

3. Актуальные вопросы экологии и охраны природы экосистем малых рек: Межресп. науч.-практ. конф.: Сб. материалов, Краснодар, 20–23 июня 1992 г. / под ред. В.Я. Кагалевский. – Краснодар, 1992. – 228 с.

4. Волчек, А.А. Методика оценки трансформации гидрографической сети (на примере ООПТ «Беловежская пуца») / А.А. Волчек, Н.Н. Шешко // Вестник Брестского государственного технического университета. – 2011. – № 2(68): Водохозяйственное строительство и теплотехника. – С. 20–25.

5. Волчек, А.А. Методика оценки трансформации гидрографической сети / А.А. Волчек, Н.Н. Шешко // Инновационные технологии в мелиорации и сельскохозяйственном использовании мелиорированных земель: тезисы докладов международной научно-практической конференции, Минск, 15–17 сентября 2010 г. / РУП «Институт мелиорации» ; ред. кол. Н.К. Вахонин, А.П. Лихацевич [и др.]. – Минск, 2010. – С. 69–71.

6. Мильков, Ф.Н. Бассейн рек как парадинамическая ландшафтная система и вопросы природопользования / Ф.Н. Мильков // География и природные ресурсы. – 1981. – № 4. – С. 11–18.

7. Михно, В. Б. Системная организации ландшафтов речных бассейнов Центрального Черноземья / В.Б. Михно // Эколого-геологические исследования в речных бассейнах: материалы международной науч.-практ. конф. – Воронеж, 2001. – С. 45–49.

8. Мильков, Ф.Н. Междуречные ландшафты среднерусской лесостепи / Ф.Н. Мильков и др. – Воронеж: Издательство Воронежского университета, 1990. – 232 с.

УДК 626.81

ОСОБЕННОСТИ УПРАВЛЕНИЯ ВОДНЫМ РЕЖИМОМ ТЕРРИТОРИИ ЛАНДШАФТНОГО ЗАКАЗНИКА «ЗВАНЕЦ»

Волчек А.А., Мешик О.П., Шешко Н.Н., Малашевич В.В.*, Образцов Л.В.

Учреждение образования «Брестский государственный технический университет», г. Брест, Республика Беларусь, vig_bstu@tut.by

* Общественная организация «Ахова птушак бацькаўшчыны», г. Минск, Республика Беларусь, info@ptushki.org

The article contains the results of research of the water regime Zvanets mire. The authors proposed a scheme for management of water resources.

Введение

Ландшафтный заказник «Званец» имеет площадь 16227 га и расположен на территории Дрогичинского и Кобринского районов Брестской области. С севера ограничен Днепровско-Бугским каналом, с запада и востока Ореховским и Белоозерским каналами. В пределах границ заказника расположено одноименное крупнейшее в Беларуси болото.

Болото «Званец» характеризуется значительным биологическим разнообразием. На его территории произрастают 6 уникальных и редких растительных

сообществ региональной и национальной значимости и 4 – международной значимости. Из 644 выявленных видов высших сосудистых растений, 67 видов требуют различных форм охраны. В Красную книгу Беларуси [1] включено видов: птиц – 17, млекопитающих – 2, рептилий – 1, земноводных – 1, наземных беспозвоночных – 15, водных беспозвоночных – 3. Из 125 выявленных видов птиц, 30 имеют европейский охранный статус. Международная значимость болота «Званец» – поддержание глобально угрожаемых видов птиц: самой крупной в Европе популяции вертлявой камышевки *Acrocephalus paludicola* (16 % европейской популяции), большого подорлика *Aquila clanga*.

Водный режим болота можно считать антропогенно преобразованным. В настоящее время болото окружено крупными каналами и мелиоративными системами. Целью работы является оценка текущего состояния гидролого-климатических и гидрогеологических характеристик территории ландшафтного заказника «Званец» с учетом существующего состояния мелиоративной сети и гидротехнических сооружений, разработка схемы управления водным режимом, позволяющей создать условия для естественного восстановления и поддержания популяций флоры и фауны.

Основная часть

Для реализации поставленной цели, в результате обработки графических материалов (топографических карт, аэрофотоснимков и т.д.) нами создана ГИС гидрографической сети ландшафтного заказника «Званец» (рисунок 1).

Среди факторов, вызывающих неблагоприятный гидрологический режим на болоте можно выделить следующие.

