

УДК 628.171.033+502.51(476)

**ВОДОХОЗЯЙСТВЕННЫЙ БАЛАНС ВОДОХРАНИЛИЩА СЕЛЕЦ С УЧЕТОМ СОВРЕМЕННЫХ КЛИМАТИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ\*****А. А. Волчек<sup>1</sup>, Н. Н. Шешко<sup>2</sup>**<sup>1</sup> Полесский аграрно-экологический институт НАН Беларуси, г. Брест, *Volchak@tut.by*<sup>2</sup> Брестский государственный технический университет, г. Брест, *optimum@tut.by*

Выполнен анализ условий эксплуатации водохранилища Селец в современных условиях. Определена структура водохозяйственного баланса водохранилища с учетом изменившихся условий эксплуатации ОАО «Опытный рыбхоз «Селец», а также условий водного режима мелиоративных систем выше створа водохранилища. В качестве минимально допустимого стока в р. Ясельда ниже створа водохранилища принят расход воды, рассчитанный на основе метода переноса обеспеченностей. Анализ результатов водохозяйственного баланса определил необходимость подачи воды насосной станцией из нижнего бьефа. Обеспечение необходимого стока р. Ясельда ниже створа гидроузла достигается за счет значительных объемов перекачки воды в водохранилище (более 10 млн м<sup>3</sup>).

**Введение**

В современных условиях параметры эксплуатации любых водохозяйственных объектов требуют периодического уточнения и корректировки. Это связано в первую очередь с изменяющимися технологиями и методами производства продукции и услуг. Смена выпускаемой продукции водопользователем зачастую приводит к изменению структуры водопотребления, а также качества потребляемых водных ресурсов и химического состава сточных вод. Кроме того, данные изменения происходят на фоне естественных природных колебаний водного режима, тем самым усугубляются возможные негативные последствия.

Происходящие изменения в мировоззрении общества относительно сохранения природных ресурсов повышают значимость поддержания водного режима эксплуатируемых водоемов и водотоков в пределах естественной их изменчивости.

Основными объектами, связанными с организацией водопотребления промышленности, являются водохранилища. Водоохранилище – искусственный водоем, созданный в целях накопления и последующего использования воды, а также регулирования речного стока. Необходимость создания искусственных водоемов (прудов, водохранилищ) определяется потребностью народного хозяйства в воде, а возможность их создания в том или ином месте – природными условиями территории. Размеры водоемов, их размещение зависят от рельефа территории, структуры гидрографической сети, а их наполнение, заиливание и другие внутриводоемные процессы связаны с климатическими и гидрологическими характеристиками водосборов.

Согласно принятой классификации, к водохранилищам относят искусственные водоемы с полным объемом воды 1 млн м<sup>3</sup> и более. В настоящее время на территории Беларуси насчитывается 153 водохранилища. По объему водной массы их условно можно разделить на три группы: малые (объемом менее 10 млн м<sup>3</sup>), небольшие (объемом 10–100 млн м<sup>3</sup>) и средние (объемом более 100 млн м<sup>3</sup>). К категории малых относится 76,8% водохранилищ от их общего количества, небольших – 18,5%, средних – 4,6%.

На долю речных водохранилищ приходится 47,0%; наливных – 43,7%; озерных и озерно-речных – 9,3%.

В бассейне р. Ясельда эксплуатируется 14 водохранилищ сезонного регулирования. Равнинный характер территории и хорошая выработанность речной долины не позволяют осуществлять работы по глубокому регулированию речного стока. Этот факт обусловил создание здесь преимущественно малых водохранилищ (85,7%). Создание водохранилищ в бассейне реки относится к периоду активного освоения мелиорируемых земель. Согласно проектным данным, они предназначались для осушительно-увлажнительных мероприятий и рыборазведения.

**Методика и объекты исследования**

В соответствии с ТКП 17.06-02-2008 схемы комплексного использования водных ресурсов разрабатываются для оценки предельной антропогенной нагрузки на водные экосистемы при удовлетворении потребностей водопользователей. В основе любой схемы комплексного использования водных ресурсов лежит водохозяйственный баланс. В настоящее время подходы составления водохозяйственного баланса определены ТКП 17.06-03-2008. В соответствии с данным нормативно-техническим документом основное уравнение представлено в следующем виде:

$$B = W_{\text{вх}} + W_{\text{бок}} + W_{\text{пзв}} + W_{\text{вв}} + W_{\text{дот}} \pm \Delta V - W_{\text{исп}} - W_{\text{ф}} - W_{\text{г}} - W_{\text{пер}} - W_{\text{вдп}} - W_{\text{кп}}, \quad (1)$$

где  $B$  – результирующая водохозяйственного баланса на водохозяйственном участке;  $W_{\text{вх}}$  – объем стока, поступающий за расчетный период с вышележащих участков рассматриваемого водного объекта, м<sup>3</sup>;  $W_{\text{бок}}$  – объем воды, формирующийся за расчетный период на расчетном водохозяйственном участке (боковая приточность);  $W_{\text{пзв}}$  – объем водозабора из подземных водных объектов, осуществляемый в порядке, установленном законодательством;  $W_{\text{вв}}$  – возвратные воды на водохозяйственном участке: подземные и поверхностные воды, сточные и/или дренажные воды, отводимые в водные объекты;  $W_{\text{дот}}$  – дотационный объем воды, поступающий на водохозяйственный участок из систем

\* Работа выполнена при финансовой поддержке гранта фундаментальных и прикладных научных исследований по проблемам Брестской области № Х14Б-005 от 01.04.2014 г.

