

ГЕОЭКОЛОГИЯ

УДК 556.18(476)

DOI 10.52928/2070-1683-2022-31-8-112-123

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ РЫБХОЗА «ЛОКТЫШИ» НА СТОК РЕКИ ЛАНЬ

д-р геогр. наук, проф. А.А. ВОЛЧЕК¹, канд. техн. наук, доц. С.И. ПАРФОМУК²,
канд. техн. наук, доц. Н.Н. ШЕШКО³, канд. геогр. наук, доц. Н.Н. ШПЕНДИК⁴,
Д.Н. ДАШКЕВИЧ⁵, С.В. СИДАК⁶, М.Ф. КУХАРЕВИЧ⁷
(Брестский государственный технический университет)
¹volchak@tut.by, ²parfom@mail.ru, ³optimum@tut.by, ⁴shpendik@tut.by,
⁵dionis1303@mail.ru, ⁶harchik-sveta@mail.ru, ⁷kukharevichmikhail@gmail.com

В результате исследования выполнена комплексная оценка воздействия рыбхоза «Локтыши», расположенного в бассейне р. Лань в районе д. Будча, на гидрологический режим реки. Определены величины допустимого изъятия поверхностных вод из реки, используемых для нужд рыбхозов, с учетом потерь на испарение с водного зеркала и фильтрации из водохранилищ и прудов, при обеспечении условия сохранения в реках экологического стока, что позволит определить наиболее эффективный режим наполнения рыбоводческих прудов.

Ключевые слова: *рыбоводное хозяйство, эвтрофирование, рекогносцировочное обследование, экологический сток, расход воды, математическая модель, водность года, поперечный профиль, верхний створ, нижний створ.*

Введение. Рыбное хозяйство является уникальным видом производства и играет важную роль в продовольственном комплексе Республики Беларусь, обеспечивая население качественными продуктами питания. Для устойчивого обеспечения потребности населения Беларуси необходимо не менее 180 тыс. т рыбы и рыбной продукции в год.

В настоящее время основная часть этого объема импортируется в виде продуктов глубокой заморозки. Доля собственной, наиболее ценной, свежей и живой рыбы составляет около 8%. В то же время водный фонд Беларуси насчитывает более 10 тыс. озер общей площадью около 200 тыс. га, 150 водохранилищ общей площадью 80 тыс. га, 20,8 тыс. различных рек общей протяженностью 90,6 тыс. км¹. Кроме того, насчитывается 21,86 тыс. га прудов рыбоводных хозяйств, 4,6 тыс. га прудов, а также 17,0 тыс. км каналов различного назначения. Большая часть производимой в республике рыбы (около 78%) выращивается в прудах, но площадь их не превышает 10% от всех имеющихся водоемов. Это свидетельствует об огромных резервах по выращиванию рыбы в озерах, водохранилищах, реках, мелиоративных каналах, потенциальные возможности которых используются недостаточно. Изменение данной ситуации позволит снабжать населения страны продуктами питания на основе рыбы и морепродуктов в необходимом количестве, высокого качества и по доступным ценам².

Рыбное хозяйство непосредственно связано с использованием водных ресурсов и предъявляет очень высокие требования к их режиму, количественному и качественному состоянию. Для успешного воспроизводства и нормального развития рыбы необходимы чистая вода с достаточным количеством растворенного кислорода и отсутствием вредных примесей, соответствующая температура и обеспеченность кормами. Нормативы качества воды для рыбохозяйственных объектов более строгие, чем для источников питьевого водоснабжения.

Целью настоящей работы является оценка влияния рыбхоза «Локтыши» на сток р. Лань.

Описание объекта исследования. Река Лань и ее притоки принадлежат к типу равнинных рек, для которых характерно смешанное питание с преобладанием снегового. Режим стока в годовом разрезе характеризуется высоким весенним половодьем, относительно низкой летне-осенней меженью, нарушаемой почти ежегодно дождевыми паводками, и обычно несколько повышенной водностью в зимний период за счет таяния снега в период оттепелей³.

Исток р. Лань находится в 1,5 км к западу от д. Габруны Несвижского района, протекает по территории Копыльских гряд и низины Припятское Полесье и впадает слева в р. Припять южнее д. Синкевичи Лунинецкого района. Протяженность р. Лань составляет 147 км, площадь водосбора – 2190 км². Среднегодовой расход воды в устье – 11,3 м³/с. Общее падение реки – 79,2 м. Средний уклон водной поверхности – 0,4‰. Долина в верхнем течении корытовидная, шириной 1–1,5 км, на остальном протяжении нечеткая. Пойма низкая, шириной 0,6–1 км, изрезана мелиоративными каналами. Берега открытые, торфянистые. На период весеннего половодья приходится 55% годового стока. Максимальный уровень половодья – в марте. Средняя высота над самой низкой меженью до регулирования реки – 1,5 м, максимальная – 1,9 м (1947 г.) возле д. Локтыши Ганцевичского района. В летний период режим уровней регулируется шлюзами. Замерзает в 1-й декаде декабря, вскрывается в конце марта. Весенний ледоход длится 4 суток. Русло шириной 4–8 м, в нижнем течении – 15–20 м. Канализирована в 1973–1975 гг., зарегулировано водохранилище Локтыши (до 1975 года сток реки направлялся в р. Случь по каналу Главный, после мелиорирования – по канализированному каналу в Припять)⁴ [1].