В последние десятилетия имеет место увеличение атмосферного увлажнения (около 25 мм за годовой период на исследуемой территории) [2], что только на площади заказника дает дополнительный объем воды около 4,1 млн. м³ в среднем за год. Результатом является рост уровней грунтовых вод, увеличение доли поверхностного стока и неспособность существующей гидрографической сети пропустить формирующиеся расходы воды в критические гидрологические периоды. Увеличение атмосферного увлажнения имеет место в мае и июне, в результате чего уровни воды на болоте в это время все еще выше поверхности земли (рисунок 2).

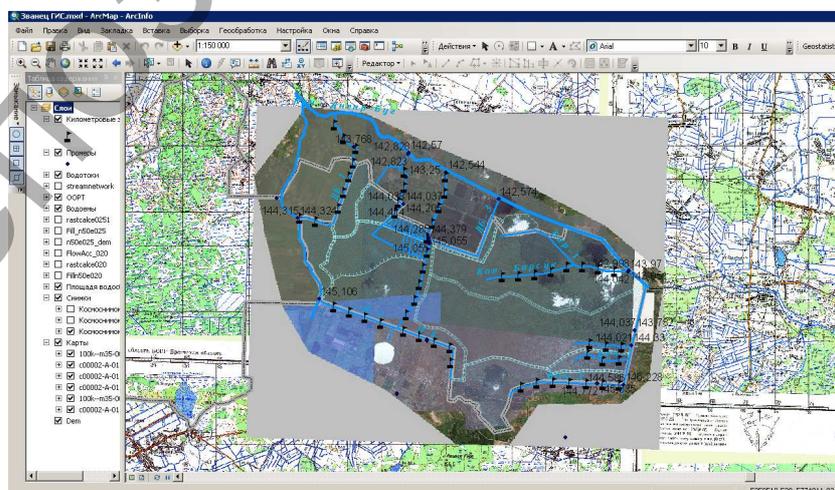


Рисунок 1 – Структура и основные элементы ГИС гидрографической сети ландшафтного заказника «Званец»

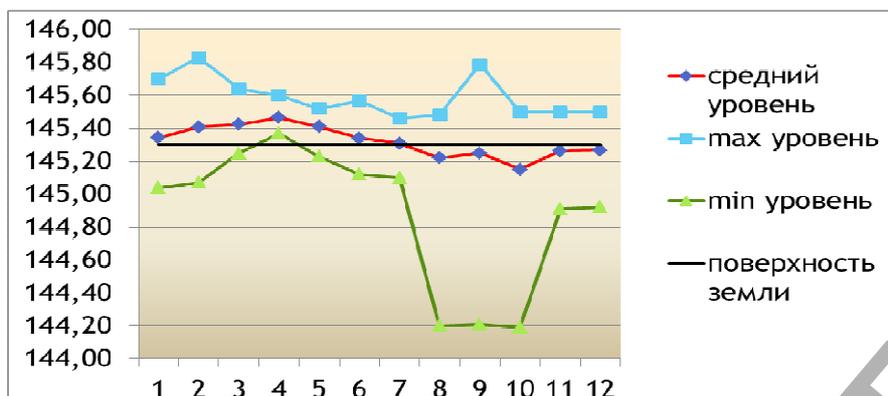


Рисунок 2 – Средние многолетние уровни воды на болоте «Званец» за период 1999–2007 гг.

Влияние Днепровско-Бугского и Белоозерского каналов на гидрологический режим болота, в целом, незначительно. Уровень воды в каналах более чем на 1 метр ниже, чем на болоте. Однако в 2010 году завершена реконструкция гидроузла и сдана в эксплуатацию мини-ГЭС в г. Кобрине (25 км ниже по течению Днепровско-Бугского канала). Для обеспечения необходимого напора на гидроузле уровни воды в канале зимой стали выше. На 15–20 суток раньше стало наступать весеннее половодье в данном бассейне [3]. Все это создает подпоры Ореховского канала и затрудняет грунтовый сток с болота зимой.

В целом, наибольшую значимость в увлажнении болота имеет Ореховский канал. Максимальные уровни воды в канале превышают среднюю отметку на болоте (145,3 м). Защита от затопления территории водой Ореховского канала организована посредством дамбы обвалования. Конструктивные параметры дамбы были оценены при проведении натурных исследований. Ширина гребня дамбы 6 м, высота 3 м. Для оценки объема воды фильтрующейся через грунтовую дамбу, выполнен расчет и составлены графики зависимости объема притока за период весеннего половодья (30 суток) от разности отметок свободной поверхности воды в Ореховском канале и воды на болотном массиве. При этом, в качестве численного эксперимента рассматривались различные значения коэффициента фильтрации грунта сложения дамбы обвалования. Анализ результатов показал, что при разности уровней воды в верхнем и нижнем бьефах 1 м и коэффициенте фильтрации 0,04 мм/с, объем профильтровавшей воды за период паводка составит 24 тыс. м³. При поддержании данной разности уровней в течение всего года объем притока составит 288 тыс. м³, или 55 мм слоя воды на водосборной площади канала О–1, что является значимой величиной и требует проведения противофильтрационных мероприятий.