территориального перераспределения стока (межбассейновые и внутрибассейновые переброски);  $\pm\Delta V$  – сработка или наполнение прудов и водохранилищ на расчетном водохозяйственном участке;  $W_{исп}$  – потери на дополнительное испарение с акватории водоемов;  $W_{\phi}$  – фильтрационные потери из водохранилищ, каналов, других поверхностных водных объектов в пределах расчетного водохозяйственного участка;  $W_y$  – уменьшение речного стока, вызванное водозабором из подземных водных объектов, имеющих гидравлическую связь с рекой;  $W_{пер}$  – переброска части стока (объема воды) за пределы расчетного водохозяйственного участка;  $W_{вдп}$  – суммарные требования всех водопользователей данного расчетного водохозяйственного участка;  $W_{кп}$  – требуемая величина стока в замыкающем створе расчетного водохозяйственного участка (транзитный сток или комплексный попуск, в котором суммированы санитарно-экологические и хозяйственные попуски).

Река Ясельда, протекающая в Брестской области Республики Беларусь, относится по классификации к малым рекам. Однако, протекая по достаточно промышленно развитым населенным пунктам (г. Береза, г. Белоозерск, г.п. Мотоль и т. д.), она подвергается различного рода загрязнениям. Кроме того, верховье реки имеет крупное водохранилище Селец, основное назначение которого – накопление водных ресурсов для обеспечения водоснабжения рыбхоза «Селец». Объем водопотребления рыбхоза составляет значительную часть объема стока реки в данном створе.

Наблюдения за стоком р. Ясельда велись на двух гидрометрических постах. С 1972 по 1991 г. велись наблюдения на посту Хорева. Наблюдения на гидрометрическом посту р. Ясельда – г. Береза ведутся с 1929 г. по настоящее время с перерывом в 11 лет (1934–1945 гг.).

Для уточнения стока Ясельды в створе водохранилища выполнены гидрологические исследования. Оценка расходов различной обеспеченности выполнялась по гидрометрическому посту р. Ясельда – г. Береза. Так как на итоговый годовой сток в данном створе не оказывает значимого влияния на водохранилище внутри сезонного регулирования, среднегодовой расход можно рассматривать как естественный сток. При этом восстановление данных наблюдений не требуется и для анализа используется весь доступный ряд наблюдений (1945–2013 гг.). Анализ однородности подтвердил выдвинутую гипотезу.

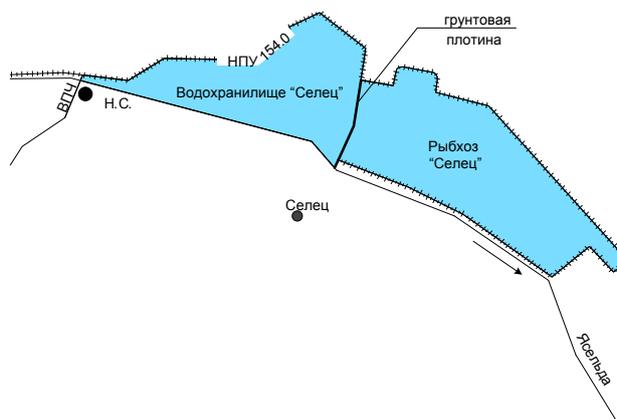
Водохранилище «Селец» является наибольшим водохранилищем в бассейне Ясельды. Его строительство продолжалось с октября 1977 по 1986 г. Оно предназначено для рыбоводного хозяйства, увлажнения сельскохозяйственных угодий, противопожарных и хозяйственных нужд. Основные характеристики водохранилища приведены в таблице 1, а его схема – на рисунке 1.

Неотъемлемой частью работы водохранилища являются попуски воды в нижний бьеф. Попуски

**Таблица 1.** – Основные характеристики водохранилища «Селец»

Характеристика	Количество
Площадь водосбора в створе плотины, км <sup>2</sup>	681
Объем годового стока 75% обеспеченности, млн м <sup>3</sup>	93,58
То же, 50% обеспеченности, млн м <sup>3</sup>	101
Максимальный расход воды весеннего половодья $P = 1\%$ , м <sup>3</sup> /с	98,1
Максимальный сбросной расход воды при ФПУ, м <sup>3</sup> /с	68,0
Среднемноголетний расход воды, м <sup>3</sup> /с	3,52
Вид регулирования стока	Сезонное
Длина, км	11,3
Ширина максимальная, км	4,1
Ширина средняя, км	1,84
Площадь зеркала при НПУ, км <sup>2</sup>	20,7
Объем полный, млн м <sup>3</sup>	56,3
Объем полезный, млн м <sup>3</sup>	41,5
Отметка форсированного подпорного уровня ФПУ, м	154,26
Отметка нормального подпорного уровня, НПУ, м	154,0
Отметка уровня мертвого объема, УМО, м	151,5
Средняя глубина при НПУ, м	2,7
Глубина максимальная при НПУ, м	5,4

**Примечание.** ФПУ – форсированный подпорный уровень, НПУ – нормальный подпорный уровень, УМО – уровень мертвого объема.