¹ Природа Беларуси // Энциклопедия : в 3 т. / редкол.: Т.В. Белова [и др.]. – Минск, 2010. – Т. 2 : Климат и вода. – 503 с.

² См. сноску 1.

³ См. сноску 1.

⁴ См. сноску 1.

Водохранилище руслового типа, сезонного регулирования «Локтыши» построено в 1977 г. по проекту РУП «Белгипроводхоз»⁵ и предназначено для водообеспечения полносистемного рыбоводного хозяйства «Локтыши», обводнения земель, регулирования стока р. Лань. Площадь зеркала составляет 15,9 км², площадь мелководий – 2,83 км², длина – 6,0 км, ширина: максимальная – 4,2 км, средняя – 2,65 км, средняя глубина – 3,15 м. Объем полный – 50,2 млн м³, полезный – 29,8 млн м³. Разность отметок нормального подпорного уровня (НПУ) и уровня мертвого объема (УМО) – 2,0 м. На западе водоема берега низкие, заболоченные. На остальном протяжении водохранилище окружено дамбой. Длина береговой линии – 21 км. Площадь водосбора в створе плотины – 940 км², расстояние от устья р. Лань до створа гидроузла – 83,0 км. Водосбор представляет собой мелковолнистую равнину с распаханностью 50%, зеленностью 16% и заболоченностью 16%. Средний годовой сток за многолетний период в створе гидроузла – 118 млн м³, за половодье – 53,5 млн м³.

ОАО «Рыбхоз «Локтыши» размещен в пойме р. Лань между деревнями Локтыши и Будча. Рыбхоз введен в эксплуатацию в 1978 году и является полносистемным прудовым хозяйством с двух- и трехлетним оборотом выращивания товарной рыбы. Основным видом деятельности является рыбоводство и рыболовство, вид разводимой рыбы – карп. Для более рационального использования прудовых площадей разводятся добавочные виды рыб – карась, щука, белый амур, толстолобик. Общая площадь прудового фонда составляет 2448,2 га, в том числе: 13 нагульных прудов общей площадью 2116 га; 15 выростных прудов площадью 263,6 га; 4 летнематочных пруда площадью 39,4 га; нерестовики площадью 6,24 га; 60 зимовальных прудов площадью 39,4 га; 24 живорыбных садка площадью 0,8 га; 2 карантинных пруда 2,0 га. Площадь каждого нагульного пруда составляет свыше 100 га. Водоснабжение прудов осуществляется из водохранилища, расположенного на реке Лань. Общая схема водных объектов в районе ОАО «Рыбхоз «Локтыши» приведена на рисунке 1.