Пруды рыбхоза «Новоселки» оказывают незначительное влияние на перераспределение поверхностного стока. Обводные и сбросные каналы рыбхоза перехватывают фильтрационные воды прудов и незначительную часть стока с болота в пределах осушительного действия самих каналов.

На гидрологический режим территории заказника также оказывают влияние 7 мелиоративных систем. Только 3 из них имеют существенное значение. Мелиоративная система «Ореховская» – сбросные расходы 4,6 (4,8–30,0) м³/с. Мелиоративная система «Травы» и «Радостово-2» – сбросные расходы 2,7 (1,4–10,0) м³/с. Максимальные расходы соответствуют водосборной площади мелиоративных систем и могут рассматриваться как аварийные, например, при прорыве оградительных дамб. Наибольшие сбросные расходы поступают из водохранилища «Ореховской» мелиоративной системы, расположенного возле д. Повитье, к югу от заказника.

На рисунке 3 приведена схема поступления и отвода вод с территории заказника.

Оптимальный, с точки зрения поддержания биологического разнообразия, в частности, популяции вертлявой камышевки, гидрологический режим болота имеет 3 характерных периода [4]. В марте-апреле – равномерное затопление болота до верхнего уровня кочек, в первой декаде мая – обеспечение затопления до отметки 145,4 м (на 10 см ниже уровня кочек) и дальнейшее плавное понижение уровней воды до поверхности земли, в июле-октябре – обеспечение уровней грунтовых вод 10–30 см.

На основе анализа рельефных, гидрологических и гидрогеологических условий исследуемой территории определена структура физико-математической модели движения водных масс по водотокам. Предполагается, что движение поверхностных вод в маловодный период происходит в руслах существующих водотоков, а в период прохождения паводка или половодья движение водных масс происходит в руслах водотоков и вдоль их непосредственно по пойменной части водосбора.

При движении воды по пойме её гидравлические характеристики и сам расчетный расход рассматриваются отдельно. Незначительная непараллельность направлений стока воды в русле и на пойме учитывается показателем косины потока, который определяется на основе разработанной карты структуры поверхностного стока (рисунок 4). Так, при величине угла α до 90° расход, формирующийся на пойме, прибавляется, а при величине α более 90° расход отнимается. Расчет расхода ($\text{м}^3/\text{с}$) ведется по формуле

$$Q = Q_{\text{русл}} + Q_{\text{пойм}} \cdot \cos \alpha, \quad (1)$$

где $Q_{\text{русл}}$ – расход воды в русловой части, $\text{м}^3/\text{с}$; $Q_{\text{пойм}}$ – расход воды в пойменной части водотока, $\text{м}^3/\text{с}$; α – угол между направлением стока в русле и на пойме.