**Рисунок 1.** – Схема водохранилища «Селец»

необходимы для нормальной работы водозаборов, поддержания санитарного состояния реки, обеспечения судоходства, а в некоторых случаях – обводнения пойм и нерестилищ. В данном случае попуски в нижний бьеф поддерживают нормальные санитарно-экологические условия на реке, а также в период весеннего половодья обеспечивают затопление пойменных территорий биологический заказник Споровский. В соответствии с корректив-

ровками правил эксплуатации водохозяйственного комплекса «Селец» (Реализация первоочередных мероприятий планов управления ключевыми низинными болотами Белоруссии ВУЕ 02/001 BL21/02) предусматриваются попуски в размере 6,83 млн м<sup>3</sup> в год 75% обеспеченности. В очень маловодные годы попуски не предусматриваются.

#### Результаты и их обсуждение

Для оценки объема санитарно-экологических попусков в нижний бьеф рассмотрены основные существующие на данный момент методы оценки минимального экологически обоснованного стока. Проанализировав основные требования, предъявляемые к его величине, и вычислив на их основе минимальный экологически обоснованный сток р. Ясельда, выявили значительное расхождение в результатах. Различия в результатах (таблица 2) в первую очередь связаны с различиями в предпосылках

каждого метода, а также в экономических и социальных условиях, при которых они формировались.

Наиболее перспективной видится методика переноса обеспеченностей [2], так как она обладает возможностью внутригодовой изменчивости экологического стока. В данном случае полученные результаты этим методом могут быть рекомендованы к использованию при составлении (уточнении) водохозяйственного баланса в бассейне р. Ясельда. При этом может быть частичное зонирование параметров переноса обеспеченностей в зависимости от естественных условий реки, уровня развития промышленности, уровня трансформации ландшафтов, исторической или социальной значимости района.

Для дальнейшего анализа будем использовать расчетные значения, приведенные в колонках «ряд 3» и «ряд 5» таблицы 2 [2].

**Таблица 2.** – Сводная таблице оценки экологического стока р. Ясельда различными методами, м<sup>3</sup>/с

Месяцы	Естественный сток	Перенос обеспеченностей (упрощенный метод)	Перенос обеспеченностей	Метод, применяемый в Швейцарии	Метод, применяемый в Беларуси	Метод, применяемый в Украине	Минимальных расходов (коэффициент вариации)	Минимальных расходов (20% минимального суточного расхода)
	1	2	3	4	5	6	7	8
3	9,02	6,86	7,59	0,86	0,13	0,132	0,22	0,05
4	13,85	10,53	11,65	0,86	0,13	0,132	0,22	0,05
5	4,18	3,18	3,52	0,86	0,13	0,132	0,22	0,05
6	0,76	0,58	0,64	0,86	0,13	0,132	0,22	0,05
7	0,53	0,40	0,44	0,86	0,13	0,132	0,22	0,05
8	0,26	0,20	0,22	0,86	0,13	0,132	0,22	0,05
9	0,20	0,15	0,17	0,86	0,13	0,132	0,22	0,05
10	0,44	0,34	0,37	0,86	0,13	0,132	0,22	0,05
11	0,70	0,53	0,59	0,86	0,13	0,132	0,22	0,05
12	1,29	0,98	1,08	0,86	0,13	0,132	0,22	0,05
1	0,76	0,58	0,64	0,86	0,13	0,132	0,22	0,05
2	0,42	0,32	0,36	0,86	0,13	0,132	0,22	0,05
Год	2,71	2,06	2,28	0,86	0,13	0,132	0,22	0,05

Суммарные требования всех водопользователей данного расчетного водохозяйственного участка включают непосредственно водоснабжение рыбхоза и обеспечение увлажнения сельскохозяйственных угодий.

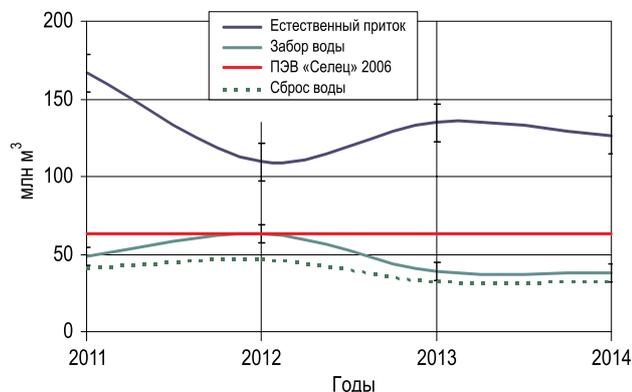
Уточненные значения водопотребления рыбхоза в соответствии с «Правилами эксплуатации водохранилища «Селец» Березовского района Брестской области» (ПЭВ «Селец» 2006) приведены в таблице 3.

Сопоставление данных учета объема водозабора из водохранилища за 2011–2014 гг. показывает, что годовой объем забора воды для всех рассматриваемых лет меньше расчетного значения при обеспеченности 75%, только при обеспеченности 90% в 2012 г. присутствует незначительное превышение потребления в размере 1,66 млн м<sup>3</sup>. Рассматриваемый период с позиции водности имеет обеспеченности: 2011 г. – 11% (очень многоводный год); 2012 г. – 50% (средний год); 2013 г. – 27%

**Таблица 3.** – Объем подачи воды из водохранилища в рыбхоз «Селец», млн м<sup>3</sup>

Обеспеченность	Месяцы												Год
	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	
75%	2,21	3,36	1,59	1,08	2,15	2,09	11,7	14,01	9,14	5,44	5,67	4,78	63,22
90%	2,73	3,9	2,4	2,14	2,71	2,52	9,77	13,29	8,35	4,46	4,59	4,56	61,42

(многоводный год); 2014 г. – 34% (многоводный год). Потребление за 2011–2014 гг. не имеет устойчивой структуры. В среднем объем забора составляет менее половины естественного притока р. Ясельда (рисунок 2).