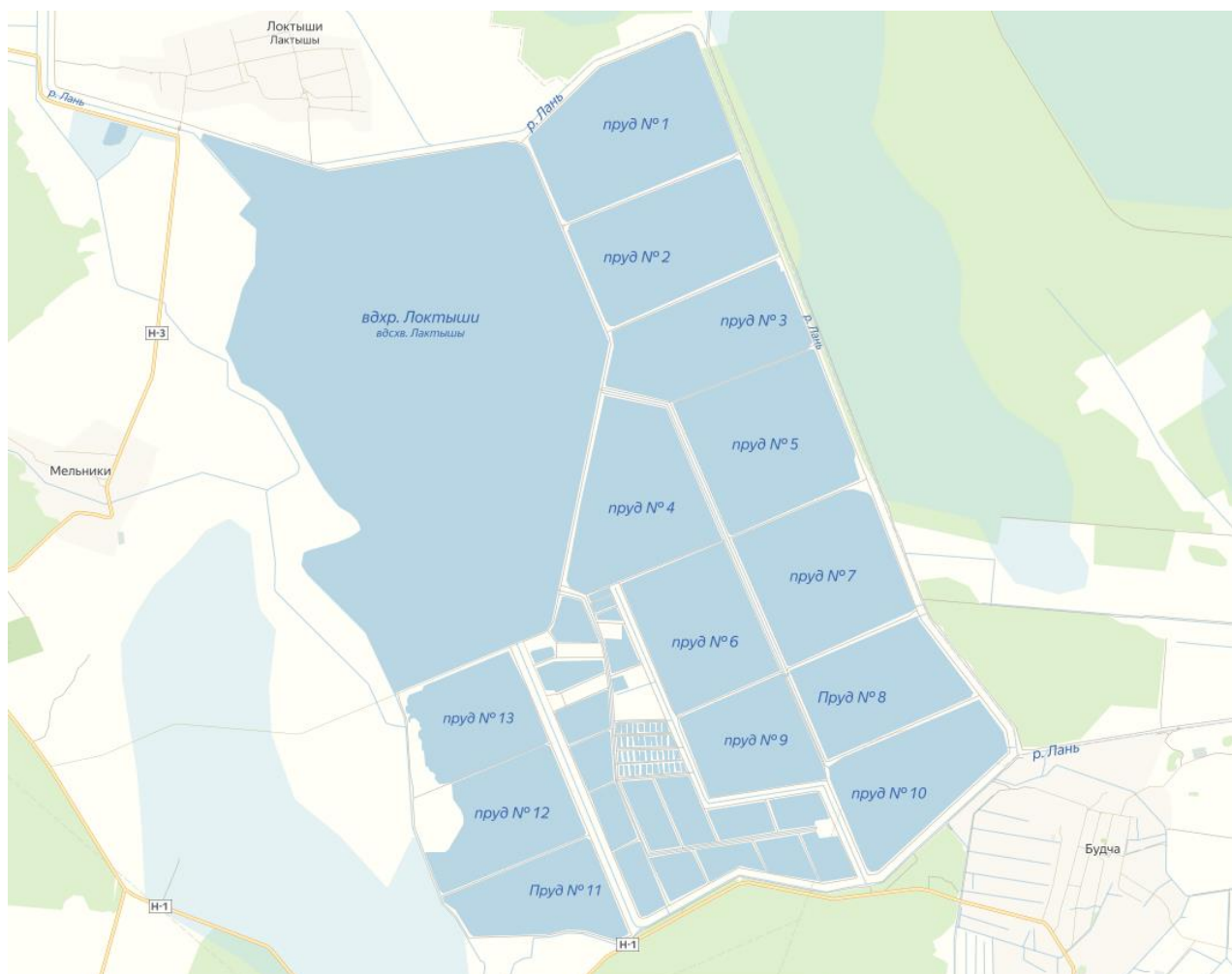


Рисунок 1. – Общая схема водных объектов в районе ОАО «Рыбхоз «Локтыши»

Методы исследования и исходные данные. Рекогносцировочное обследование производилось не только в пределах намеченного участка, а значительно шире. Длина участка рекогносцировочного обследования определялась местными условиями и особенностями водного объекта. Рекогносцировка участка выполнялась во время

⁵ Водохранилища Беларуси // Справочник / М-во природных ресурсов и охраны окружающей среды ; РУП «Центральный науч.-исслед. ин-т комплексного использования водных ресурсов» ; М.Ю. Калинин [и др.]. – Минск, 2005. – 183 с.

летней межени, когда наилучшим образом можно охарактеризовать рельеф русла, поймы и берегов, растительность, грунты и т.п. Характеристика состояния реки в половодье и зимний период выявлялась путем опроса местного населения.

Уклоны водной поверхности определялись нивелированием IV класса, двойным ходом от репера поста, а сам уклон вычисляется по формуле:

$$I = \frac{H_B - H_H}{L}, \quad (1)$$

где H_B, H_H – отметки уровня воды соответственно в верхнем и нижнем створах, м;
 L – расстояние между уклонными постами, м.

Измерения глубин в створах с точностью до 1 см производились для составления поперечных и продольных профилей. В связи с тем, что уровень воды является величиной динамической, глубины, измеряемые в разное время, имеют различное значение. Для устранения этих различий при обработке материалов измерений глубины приводились к одному расчетному (условному) уровню, соответствующему определенному моменту времени.

Для измерения скоростей течения воды в реке использовалась гидрометрическая вертушка ГР-55 и гидрометрические поплавки, которые применялись в случаях, где невозможно использование гидрометрических вертушек из-за малой глубины и помех в потоке.

В гидрометрическом створе намечались скоростные вертикали в отдельных точках, в которых измерялись скорости течения. При определении скорости течения в основном использован детальный способ, т.е. скоростные вертикали назначались через равные промежутки по ширине реки – через одну промерную вертикаль. Измерения скорости течения на вертикали производились при свободном от водной растительности русле в следующих пяти точках по глубине вертикали: у поверхности, на $0,2h$, на $0,6h$, на $0,8h$ и у дна.

Вычисление средней скорости на вертикали при открытом, не заросшем водной растительностью русле осуществляется по следующей формуле [2; 3]:

$$V_{cp} = 0,05 \cdot V_{нов} + 0,347 \cdot (V_{0,2} + V_{0,6}) + 0,173 \cdot V_{0,8} + 0,083 \cdot V_{дн}. \quad (2)$$

Из-за изменчивости гидравлических элементов во времени и пространстве расход воды не поддается прямым измерениям. Его значения получают в результате косвенных измерений элементов: расстояний, глубин и скоростей потока. На их основе расходы воды могут быть вычислены по следующей модели:

$$Q = \sum_{i=0}^N 0,5(V_i + V_{i+1}) \cdot f_{i+1}, \quad (3)$$

где V_i, V_{i+1} – проекция средних скоростей на граничных вертикалях;
 f_{i+1} – площадь между вертикалями.

Достоинство модели (3) перед другими подобными моделями в том, что она допускает различную степень дискретизации поля скоростей и глубины: количество промерных вертикалей, как правило, назначается в 2–3 раза больше, чем скоростных, кроме того, она дает более точные результаты [2; 3].

Вычисление расхода воды аналитическим способом производилось в следующей последовательности [2; 3]:

1. Определялась площадь отсеков между скоростными вертикалями f_i посредством планиметрирования частей поперечного профиля или аналитическим методом трапеций по формуле:

$$f_j = \frac{1}{2} \sum_{i=0}^{N_{j-1}} (h_{i,j} + h_{i+1,j}) \cdot b_{i,j}, \quad (j = 0, n), \quad (4)$$

где $h_{i,j}$ – глубина воды на i -ой вертикали j -го отсека;
 N_{j-1} – количество промерных вертикалей в отсеке;
 $b_{j,i}$ – ширина между промерными вертикалями в j -ом отсеке.

2. Вычислялась средняя скорость на вертикали по формуле (2).

3. По рабочим глубинам всех промерных вертикалей со срезкой на расчетный уровень определялись площади живого сечения между скоростными вертикалями.