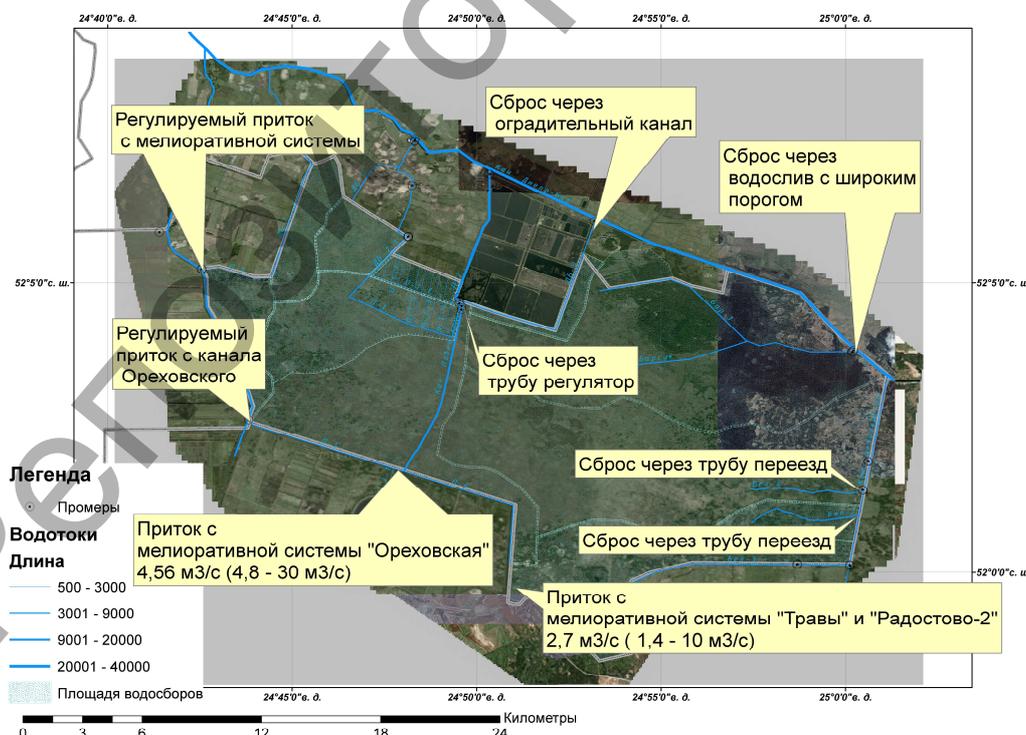


Рисунок 3 – Карта-схема основных источников поступления и сброски водных ресурсов на территории ландшафтного заказника «Званец»

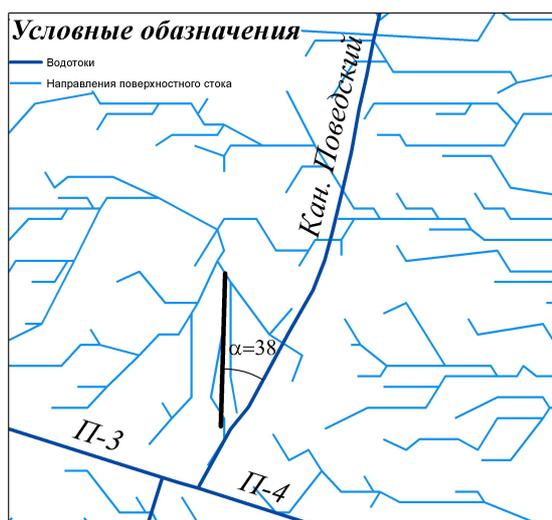


Рисунок 4 – Схема определения направления движения воды на пойме (канал Поведский ПК 0 – ПК 2)

Расход воды для русловой и пойменной частей вычисляется на основе уравнения Шези-Базена

$$Q_{\text{русл/пойм}} = \omega_{\text{русл/пойм}} \frac{87}{1 + \frac{\gamma_{\text{русл/пойм}}}{\sqrt{R_{\text{русл/пойм}}}}} \sqrt{R_{\text{русл/пойм}} \cdot i}, \quad (2)$$

где $\omega_{\text{русл/пойм}}$ – площадь живого сечения русловой/пойменной частей водотока, м^2 ; $R_{\text{русл/пойм}}$ – гидравлический радиус русловой/пойменной частей водотока, м; $\gamma_{\text{русл/пойм}}$ – коэффициент шероховатости по Базену русловой / пойменной частей водотока; i – средний уклон поверхности земли на расчетных интервалах.

Особенности применения уравнения (2) заключаются в необходимости выполнения натурных измерений поперечного профиля русла и поймы водотока. Расстояние между промерными створами зависит от решаемых задач. В случае необходимости моделирования положения кривой подпора или спада интервалы должны быть в пределах прогнозируемой её длины. В общих случаях кривая подпора при уклонах водотока i менее критических $i_{\text{кр}}$ составляет в пределах 1–2 км. Поэтому расстояние между расчетными створами принимается равным 1 км, что позволяет снизить влияние изменённого уровня режима в нижележащих створах. При этом принятый шаг позволят учесть особенности увеличения площади водосбора по длине водотока. Используя дискретную функцию

$$F = f(L), \quad (3)$$

отражающую зависимость площади водосбора F от расстояния до истока L , имеем возможность для любого пикета получить площадь водосбора.

Выполнив анализ условий формирования весеннего половодья для территории заказника «Званец» составлены гидрографы стока различной обеспеченности. Гидрографы весеннего половодья составлены по типовым графикам для данного гидрологического района. Дискретность гидрографов составляет 1 сутки (рисунок 5).