**Рисунок 2.** – Динамика объемов забора воды из водохранилища на фоне естественного притока

В среднем разность объемов заборов и сбросов воды за данный период составила 9 млн м<sup>3</sup>. Согласно исследованиям, проведенным сотрудниками Брестского государственного технического университета в 2006 г., потери на испарение воды с прудов рыбхоза для года 75% обеспеченности составляет 5,01 млн м<sup>3</sup>, а на территории рыбхоза формируется приток в объеме 17,35 млн м<sup>3</sup>, что в полной мере покрывает дополнительное испарение. Расчетная величина разности объема забора и объема отводимых водных ресурсов с учетом перекачки воды насосной станцией составляет 10,02 млн м<sup>3</sup> (год 75% обеспеченности). Таким образом, остаются неизвестными причины практически двукратного расхождения натурных данных и проектных.

Анализ внутригодовой структуры водопотребления показал, что наиболее значительно проявляются превышения забора воды по сравнению с расчетными в ноябре и декабре. Это связано с подготовкой к зимовке на прудах рыбхоза. В большинстве случаев данный период с экологической точки зрения не является лимитирующим, так как в этот период замедляются биологические процессы в водоемах. Таким образом, рассматривая данные реального забора воды из водохранилища и расчетные значе-

ния можно сделать вывод, что оценка потребности в воде рыбхозом выполнена объективно. В дальнейшем для составления водохозяйственного баланса использовались как расчетные величины водопотребления, так и наблюдаемые.

Потребность воды для целей сельскохозяйственного водоснабжения, связанных с необходимостью проведения подпочвенного увлажнения сельскохозяйственных угодий, первоначально определенная проектом, требует пересмотра. В настоящее время экономически доказана низкая эффективность увлажнения пропашных культур, которые являются основной возделываемой культурой в аграрном секторе данного региона. Таким образом, видится рациональным использование водных ресурсов водохранилища «Селец» для увлажнения только при наличии профицита текущего водного баланса. Как и в случае попусков в нижний бьеф для нужд заказчика, подача воды на увлажнение будет рассматриваться в одном из вариантов водохозяйственного баланса. Объемы подачи воды на увлажнение приведены в таблице 4.

Основная доля потерь воды на фильтрацию формируется за счет фильтрации через тело плотины. Для их оценки рассматривалась модель фильтрации через однородную плотину на водопроницаемом основании.

Потери воды на испарение определялись на основе формулы Кузьмина для водохранилища с площадью поверхности более 100 м<sup>2</sup>. Для оценки потерь воды на испарение выполнен анализ изменения температур воды в р. Ясельда. Продолжительность временного ряда наблюдений за среднемесячными температурами воды составляет 6 лет; это не позволит выполнить оценку испарения с водной поверхности с достаточной точностью. Для повышения точности оценок выполнено продление данных наблюдений за температурой воды по температуре атмосферного воздуха с использованием статистических регрессионных зависимостей.

На основе данных по температуре воды и воздуха, относительной влажности воздуха и скорости ветра выполнена оценка испарения с водной поверхности за период с 1973 по 2013 г. Это позволило оценить параметры функции распределения случайной величины испарения со свободной поверхности. Расчетные величины приведены в таблице 5. Также была классифицирована внутригодовая структура испарения для маловодного и очень маловодного года.

**Таблица 4.** – Объем подачи воды из водохранилища для водоснабжения и увлажнения

Характеристика	Объем воды, млн м <sup>3</sup>												Год
	09	10	11	12	01	02	03	04	05	06	07	08	
Сельскохозяйственное водоснабжение	0,13	0,14	0,13	0,14	0,14	0,12	0,14	0,13	0,14	0,13	0,14	0,14	1,62
Увлажнение сельскохозяйственных угодий									0,11	0,29	0,33	0,18	0,91

**Таблица 5.** – Испарение с водной поверхности, мм

Надежность, %	5	10	25	50	75	80	90	95
Величина, мм	588	616	665	725	790	807	853	894

Для водохранилищ со сроком эксплуатации более 15 лет потери на фильтрацию из водохранилища снижаются примерно в два раза (ТПК 17.06-03-2008). Снижение коэффициента фильтрации происходит в связи с кальматацией песчаных пород. Расчетная величина потерь на фильтрацию определится по формуле

$$W_{\phi} = k_{\phi} \frac{H_1^2 - H_2^2}{2 \cdot (L_{yp} + 0,4 \cdot H_1)} \cdot L_{плот} \cdot t, \quad (2)$$

где  $H_1$ ,  $H_2$  – возвышение уровня воды соответственно верхнего и нижнего бьефов над водопором, м;  $L_{yp}$  – расстояние между линиями уреза воды в верхнем и нижнем бьефах, м;  $L_{плот}$  – длина плотины, м.

Уровень воды [в] верхнем бьефе будет зависеть от наполнения водохранилища, а уровень в нижнем бьефе принимаем постоянным. Длину плотины принимаем равной 4400 м, и коэффициент фильтрации для песчаных грунтов 5,2 м/сут.