4. Средняя скорость $V_{j,s}$ в отсеке между скоростными вертикалями вычислялась как:

$$V_{j,s} = 0,5(V_j + V_{j+1}), \quad (j = 0, n). \quad (5)$$

Частные расходы q_j находят как произведение $V_j f_j$, а полный расход как

$$Q = \sum_{j=0}^{n+1} q_j. \quad (6)$$

Таким образом, расчетная формула для полного расхода через все живое сечение приобретает вид:

$$Q = k V_i f_0 + 0,5 \sum_{j=1}^{n-1} (V_j + V_{j+1}) \cdot f_j + k^1 V_n \cdot f_n. \quad (7)$$

Ниже представлены результаты промерных работ, вычисленные скорости течения и расходы воды в расчетных створах реки. Построены поперечные профили рассматриваемой реки.

Алгоритм математической модели уровней и расходов. Чтобы узнать среднюю глубину потока и скорость для определения расходов воды различной обеспеченности в отдельном створе, решались две отдельные задачи:

- измерить основные характеристики потока;
- определить водность года исследуемого водотока на текущий момент времени.

По результатам стандартных гидрометрических работ определялись отметки характерных точек русла, на основе которых строился поперечный профиль русла, и вычислялись площадь поперечного сечения (ω), смоченный периметр (χ) и гидравлический радиус (R) для различной глубины наполнения по следующим формулам:

$$\omega = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n (x_i (y_{i+1} - y_{i-1})), \quad (8)$$

$$\chi = \sum_{i=1}^{n-1} \sqrt{(x_i - x_{i+1})^2 + (y_i - y_{i+1})^2}, \quad (9)$$

$$R = \frac{\omega}{\chi}, \quad (10)$$

где x_i и y_i – координаты i -той точки рассматриваемого многоугольника (рисунок 2), м;
 n – количество точек многоугольника.

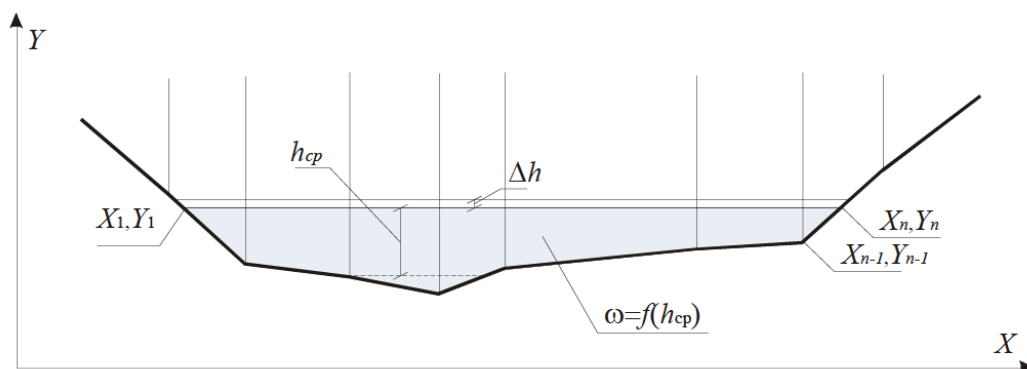


Рисунок 2. – Схема численной обработки данных промерных работ

Таким образом, задаваясь приращением глубины Δh , имеется возможность построить зависимость площади поперечного сечения ω и средней глубины h_{cp} . Приращение глубины принимается в зависимости от выраженности рельефа дна водотока, но рекомендуется принимать количество итераций $\tau > 25$, тогда $\Delta h = \frac{Y_{\max} - Y_{\min}}{\tau}$.

Аналогично определяется зависимость смоченного периметра χ и гидравлического радиуса R .

Используя полученные массивы $[\omega, h_{cp}]$ и $[R, h_{cp}]$, выполняется оценка параметров регрессионной модели вида

$$z = \alpha \cdot h_{cp}^2 + \beta \cdot h_{cp} + \varphi, \quad (11)$$

где z – прогнозируемый геометрический параметр русла;
 α, β, φ – константы регрессионного уравнения.

С помощью определения зависимости площади живого сечения от средней глубины в форме функции вида (11) находится численное решение уравнения Шези по средней глубине потока

$$Q_{P\%} = \omega_{P\%} C_{P\%} \sqrt{R_{P\%} i}, \quad (12)$$

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 (первое допущение).

Выполнив некоторые преобразования, получим из уравнения (12) систему уравнений

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

Так как в уравнении (13) количество неизвестных больше, чем количество уравнений, то предполагаем (второе допущение), 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, шероховатость русла водотока определяется по формуле Н.Н. Павловского:

$$C_{ИЗМ} = \frac{R_{ИЗМ}^{2,5\sqrt{n}-0,13-0,75\sqrt{R_{ИЗМ}}(\sqrt{n}-0,1)}}{n}, \quad (14)$$

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, м^{0,5}/с.

Формула Н.Н. Павловского принята как наиболее устойчивая в условиях малых значений гидравлического радиуса.

Стоит отметить, что при численном решении уравнения (13) необходимо учитывать границы применимости регрессионных уравнений, то есть решение данного уравнения должно находиться в пределах $0 < h_{cp P\%} < h_{cp \max}$, так как экстраполяция данных зависимостей может привести к ошибочным результатам.

Для определения водности текущего года подбирается река-аналог, имеющая длинный ряд наблюдений за гидрологическим режимом. Как показал предварительный анализ, водность года с высокой достоверностью аппроксимации ($r > 0,75$) определяют месяцы, предшествующие расчетному. При определении параметров функции распределения (трехпараметрическое гамма-распределение) применялся метод наибольшего правдоподобия.