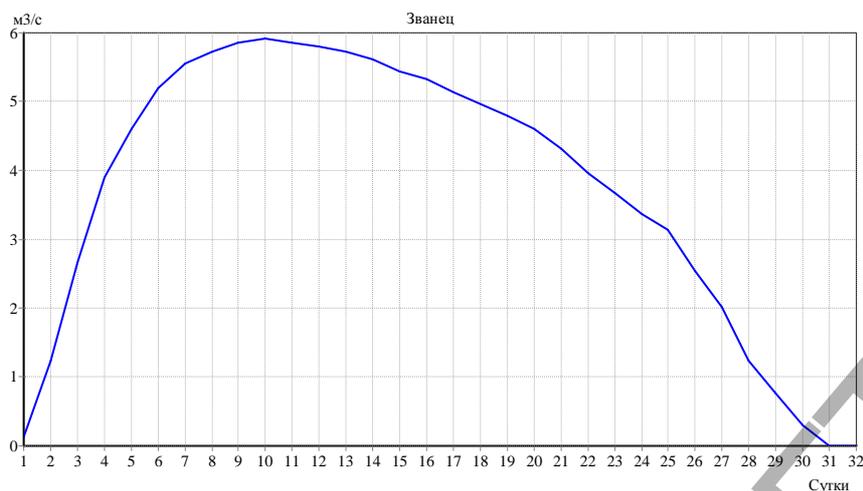


Рисунок 5 – Гидрограф весеннего половодья 10 % обеспеченности для условного водосбора площадью 10 км²

Используя расчетные гидрографы, аналогичные приведенному на рисунке 5 вычисляются среднесуточные модули стока $q_{\text{сут}}$, (м³/с)/км², для соответствующих обеспеченностей. Таким образом, получаем дискретную функцию аналогичную (3) для расхода воды в водотоках по пикетам. Общий вид функции

$$Q = f(L, q_{\text{сут}}). \quad (4)$$

На основе результатов стандартных гидрометрических работ определяются отметки характерных точек русла и поймы водотока, по которым строится поперечный профиль, и вычисляются площади поперечного сечения (ω), смоченный периметр (χ) и гидравлический радиус (R) для различной глубины наполнения [5]. При этом, используются зависимости:

$$\omega = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n (x_i (y_{i+1} - y_{i-1})); \quad (5)$$

$$\chi = \sum_{i=1}^{n-1} \sqrt{(x_i - x_{i+1})^2 + (y_i - y_{i+1})^2}, \quad (6)$$

где x_i и y_i – координаты i -той точки рассматриваемого многоугольника (рисунок 6), м; n – количество точек многоугольника.

Приращение глубины принимается в зависимости от выраженности рельефа дна водотока, но рекомендуется принимать количество итераций $\tau > 50$, тогда $\Delta h = \frac{Y_{\text{max}} - Y_{\text{min}}}{\tau}$. Аналогично определяется зависимость смоченного периметра и гидравлического радиуса.

По полученным массивам $[\omega, h_{\text{cp}}]$ и $[R, h_{\text{cp}}]$ выполняется оценка параметров регрессионной модели вида

$$\omega = \alpha_{\omega} \cdot (h_{\text{cp}} - h_{\text{cp}}^{\text{meas}})^2 + \beta_{\omega} \cdot (h_{\text{cp}} - h_{\text{cp}}^{\text{meas}}) + \omega^{\text{meas}}, \quad (7)$$

$$R = \beta_R \cdot (h_{\text{cp}} - h_{\text{cp}}^{\text{meas}}) + R^{\text{meas}}, \quad (8)$$

где α, β – константы регрессионного уравнения.

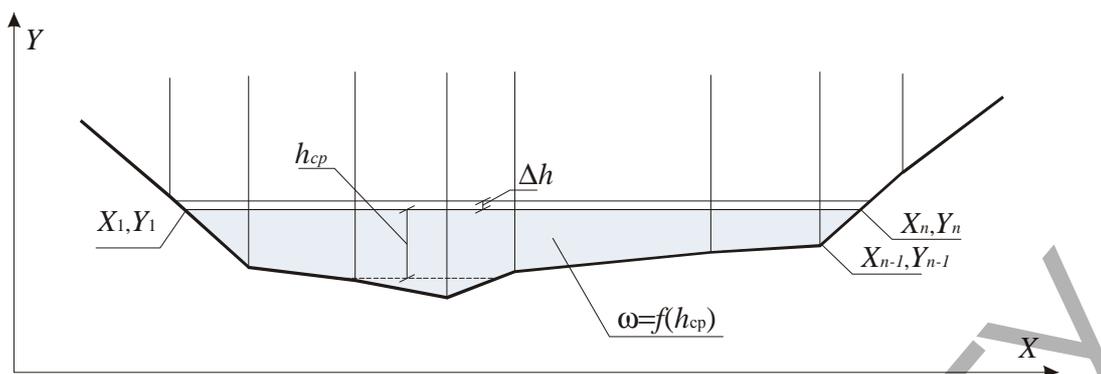


Рисунок 6 – Схема численной обработки данных промерных работ

Одновременно с обработкой данных гидрометрических измерений производится отслеживание прироста гидравлического радиуса с увеличением наполнения русла с целью определения момента затопления поймы водотока. Определение момента выхода воды на пойму осуществляется, исходя из условия