Водохозяйственные расчеты выполнены для нескольких расчетных случаев:

1. Год 75% обеспеченности и проектное водопотребление рыбхоза (таблица 6);
2. Год 75% обеспеченности и среднее водопотребление и водоотведение рыбхоза за 2011–2014 гг. (таблица 7);
3. Год 75% обеспеченности, среднее водопотребление без учета экологического стока (таблица 8).

Сопоставление полученных результатов на рисунке 3 позволяет утверждать, что во всех расчетных случаях имеет место дефицит объема стока в период весеннего половодья. Особенно это про-

является для третьего расчетного случая. В осенний период для второго и третьего расчетного случаев значительно возрастают объемы месячного стока, что в принципе не может их характеризовать с отрицательной стороны. Первый расчетный случай позволяет достичь наибольшего копирования гидрографа экологического стока. Однако на данном этапе применение его невозможно, так как структура водопотребления предприятия ОАО «Опытный рыбхоз «Селец» претерпела значительные изменения.

### Выводы

Анализ результатов водохозяйственного баланса без учета обязательных попусков в нижний бьеф для биологического заказника «Споровский» (условие затопления поймы уже учтено в экологическом стоке) указывает, что приближение гидрографа к экологически обоснованному возможно только при условии подачи воды насосной станцией. За год в целом водопотребление рыбхоза обеспечивается полностью, однако перераспределение стока внутри года может привести к значительным экологическим последствиям.

Для третьего расчетного случая (таблица 8) сток реки ниже гидроузла трансформирован, и даже попуски в марте–апреле в размере 8,02 млн м<sup>3</sup> не могут значимо скорректировать гидрограф реки.

Применение машинного водоподъема для любых условий эксплуатации водохранилища в современных социальных, экологических, экономических и климатических условиях не может в полной мере обеспечить поддержание экологически безопасного расхода воды в р. Ясельда. Однако значимость продовольственной безопасности, поддержание которой в полной мере обеспечивает ОАО «Опытный рыбхоз «Селец», должна учитываться при принятии управленческих решений по развитию региона в целом.

**Рисунок 3.** – Гидрограф объемов стока в створе гидроузла для различных расчетных случаев

Таблица 6. – Водохозяйственный баланс, 1-й расчетный случай

Характеристика	Месяц												Год
	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	
Естественный приток, млн м <sup>3</sup>	0,76	1,88	3,02	4,61	2,65	1,49	20,23	30,16	9,46	3,05	2,23	1,22	80,76
Проектный приток, млн м <sup>3</sup>	0,76	1,88	3,02	4,61	2,65	1,49	20,23	30,16	9,46	3,05	2,23	1,22	80,76
Сельскохозяйственное водоснабжение, млн м <sup>3</sup>	0,13	0,14	0,13	0,14	0,14	0,12	0,14	0,13	0,14	0,13	0,14	0,14	1,62
Водопотребление рыбхоза, млн м <sup>3</sup>	2,21	3,36	1,59	1,09	2,15	2,09	9,70	16,01	9,14	5,44	5,67	4,78	63,23
Увлажнение сельхоз. угодий, млн м <sup>3</sup>									0,11	0,29	0,33	0,18	0,91
Итого водопотребление, млн м <sup>3</sup>	2,34	3,50	1,72	1,23	2,29	2,21	9,84	16,14	9,39	5,86	6,14	5,10	65,76
Избытки, млн м <sup>3</sup>	0,00	0,00	1,30	3,38	0,36	0,00	10,39	14,02	0,07	0,00	0,00	0,00	0,00
Недостатки, млн м <sup>3</sup>	-1,58	-1,62	0,00	0,00	0,00	-0,72	0,00	0,00	0,00	-2,81	-3,91	-3,88	-1,58
Сброс (подача воды в нижний бьеф), млн м <sup>3</sup>							8,00	15,72					
Подача воды насосной станцией, млн м <sup>3</sup>	4,00	3,00	2,00									5,00	4,00
Предварительный объем водохранилища на начало расчетного интервала, млн м <sup>3</sup>	14,80	16,63	17,54	20,45	23,55	23,63	22,62	24,50	22,03	21,21	17,46	12,69	14,80
Предварительный объем водохранилища на конец расчетного интервала, млн м <sup>3</sup>	17,22	18,01	20,83	23,84	23,91	22,90	25,01	22,80	22,10	18,40	13,55	13,81	17,22
Расчетный объем водохранилища, млн м <sup>3</sup>	16,01	17,32	19,19	22,14	23,73	23,26	23,81	23,65	22,06	19,80	15,51	13,25	16,01
Расчетная площадь водохранилища, га	1254	1314	1391	1495	1543	1529	1545	1541	1492	1414	1230	1111	1254
Распределение испарения, %	9,98	6,11	3,03	0,00	0,00	0,00	5,18	11,37	14,72	17,06	18,27	14,29	9,98
Дополнительное испарение, мм	27,53	16,86	8,35	0,00	0,00	0,00	14,28	31,37	40,62	47,07	50,42	39,43	27,53
Потери на испарение, млн м <sup>3</sup>	0,35	0,22	0,12	0,00	0,00	0,00	0,22	0,48	0,61	0,67	0,62	0,44	0,35
Отметка воды в водохранилище, м	151,74	151,85	152,01	152,22	152,31	152,29	152,32	152,31	152,21	152,05	151,69	151,45	151,74
Фильтрация из водохранилища, млн м <sup>3</sup>	0,25	0,25	0,27	0,28	0,29	0,29	0,29	0,29	0,28	0,27	0,24	0,23	0,25
Уточнение потерь воды													
Объем водохранилища на начало расчетного интервала, млн м <sup>3</sup>	14,80	16,64	17,55	20,46	23,57	23,64	22,63	24,51	22,05	21,24	17,50	12,74	14,80
Объем водохранилища на конец расчетного интервала, млн м <sup>3</sup>	16,63	17,54	20,46	23,57	23,64	22,63	24,51	22,04	21,23	17,49	12,73	13,19	16,63
Расчетный объем водохранилища, млн м <sup>3</sup>	15,71	17,09	19,00	22,01	23,60	23,13	23,57	23,28	21,64	19,36	15,11	12,97	15,71
Расчетная площадь водохранилища, га	1240	1304	1383	1491	1539	1526	1538	1530	1478	1397	1210	1095	1240
Распределение испарения, %	10,0	6,1	3,0	0,0	0,0	0,0	5,2	11,4	14,7	17,1	18,3	14,3	10,0
Дополнительное испарение, мм	27,5	16,9	8,3	0,0	0,0	0,0	14,3	31,4	40,6	47,1	50,4	39,4	27,5
Потери на испарение, млн м <sup>3</sup>	0,34	0,22	0,12	0,00	0,00	0,00	0,22	0,48	0,60	0,66	0,61	0,43	0,34
Отметка воды в водохранилище, м	151,71	151,83	151,99	152,21	152,31	152,28	152,30	152,29	152,18	152,02	151,65	151,42	151,71
Фильтрация из водохранилища, млн м <sup>3</sup>	0,24	0,25	0,26	0,28	0,29	0,29	0,29	0,29	0,28	0,27	0,24	0,22	0,24