Определение основных гидрологических характеристик рек. Согласно ТКП 45-3.04-168-2009, определение расчетных гидрологических характеристик должно основываться на данных гидрометеорологических наблюдений, в том числе регулярных наблюдений последних лет, опубликованных в специальных документах в области гидрологии; дополнительно должны учитываться данные инженерно-гидрометеорологических изысканий⁶. В связи с тем, что на р. Лань в створе д. Мокрово ведутся регулярные гидрологические наблюдения Республиканским центром по гидрометеорологии, контролю радиоактивного загрязнения и мониторингу окружающей среды, то определение расчетных гидрологических характеристик осуществлялось непосредственно по данным гидрологических наблюдений с учетом требований, изложенных в [4]. В настоящей работе использованы данные гидрометрических наблюдений за период с 1954 по 2018 гг., т.е. 65 лет, что достаточно для получения объективных статистических гидрологических характеристик по р. Лань в створе д. Мокрово.

Методика определения экологического стока рек. Разработанная нами методика определения детально изложена в работах⁷ [5]. Остановимся вкратце на ее сути. Экологический сток – это то количество воды, которое должно оставаться в реке для обеспечения условий существования гидробионтов с одновременным сохранением ее необходимого качества. В этом случае сохраняются экосистемы пойм, а река остается элементом ландшафта. Таким образом, экологический сток обеспечивает количественное и качественное состояние водного объекта в самый маловодный период года.

Существующие подходы определения экологического стока регламентируют только минимальное значение стока реки. При этом отсутствует определение экологического стока при различных обеспеченностях. Наиболее эффективным способом определения экологического стока с учетом внутригодового распределения является способ повышения обеспеченности. Поэтому он использован в данной работе.

Непосредственно на р. Лань нет значимых по влиянию на гидрологический режим реки и гидрогеологический режим прибрежных территорий гидротехнических сооружений, за исключением водопропускных устройств ОАО «Рыбхоз «Локтыши», включая водохранилище Локтыши и пруды.

Результаты исследования и их обсуждения. Для количественной оценки влияния рыбхоза «Локтыши» на сток р. Лань 21.06.2021 г. нами выполнены гидрометрические измерения расхода воды в створах, расположенных выше забора воды и ниже точки сброса от рыбхозов. При выборе гидрометрических створов для проведения

⁶ Расчетные гидрологические характеристики. Порядок определения : ТКП 45-3.04-168-2009 (02250). – Введ. 01.07.10. – Минск : Стройтехнорм, 2010. – 55 с.

⁷ Волчек, А.А. Оценка экологического стока реки Ясельда в створе водохранилища «Селец» / А.А. Волчек, Н.Н. Шешко // Современные проблемы очистки сточных вод и охраны ресурсов поверхностных вод в приграничье : материалы междунар. науч.-практ. конф., Брест, 24–25 сент. 2015 г. / Под ред. Н.В. Михальчук. – Брест, 2015. – С. 12–22.

измерений на реке руководствовались следующими двумя основными условиями: режим реки в выбранном месте должен быть характерным по возможности для большого участка реки; выбранный участок должен быть удобен для наблюдений, обеспечивая наибольшую возможную их точность в данных условиях.

Выбору расчетных створов предшествовал всесторонний анализ района изысканий на основании литературных данных, архивных материалов и других источников, а также рекогносцировочное обследование реки. В результате были выявлены основные черты гидрологического режима реки (характер колебаний уровня, расход и мутность, гидрографические и морфометрические характеристики участка), а также современное состояние и перспективы развития водного хозяйства, наличие знаков геодезической сети, высотных реперов, пунктов триангуляции и полигонометрии, современное состояние путей сообщения и средств связи.

По результатам предварительного анализа было намечено два гидрометрических створа, после чего производилась рекогносцировка местности и окончательный выбор участка. Верхний створ расположен около 0,5 км на восток от д. Начь, которая располагается на северо-востоке Ганцевичского района Брестской области (рисунок 3).