$$R_{i-1} > R_i + \Delta h \frac{\tau}{10 + \frac{\tau}{5K10}}, \quad (9)$$

где R_{i-1} , R_i – гидравлические радиусы.

Представление зависимости площади живого сечения от средней глубины в форме функции вида (7) дает возможность численного решения уравнения Шези по средней глубине потока

$$Q_{P\%} = \omega_{P\%} C_{P\%} \sqrt{R_{P\%} i}, \quad (10)$$

где $C_{P\%}$ – коэффициент Шези, $m^{0,5}/c$; $i = i_0$ – гидравлический уклон, при равномерном установившемся движении можно принять как средний уклон дна водотока.

Уравнение (10) можно записать как систему уравнений:

$$\begin{cases} Q_{P\%} = \omega_{P\%} C_{P\%} \sqrt{R_{P\%} i} \\ \omega_{P\%} = \alpha_{\omega} \cdot h_{cp P\%}^2 + \beta_{\omega} \cdot h_{cp P\%} + \varphi_{\omega} \\ R_{P\%} = \alpha_R \cdot h_{cp P\%}^2 + \beta_R \cdot h_{cp P\%} + \varphi_R \\ C_{P\%} = \frac{R_{P\%}^{2,5\sqrt{n}-0,13-0,75\sqrt{R_{P\%}}(\sqrt{n}-0,1)}}{n} \end{cases} \quad (11)$$

Как видно из уравнения (11), количество неизвестных больше чем количество уравнений. Исходя из этого, предполагаем, что измеренные значения гидравлических характеристик стока $Q_{изм}$, $R_{изм}$, $\omega_{изм}$, $C_{изм}$, i и искомая средняя глубина воды заданной обеспеченности относятся к одному гидрологическому сезону. Исходя из этого, можно определить шероховатость русла водотока по формуле Н.Н. Павловского [6]

$$C_{изм} = \frac{R_{изм}^{2,5\sqrt{n}-0,13-0,75\sqrt{R_{изм}}(\sqrt{n}-0,1)}}{n}, \quad (12)$$

где $C_{изм} = \frac{Q_{изм}}{\omega_{изм} \sqrt{R_{изм} i}}$ – коэффициент Шези, определяемый на основе измеренных значений расхода и параметров поперечного сечения русла водотока.

В качестве входного параметра схемы управления водным (гидрологическим) режимом используется оптимальная отметка поверхности воды в пределах расчетного створа. Требуемая отметка достигается управлением расходом воды в водотоке. В пределах исследуемого объекта функционирует незначительное количество регулирующих гидротехнических сооружений, и их диапазон регулирования расходов зачастую не позволяет решить поставленные задачи. В этом случае поиск необходимого расхода заключается в определении даты подъема уровня воды в канале и включения в схему управления регулирующих сооружений. На основе прогноза водности года выбирается тот или иной расчетный гидрограф весеннего половодья. Возможно использование трех расчетных схем, увязанных с гидрологическими условиями:

- 1) расход воды в пределах гидрографа весеннего половодья не позволяет сформироваться необходимому расходу до расчетной даты;
- 2) сток весеннего половодья позволяет установить необходимый расход воды в канале до расчетной даты, и, в свою очередь, расход воды находится в пределах диапазона регулирования функций гидротехнического сооружения;
- 3) сток весеннего половодья позволяет установить необходимый расход воды в канале до расчетной даты, но расход находится за пределами диапазона регулирования функций гидротехнического сооружения.

Наиболее удобной, с точки зрения регулирования, является вторая расчетная схема. В этом случае, подбираем расход, позволяющий поддерживать оптимальный (заданный) уровень воды на территории заказника. Такой подход эффективно реализуется как при поддержании высоких уровней воды (немногом менее отметки кочек), так и при снижении уровня до отметки земли.

