті, Брест қ., Беларусь volchak@tut.by (ААВ), parfom@mail.ru (СИП), harchik-sveta@mail.ru (СВС), optimum@tut.by (ННШ), shpendik@tut.by (ННШ)

*Автор корреспондент: Александр А. Волчек, volchak@tut.by

ТҮЙІН СӨЗДЕР

су қоймасы, су шаруашылық балансы, су пайдалану, ағын, экологиялық ағын, рұқсат етілетін су алу, климаттық өзгерістер, болжам

Мақала жайында:

Алынды: 17.12.2025
Қайта қаралды: 20.03.2026
Қабылданды: 30.03.2026
Жарияланды: 01.04.2026

АБСТРАКТ

Березина және Сведь өзендерінің су ресурстарына жобаланатын су алу тораптары тұстамаларында Светлогорск құймалы су қоймасын қайта жаңғыртуды негіздеу мақсатында кешенді бағалау жүргізілді. Көпжылдық гидрологиялық бақылаулар мен өңірлік есептеу әдістері негізінде ағынның негізгі статистикалық сипаттамалары, оның жыл ішіндегі таралуы және экологиялық тұрғыдан рұқсат етілетін су алу көлемдері анықталды. Қамтамасыз етілімдерді көшіру әдісін қолдану арқылы Березина және Сведь өзендері үшін экологиялық ағынның нақтыланған мәндері алынды. 75 % және 90 % есептік қамтамасыз етілім деңгейлері үшін су қоймасының су шаруашылық балансы әзірленді. Рұқсат етілетін су алу өлшемі ретінде есептік қамтамасыз етілімдегі ағын мен қамтамасыз етілімдерді көшіру әдісімен анықталған экологиялық ағын шамасының айырмасы қабылданды. Березина өзенінен жалпы су алу көлемі 37 720 мың м³, ал Сведь өзенінен – 3 673,7 мың м³ құрады, бұл сәйкесінше жылдық ағынның 1,0 % және 8,3 % төмендеуіне сәйкес келеді. 1961...2018 жылдар аралығында Березина алабында климат пен ағынның көпжылдық өзгерістері талданып, статистикалық тұрғыдан мәнді трендтер анықталды: қысқы ағынның артуы (11...21 %), көктемгі тасқын ағынының азаюы (30...40 %). Климаттың өзгеруі жөніндегі үкіметаралық сарапшылар тобы (КӨУСТ) (RCP) сценарийлері негізінде 2035 жылға дейінгі ағын өзгерісіне болжам жасалып, көктемгі және жаз-күзгі ағынның ықтимал қысқаруы көрсетілді. Су қоймасының су ресурстарын мониторингілеу мен бейімделген басқаруды жетілдіру бағыттары ұсынылды.

ASSESSMENT OF THE HYDROLOGICAL REGIME OF THE SVETLOGORSKOYE RESERVOIR

Aleksandr A. Volchek Doctor of Geographical Sciences, Sergey I. Parfomuk Candidate of Technical Sciences, Svetlana V. Sidak, Nikolay N. Sheshko Candidate of Technical Sciences, Natalia N. Shpendik Candidate of Geographical Sciences

Brest State Technical University, Brest, Belarus volchak@tut.by (AAB), parfom@mail.ru (СИП), harchik-sveta@mail.ru (CBC), optimum@tut.by (HHIII), shpendik@tut.by (HHIII)

*Author correspondent: Aleksandr A. Volchek, volchak@tut.by

KEY WORDS

reservoir, water management balance, water use, runoff, environmental flow, permissible withdrawal, climate change, forecast

About article:

Received: 17.12.2025

Revised: 20.03.2026

Accepted: 30.03.2026

Published: 01.04.2026

ABSTRACT

A comprehensive assessment of the water resources of the Berezina and Sved Rivers at the planned intake sites was conducted to justify the reconstruction of the Svetlogorskoye reservoir. Based on long-term hydrological observations and regional calculation methods, the main statistical characteristics of the flow, its intra-annual distribution, and environmentally permissible withdrawal volumes were determined. Using the probability transfer method, updated environmental flow values were obtained for the Berezina and Sved Rivers. A water management balance for the reservoir was developed for two estimated probability levels (75 % and 90 %). The criterion for permissible withdrawal was the difference between the estimated probability flow and the environmental flow determined by the probability transfer method. The total withdrawal volume from the Berezina River amounted to 37,720 thousand m³, and from the Sved River is 3,673,700 m³, which is corresponding to a decrease in annual flow of 1.0% and 8.3 %, respectively. Long-term climate and runoff changes in the Berezina River basin from 1961 to 2018 were analyzed, revealing statistically significant trends: an increase in winter runoff (11...21 %) and a decrease in spring flood runoff (30...40 %). Based on IPCC (RCP) scenarios, a runoff change forecast was generated to 2035, showing a possible reduction in spring and summer-autumn runoff. Suggestions for improving monitoring and adaptive management of the reservoir's water resources were provided.

Примечание издателя: заявления, мнения и данные во всех публикациях принадлежат только автору (авторам), а не журналу "Гидрометеорология и экология" и/или редактору (редакторам).