Окончание таблицы 6

Характеристика	Месяц												Год
	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	
	Уточнение потерь воды												
Объем водохранилища на начало расчетного интервала, млн м <sup>3</sup>	14,80	16,64	17,55	20,46	23,57	23,64	22,63	24,51	22,05	21,24	17,50	12,74	
Объем водохранилища на конец расчетного интервала, млн м <sup>3</sup>	16,64	17,55	20,46	23,57	23,64	22,63	24,51	22,05	21,24	17,50	12,74	13,20	
Водоотведение рыбхоза «Селец», млн м <sup>3</sup>	9,50	17,29	3,22	3,33	3,33	3,01	4,63	4,81	6,31	4,88	5,05	10,20	75,6
Сток р. Ясельда ниже гидроузла, млн м <sup>3</sup>	5,74	14,54	1,48	3,61	3,62	3,30	12,92	20,82	6,59	5,15	5,29	5,42	88,48
Отклонение стока от расчетного, млн м <sup>3</sup>	4,98	12,66	-1,53	-1,00	0,97	1,81	-7,31	-9,35	-2,87	2,10	3,06	4,21	7,72
Экологический сток, млн м <sup>3</sup>	0,37	0,86	1,30	2,49	1,42	0,73	17,36	25,80	8,05	1,41	1,02	0,49	61,30
Отклонение стока от экологического, млн м <sup>3</sup>	5,37	13,69	0,18	1,12	2,20	2,56	-4,44	-4,98	-1,46	3,74	4,27	4,93	27,18

Таблица 7. – Водохозяйственный баланс, 2-й расчетный случай

Характеристика	Месяц												Год
	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	
	Месяц												
Естественный приток, млн м <sup>3</sup>	0,76	1,88	3,02	4,61	2,65	1,49	20,23	30,16	9,46	3,05	2,23	1,22	80,76
Проектный приток, млн м <sup>3</sup>	0,76	1,88	3,02	4,61	2,65	1,49	20,23	30,16	9,46	3,05	2,23	1,22	80,76
Сельскохозяйственное водоснабжение, млн м <sup>3</sup>	0,13	0,14	0,13	0,14	0,14	0,12	0,14	0,13	0,14	0,13	0,14	0,14	1,62
Водопотребление рыбхоза, млн м <sup>3</sup>	2,72	2,89	3,99	3,22	3,22	3,70	5,84	4,71	5,46	4,19	4,11	2,94	46,98
Увлажнение сельхоз. угодий, млн м <sup>3</sup>									0,11	0,29	0,33	0,18	0,91
Итого водопотребление, млн м <sup>3</sup>	2,85	3,03	4,12	3,36	3,36	3,82	5,98	4,84	5,71	4,61	4,58	3,26	49,51
Избытки, млн м <sup>3</sup>	0,00	0,00	0,00	1,26	0,00	0,00	14,25	25,33	3,75	0,00	0,00	0,00	44,58
Недостатки, млн м <sup>3</sup>	-2,09	-1,15	-1,10	0,00	-0,71	-2,33	0,00	0,00	0,00	-1,56	-2,35	-2,04	-13,33
Сброс (подача воды в нижний бьеф), млн м <sup>3</sup>							13,68	18,19	5,00				36,87
Подача воды насосной станцией, млн м <sup>3</sup>	4,00	3,00	2,80									0,95	10,75
Предварительный объем водохранилища на начало расчетного интервала, млн м <sup>3</sup>	14,80	16,12	17,50	18,82	19,81	18,84	16,25	16,39	22,82	20,67	18,18	14,92	
Предварительный объем водохранилища на конец расчетного интервала, млн м <sup>3</sup>	16,71	17,97	19,20	20,08	19,11	16,51	16,82	23,53	21,56	19,11	15,83	13,82	
Расчетный объем водохранилища, млн м <sup>3</sup>	15,75	17,05	18,35	19,45	19,46	17,67	16,54	19,96	22,19	19,89	17,00	14,37	
Расчетная площадь водохранилища, га	1242	1302	1357	1401	1401	1329	1279	1420	1496	1417	1300	1172	
Распределение испарения, %	9,98	6,11	3,03	0,00	0,00	0,00	5,18	11,37	14,72	17,06	18,27	14,29	
Дополнительное испарение, мм	27,53	16,86	8,35	0,00	0,00	0,00	14,28	31,37	40,62	47,07	50,42	39,43	276