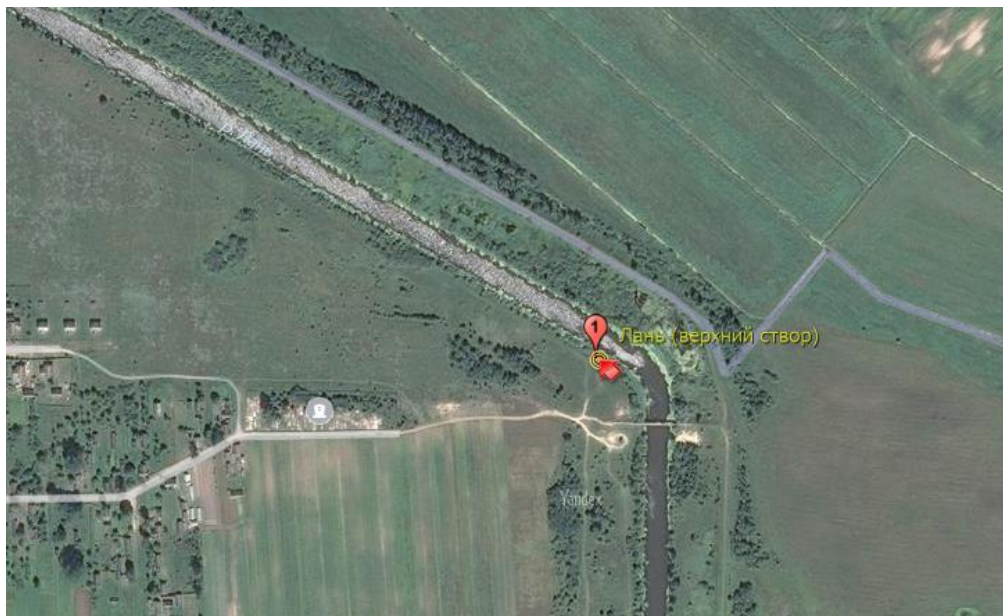


Рисунок 3. – Карта-схема расположения верхнего створа

Русло реки на протяжении створа прямое. Его ширина в пределах створа составила 28 м. Берега в пределах створа песчаные, покрыты преимущественно кустарниковой и травяной растительностью. Левый берег пологий, тогда как правый более обрывистый высотой около 1–2 м и выстлан песчаными породами. В пределах русла имелось незначительное количество водной растительности, не оказывающей существенного влияния на течение. Речное дно песчаное (рисунок 4).



Рисунок 4. – Участок исследования в верхнем створе

По результатам промеров глубин в верхнем створе построен поперечный профиль р. Лань (рисунок 5) и определены основные характеристики на момент изысканий: расход воды $Q = 1,19 \text{ м}^3/\text{с}$; площадь поперечного сечения $F = 36,72 \text{ м}^2$; ширина реки по урезу воды $B = 28,3 \text{ м}$; средняя глубина потока $h_{\text{ср}} = 1,30 \text{ м}$; средняя скорость течения воды $V_{\text{ср}} = 0,03 \text{ м/с}$; максимальная скорость $V_{\text{max}} = 0,08 \text{ м/с}$; уклон водной поверхности $i_{\text{пов}} = 0,099\%$.

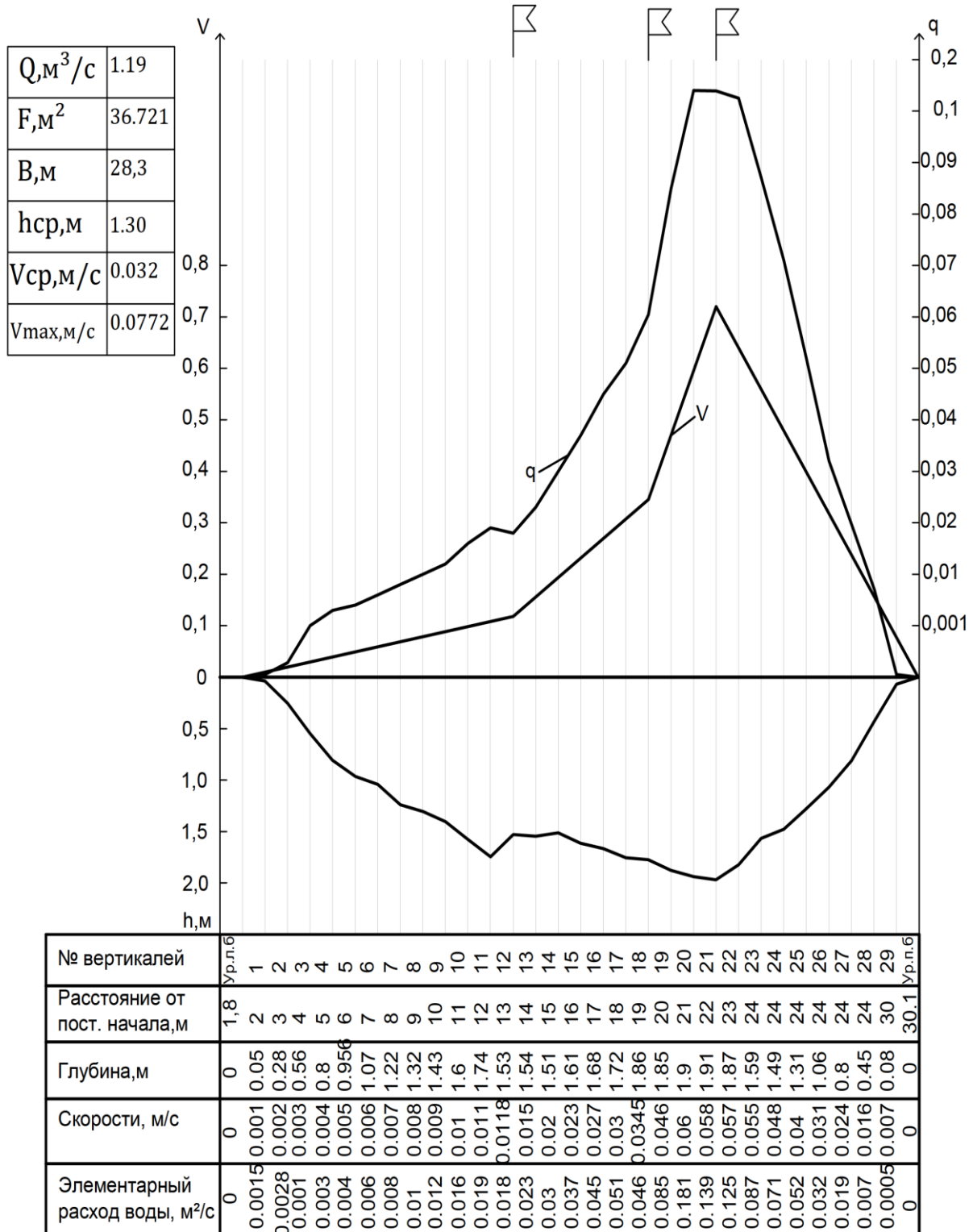


Рисунок 5. – Поперечный профиль реки Лань в верхнем створе

Нижний створ расположен на северо-востоке Ганцевичского района (на границе Ганцевичского и Клецкого районов) в 1,5 км на северо-восток от д. Будча Ганцевичского района Брестской области (рисунок 6).