Следует отметить, что основным сооружением, включенным в схему управления водным режимом исследуемой территории, является труба-регулятор на Поведском канале, находящаяся в 6 км от истока, что делает практически невозможным реальное по-суточное управление водным режимом в контрольных точках. Существующее сооружение способно пропускать расходы воды весеннего половодья и дождевых паводков и с большим запаздыванием и с погрешностью может обеспечить необходимые контрольные отметки на поверхности болота в нужные сроки. Инерционность работы сооружения находится в пределах 3–15 суток. Для бесперебойной работы трубы-регулятора на Поведском канале необходимо неукоснительно соблюдать действующие «Правила эксплуатации (обслуживания) мелиоративных систем и отдельно расположенных гидротехнических сооружений» [7]. В части управления сооружением необходимо обеспечить пропуск максимальных расходов при полностью открытом затворе. На спаде весеннего половодья, через 3–10 суток после прохождения пиковых расходов, в зависимости от расчетной обеспеченности, следует обеспечить постепенное закрытие затвора для достижения контрольных отметок на болоте в первой декаде мая. В течение дальнейшего теплого периода затвор остается закрытым в зависимости от водности года.

На рисунке 7 представлены слои стока, которые могут пропустить существующие водотоки и сетевые сооружения на территории заказника за период весеннего половодья (прямая линия). Верхняя кривая показывает фактическое

накопление слоя воды на болоте. В качестве показателя работы водотоков и сооружений рассматривается разность кривой накопления воды и ее сработки (нижняя (балансовая) кривая). В случае превышения пропускной способности водотока над притоком, балансовая кривая отсутствует. В средний по водности год ($P = 50\%$) пропускная способность линейных и сетевых сооружений обеспечивается. С учетом наступления даты весеннего половодья, рисунок 7, можно сделать выводы об уровнях воды на болоте к контрольным датам и принять решение о необходимости открытия / закрытия затворов существующих гидротехнических сооружений.