Характеристика	Месяц												Год
	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	
Потери на испарение, млн м <sup>3</sup>	0,34	0,22	0,11	0,00	0,00	0,00	0,18	0,45	0,61	0,67	0,66	0,46	3,69
Отметка воды в водохранилище, м	151,71	151,83	151,94	152,03	152,03	151,89	151,79	152,07	152,22	152,06	151,83	151,57	
Фильтрация из водохранилища, млн м <sup>3</sup>	0,24	0,25	0,26	0,27	0,27	0,26	0,25	0,27	0,28	0,27	0,25	0,23	3,11
<b>Уточнение потерь воды</b>													
Объем водохранилища на начало расчетного интервала, млн м <sup>3</sup>	14,80	16,13	17,51	18,84	19,83	18,85	16,27	16,41	22,84	20,70	18,22	14,97	
Объем водохранилища на конец расчетного интервала, млн м <sup>3</sup>	16,12	17,51	18,83	19,82	18,85	16,27	16,41	22,83	20,69	18,21	14,96	13,18	
Расчетный объем водохранилища, млн м <sup>3</sup>	15,46	16,82	18,17	19,33	19,34	17,56	16,34	19,62	21,77	19,45	16,59	14,07	
Расчетная площадь водохранилища, га	1227	1291	1350	1396	1396	1324	1269	1407	1483	1401	1281	1156	
Распределение испарения, %	10,0	6,1	3,0	0,0	0,0	0,0	5,2	11,4	14,7	17,1	18,3	14,3	
Дополнительное испарение, мм	27,5	16,9	8,3	0,0	0,0	0,0	14,3	31,4	40,6	47,1	50,4	39,4	276
Потери на испарение, млн м <sup>3</sup>	0,34	0,22	0,11	0,00	0,00	0,00	0,18	0,44	0,60	0,66	0,65	0,46	3,65
Отметка воды в водохранилище, м	151,68	151,81	151,93	152,02	152,02	151,88	151,77	152,04	152,19	152,03	151,79	151,54	
Фильтрация из водохранилища, млн м <sup>3</sup>	0,24	0,25	0,26	0,27	0,27	0,26	0,25	0,27	0,28	0,27	0,25	0,23	3,09
<b>Уточнение потерь воды</b>													
Объем водохранилища на начало расчетного интервала, млн м <sup>3</sup>	14,80	16,13	17,51	18,84	19,83	18,85	16,27	16,41	22,84	20,70	18,22	14,97	
Объем водохранилища на конец расчетного интервала, млн м <sup>3</sup>	16,13	17,51	18,84	19,83	18,85	16,27	16,41	22,84	20,70	18,22	14,97	13,19	
Водоотведение рыбхоза «Селец», млн м <sup>3</sup>	4,44	4,31	3,83	2,72	2,10	2,67	3,53	4,18	2,83	2,29	1,94	2,92	37,8
Сток р. Ясельда ниже гидроузла, млн м <sup>3</sup>	0,68	1,56	1,29	2,99	2,37	2,93	17,46	22,64	8,11	2,56	2,19	2,20	66,97
Отклонение стока от расчетного, млн м <sup>3</sup>	-0,08	-0,32	-1,72	-1,63	-0,28	1,44	-2,77	-7,53	-1,35	-0,49	-0,04	0,99	-13,79
Экологический сток, млн м <sup>3</sup>	0,37	0,86	1,30	2,49	1,42	0,73	17,36	25,80	8,05	1,41	1,02	0,49	61,30
Отклонение стока от экологического, млн м <sup>3</sup>	0,31	0,71	-0,01	0,50	0,95	2,20	0,11	-3,16	0,05	1,15	1,17	1,71	5,67

Таблица 8. – Водохозяйственный баланс, 3-й расчетный случай

Характеристика	Месяц												Год
	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	
Естественный приток, млн м <sup>3</sup>	0,76	1,88	3,02	4,61	2,65	1,49	20,23	30,16	9,46	3,05	2,23	1,22	80,76
Проектный приток, млн м <sup>3</sup>	0,76	1,88	3,02	4,61	2,65	1,49	20,23	30,16	9,46	3,05	2,23	1,22	80,76
Сельскохозяйственное водоснабжение, млн м <sup>3</sup>	0,13	0,14	0,13	0,14	0,14	0,12	0,14	0,13	0,14	0,13	0,14	0,14	1,62
Водопотребление рыбхоза, млн м <sup>3</sup>	2,21	3,36	1,59	1,09	2,15	2,09	9,70	16,01	9,14	5,44	5,67	4,78	63,23
Увлажнение сельхоз. угодий, млн м <sup>3</sup>									0,11	0,29	0,33	0,18	0,91