Рисунок 6. – Карта-схема нижнего створа реки Лань

В пределах створа река имеет прямое русло шириной около 10 метров. Берега имеют значительный уклон. Береговая линия торфянистая и покрыта густой травяной растительностью, местами встречается кустарник. В пределах поймы также встречаются деревья. Речное дно песчаное, у берегов илистое. Водная растительность в значительном количестве присутствовала лишь у самой береговой линии (рисунок 7).



Рисунок 7. – Участок исследования в нижнем створе

По результатам промеров глубин в верхнем створе построен поперечный профиль р. Лань (рисунок 8) и определены основные характеристики на момент изысканий: расход воды $Q = 0,62 \text{ м}^3/\text{с}$; площадь поперечного сечения $F = 4,73 \text{ м}^2$; ширина реки по урезу воды $B = 9,41 \text{ м}$; средняя глубина потока $h_{\text{ср}} = 0,55 \text{ м}$; средняя скорость течения воды $V_{\text{ср}} = 0,13 \text{ м/с}$; максимальная скорость $V_{\text{max}} = 0,15 \text{ м/с}$; уклон водной поверхности $i_{\text{пов}} = 0,261\text{‰}$.

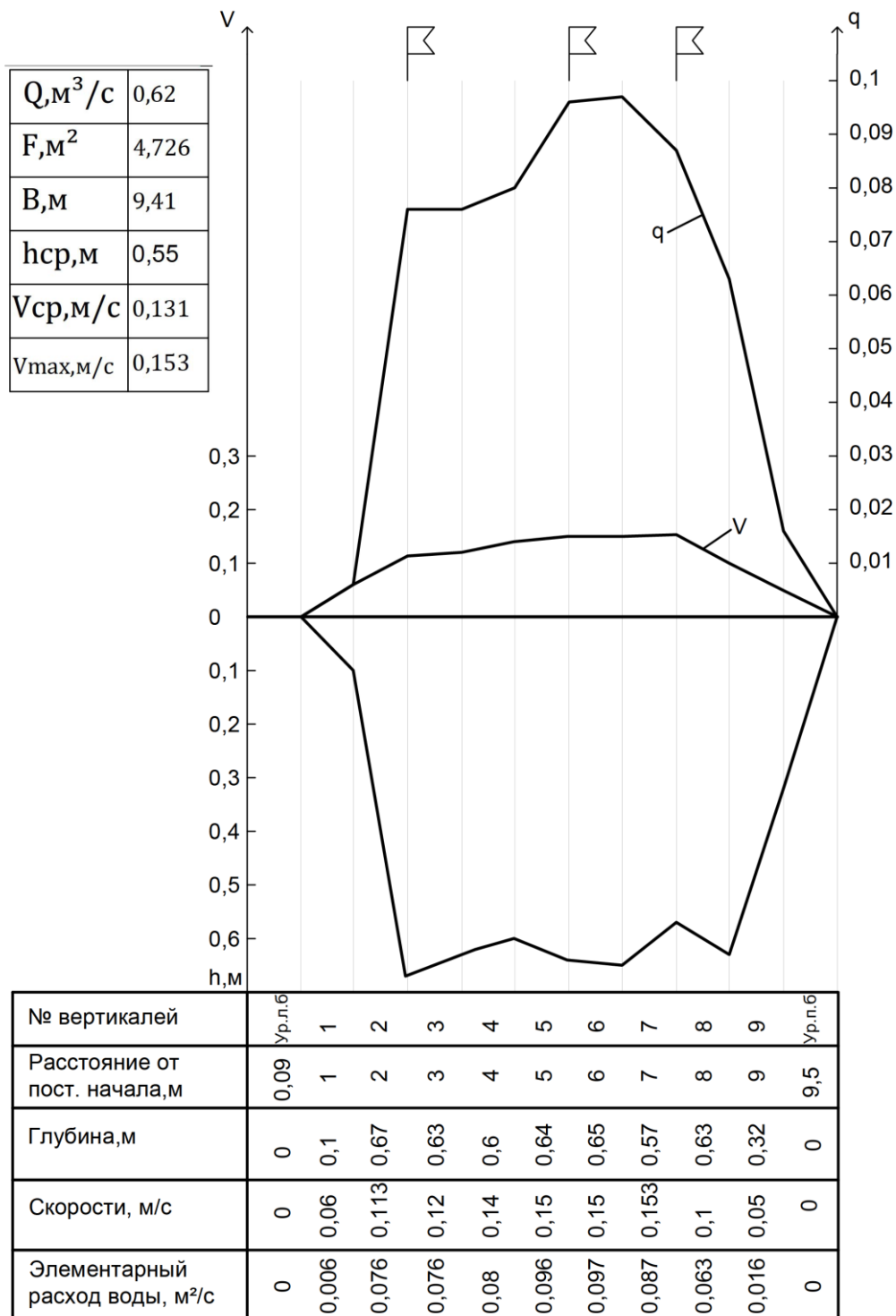


Рисунок 8. – Поперечный профиль реки Лань в нижнем створе

По результатам сравнительного анализа исследуемых створов выявлено значительное их различие как в количественных характеристиках, так и в геометрических размерах. Из количественных характеристик обращает на себя внимание снижение расхода воды в нижнем створе $\Delta Q = -0,57 \text{ м}^3/\text{с}$. Это вызвано дополнительным испарением воды с поверхности водохранилища и рыбоводных прудов, а также регулированием сбросных расходов воды из водохранилища.