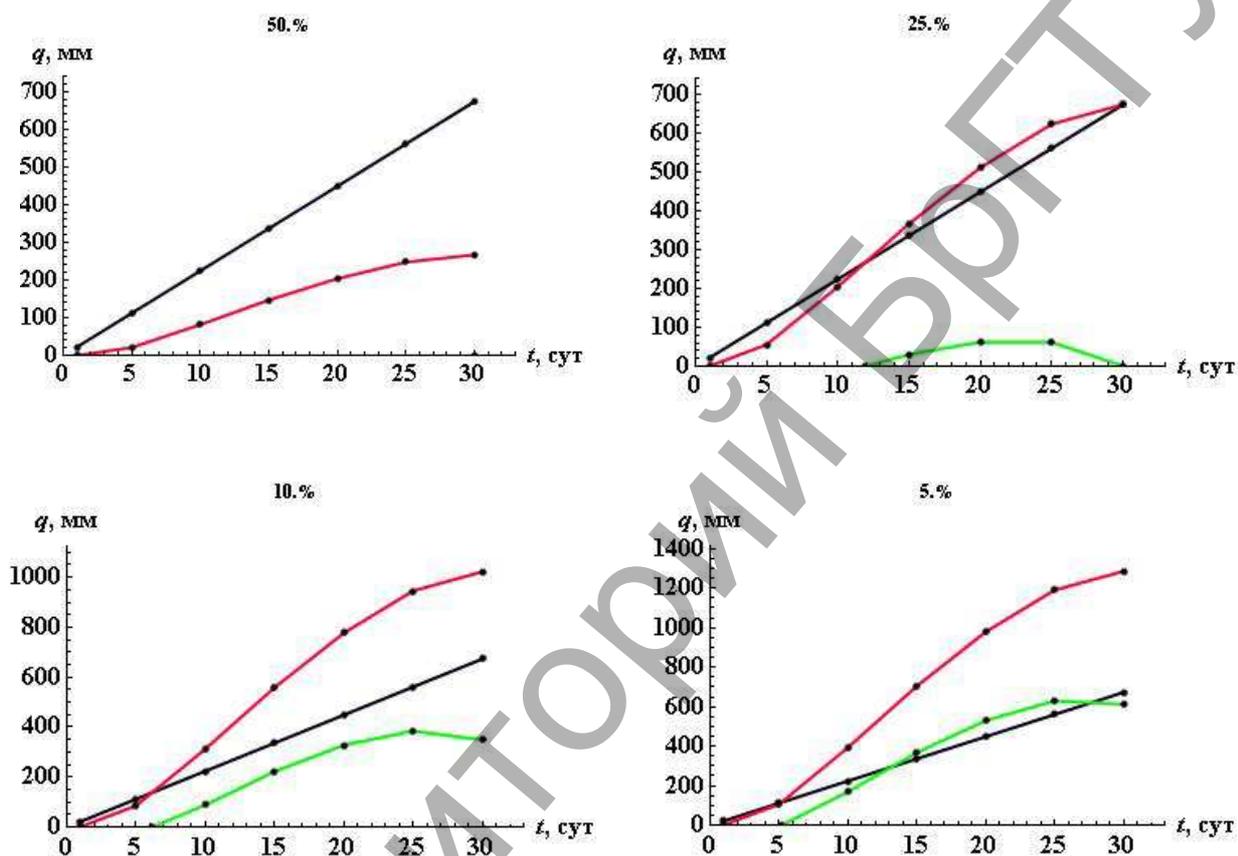


Рисунок 7 – Интегральные графики накопления и расходования водных ресурсов территории заказника «Званец» за период весеннего половодья

Учитывая большую значимость в подтоплении болота водохранилищем мелиоративной системы «Ореховское», необходимо строго соблюдать «Правила эксплуатации прудов и малых водохранилищ сельскохозяйственного назначения» [8]. Для защиты болота от поступления в многоводные годы дренажных вод мелиоративных систем, со стороны Сбросного канала, необходимо строительство защитной дамбы и береговой дрены. Для обеспечения подачи воды на увлажнение из Сбросного канала в маловодные годы, необходимо строительство регулирующего сооружения в истоке Поведского канала.

Для контроля уровней воды на болоте, наблюдения за динамикой грунтовых и поверхностных вод, считаем необходимым установку на территории болота датчиков уровней, распределенных в контрольных точках, которые позволят оптимизировать схему управления гидрологическим режимом на территории заказника, в целом.

Заключение

Только в средний многолетний по водности год (50 %-ной обеспеченности расходов весеннего половодья) элементы существующей гидрографической сети с сооружениями пропускают нормативные, экологически безопасные расходы воды территории заказника «Званец».

Первоочередными мероприятиями для повышения пропускной способности являются:

- расчистка русл водотоков и удаление бобровых плотин на Поведском и Батыевском (Барсук) каналах;
- ремонт регулятора на сбросе Поведского канала;
- строительство дамбы обвалования вдоль Сбросного канала;
- устройство трубчатого регулятора для подачи воды в засушливые периоды в исток Поведского канала;
- проведение мероприятий по снижению паводкового и фильтрационного питания земель со стороны Ореховского канала;
- неукоснительное соблюдение Предприятиями мелиоративных систем (ПМС) действующих «Правил технической эксплуатации линейных и сетевых гидротехнических сооружений», а также наливного водохранилища и насосных станций;
- организация сети мониторинга за уровнями грунтовых и поверхностных вод на болоте.

Список литературы

1. Чырвоная кніга Рэспублікі Беларусь: Рэдкія і тыя, што знаходзяцца пад пагрозай знікнення, віды жывел і раслін // – Мн.: БелЭн., 1993. – 560 с.
2. Мешик, О.П. Трансформация режима выпадения атмосферных осадков на территории Беларуси / О.П. Мешик, В.Е. Валуев // Вестник Брестского государственного технического университета. Сер. Водохозяйственное строительство и теплотехника. – 2005. – № 3(33). – С. 3–6
3. Волчек, А.А. Возможные изменения речного стока в зависимости от прогнозируемого изменения климата / А.А. Волчек, Д.Н. Дашкевич, О.П. Мешик, В.Е. Валуев // Экологический вестник. – 2011. – №3. – С. 5 – 13.
4. Актуализация и корректировка планов управления заказниками «Споровский» и «Званец»: отчет о НИР (итоговый): Книга 1. План управления республиканского биологического заказника «Званец» / государственное научно-производственное объединение «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по биоресурсам»; рук. темы О.С. Беляцкая. – Минск, 2009. – 440 с. – № гр 20083031.
5. Бронштейн, И.Н. Справочник по математике для инженеров и учащихся втузов / И.Н. Бронштейн, К.А. Семендяев. – М. : Наука, 1986. – 544 с.
6. Чугаев, Р.Р. Гидравлика : учебник для вузов / Р.Р. Чугаев. – Л. : Энергия, 1975. – С. 145–147.
7. Правила эксплуатации (обслуживания) мелиоративных систем и отдельно расположенных гидротехнических сооружений: Постановление Совета Министров Республики Беларусь 10.07.2009 № 920.
8. Типовые правила эксплуатации прудов и малых водохранилищ сельскохозяйственного назначения; разработаны РУП «Белгипроводхоз» / Соколовский Г.В. [и др.]. – Минск, 2008. – 34 с.