Окончание таблицы 8

Характеристика	Месяц												Год
	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	
Итого водопотребление, млн м <sup>3</sup>	2,34	3,50	1,72	1,23	2,29	2,21	9,84	16,14	9,39	5,86	6,14	5,10	65,76
Избытки, млн м <sup>3</sup>	0,00	0,00	1,30	3,38	0,36	0,00	10,39	14,02	0,07	0,00	0,00	0,00	0,00
Недостатки, млн м <sup>3</sup>	-1,58	-1,62	0,00	0,00	0,00	-0,72	0,00	0,00	0,00	-2,81	-3,91	-3,88	-1,58
Сброс (подача воды в нижний бьеф), млн м <sup>3</sup>							4,00	4,02					8,02
Подача воды насосной станцией, млн м <sup>3</sup>													0,00
Предварительный объем водохранилища на начало расчетного интервала, млн м <sup>3</sup>	14,80	12,67	10,67	11,67	14,83	14,95	13,99	19,94	29,15	28,23	24,35	19,40	
Предварительный объем водохранилища на конец расчетного интервала, млн м <sup>3</sup>	13,22	11,06	11,96	15,05	15,19	14,22	20,38	29,94	29,22	25,42	20,44	15,52	
Расчетный объем водохранилища, млн м <sup>3</sup>	14,01	11,86	11,32	13,36	15,01	14,59	17,18	24,94	29,19	26,82	22,40	17,46	
Расчетная площадь водохранилища, га	1153	1029	994	1117	1205	1183	1308	1577	1677	1624	1503	1320	
Распределение испарения, %	9,98	6,11	3,03	0,00	0,00	0,00	5,18	11,37	14,72	17,06	18,27	14,29	
Дополнительное испарение, мм	27,53	16,86	8,35	0,00	0,00	0,00	14,28	31,37	40,62	47,07	50,42	39,43	275,92
Потери на испарение, млн м <sup>3</sup>	0,32	0,17	0,08	0,00	0,00	0,00	0,19	0,49	0,68	0,76	0,76	0,52	3,98
Отметка воды в водохранилище, м	151,53	151,28	151,21	151,46	151,64	151,59	151,84	152,38	152,60	152,49	152,23	151,87	
Фильтрация из водохранилища	0,23	0,21	0,21	0,23	0,24	0,24	0,25	0,29	0,31	0,30	0,28	0,26	3,06
<i>Уточнение потерь воды</i>													
Объем водохранилища на начало расчетного интервала, млн м <sup>3</sup>	14,80	12,68	10,68	11,68	14,84	14,96	14,00	19,96	29,18	28,26	24,39	19,45	
Объем водохранилища на конец расчетного интервала, млн м <sup>3</sup>	12,67	10,67	11,68	14,84	14,96	14,00	19,95	29,17	28,25	24,38	19,44	14,79	
Расчетный объем водохранилища, млн м <sup>3</sup>	13,74	11,68	11,18	13,26	14,90	14,48	16,98	24,56	28,71	26,32	21,91	17,12	
Расчетная площадь водохранилища, га	1138	1017	986	1111	1199	1178	1299	1567	1667	1612	1487	1305	
Распределение испарения, %	10,0	6,1	3,0	0,0	0,0	0,0	5,2	11,4	14,7	17,1	18,3	14,3	
Дополнительное испарение, мм	27,5	16,9	8,3	0,0	0,0	0,0	14,3	31,4	40,6	47,1	50,4	39,4	275,92
Потери на испарение, млн м <sup>3</sup>	0,31	0,17	0,08	0,00	0,00	0,00	0,19	0,49	0,68	0,76	0,75	0,51	3,94
Отметка воды в водохранилище, м	151,50	151,26	151,20	151,45	151,63	151,58	151,82	152,36	152,58	152,46	152,20	151,84	
Фильтрация из водохранилища	0,23	0,21	0,21	0,23	0,24	0,24	0,25	0,29	0,31	0,30	0,28	0,25	3,04
<i>Уточнение потерь воды</i>													
Объем водохранилища на начало расчетного интервала, млн м <sup>3</sup>	14,80	12,68	10,68	11,68	14,84	14,96	14,00	19,96	29,18	28,26	24,39	19,45	
Объем водохранилища на конец расчетного интервала, млн м <sup>3</sup>	12,68	10,68	11,68	14,84	14,96	14,00	19,96	29,18	28,26	24,39	19,45	14,80	
Водоотведение рыбхоза «Селец», млн м <sup>3</sup>	9,50	17,29	3,22	3,33	3,33	3,01	4,63	4,81	6,31	4,88	5,05	10,20	75,6
Сток р. Ясельда ниже гидроузла, млн м <sup>3</sup>	9,73	17,50	3,43	3,56	3,57	3,25	8,88	9,12	6,62	5,18	5,33	10,45	86,62
Отклонение стока от расчетного, млн м <sup>3</sup>	8,97	15,62	0,41	-1,06	0,92	1,76	-11,35	-21,04	-2,84	2,13	3,10	9,24	5,86

**ЛИТЕРАТУРА**

1. Волчек, А. А. Внутригодовое распределение стока рек Беларуси и его статистическое моделирование / А. А. Волчек, О. Н. Натарова // Вестн. Брест. гос. техн. ун-та. – 2010. – № 2 (62). – С. 46–55.
2. Волчек, А. А. Внутригодовое распределение стока рек Беларуси и его статистическое моделирование / А. А. Волчек, Т. Е. Зубрицкая, Н. Н. Шешко // Прыроднае асяроддзе Палесся: асаблівасці і перспектывы развіцця. – Брэст, 2015. – Вып. 8. – С. 6–15.