Верхний створ находится в подпоре со стороны водохранилища «Локтыши», что вызвало увеличение площади поперечного сечения по сравнению с нижним створом $\Delta F = 31,99 \text{ м}^2$ и ширины потока $B = 18,89 \text{ м}$, и как следствие, увеличением уклона водной поверхности в нижнем створе на величину $i_{\text{пов}} = 0,162\%$, что привело к увеличению скорости течения воды в нижнем створе, средней на $V_{\text{ср}} = 0,10 \text{ м}/\text{с}$ и максимальной на $V_{\text{max}} = 0,08 \text{ м}/\text{с}$.

По результатам обработки данных гидрометрических измерений по методике, описанной выше, и работы [6] получены математические модели (расходы/уровни/скорости) и кривые связи скорости/расхода и уровня воды в створе.

$$V = \alpha \cdot h_{\text{ср}}^3 + \beta \cdot h_{\text{ср}}^2 + \gamma \cdot h_{\text{ср}}, \quad (15)$$

где $h_{\text{ср}}$ – средняя глубина в расчетном створе, м;

α, β, γ – эмпирические коэффициенты, значения которых приведены в таблице 1.

Таблица 1. – Значения эмпирических коэффициентов

Створ	Параметр	Эмпирические коэффициенты			
		α	β	γ	R
Верхний	$V, \text{ м/с}$	-0,0085	0,0302	$-0,09 \cdot 10^{-4}$	0,97
	$Q, \text{ м}^3/\text{с}$	0,4851	0,1076	-0,0399	0,99
Нижний	$V, \text{ м/с}$	-0,0244	-0,0203	0,2771	0,98
	$Q, \text{ м}^3/\text{с}$	2,3585	0,9747	0,0992	0,99

В качестве особенности следует отметить, что применение кривых связи допустимо только в пределах установленного диапазона. Применение экстраполяции допустимо, однако может приводить к значительным отклонениям и погрешностям.

Данные, полученные при расчете экологического стока реки, позволили определить величины допустимого изъятия поверхностных вод из реки с учетом потерь на испарение с водного зеркала и фильтрации из водохранилища. Результаты расчетов при условии обеспечения сохранения реке экологического стока с учетом внутригодового распределения для различных вероятностей превышения (обеспеченностей) приведены ниже. Анализ гидрологических характеристик р. Лань проведен на расчетном участке реки ниже рыбхоза «Локтыши». Данные о количественных характеристиках стока р. Лань по месяцам и в годовом разрезе представлены в таблице 2.

Таблица 2. – Внутригодовое распределение стока реки Лань в средний по водности год

Интервалы осреднения												
январь	февраль	март	апрель	май	июнь	июль	август	сентябрь	октябрь	ноябрь	декабрь	Год
Расход, м ³ /с												
3,31	3,36	4,96	5,65	3,07	2,10	1,86	1,99	2,71	2,93	2,83	2,80	3,11
Коэффициент вариации, C_v												
0,61	0,47	0,56	0,61	0,52	0,59	0,56	0,64	0,39	0,47	0,52	0,50	0,28
Коэффициент асимметрии, C_s												
1,37	0,40	1,57	2,18	1,10	0,70	0,87	1,54	-0,09	2,63	1,95	1,12	0,24
Коэффициент автокорреляции, $r(1)$												
0,01	0,14	0,09	0,20	0,05	0,01	-0,16	-0,20	0,06	-0,15	0,00	0,03	0,25

Анализ внутригодового распределения стока р. Лань в створе д. Локтыши по месяцам показал, что на весенний период приходится 36% от годового стока, зимний сток составляет 25% от годового, на летне-осенний сезон приходится 38% от годового стока. Отличие от типового распределения стока рек Белорусского Полесья вызвано зарегулированностью стока водохранилищем.

Минимальные среднемесячные расходы воды 95% обеспеченности. Характеристики минимального стока являются расчетными при гидрологическом обосновании различных водохозяйственных и водоохранных проектов, а именно: проектирование гидростанций для выработки энергии, водоснабжение городов, сельских населенных пунктов, водного транспорта, рыбного хозяйства. В практике водохозяйственного проектирования основное применение находят величины минимального стока обеспеченностей в диапазоне 75–99%, характеризующие годы с маловодной меженью сравнительно редкой повторяемости. При оценке наихудших условий для формирования качества воды обычно используется минимальный сток 95% обеспеченности (средняя повторяемость 1 раз в 20 лет), что является достаточно произвольным условием, требующим дифференциации в зависимости от тяжести негативных экологических и санитарно-технических последствий.

В таблице 3 приведены результаты расчета минимальных среднемесячных расходов воды 95% вероятности превышения (обеспеченности) с учетом внутригодового распределения стока.

Таблица 3. – Минимальные среднемесячные расходы воды 95% обеспеченности с учетом внутригодового распределения стока реки Лань, млн м³

Интервалы осреднения												
январь	февраль	март	апрель	май	июнь	июль	август	сентябрь	октябрь	ноябрь	декабрь	Год
4,19	6,26	9,66	7,09	4,30	3,89	1,81	2,61	3,38	4,11	5,17	3,37	55,85

Экологический сток рек в различные по водности годы. Рассмотрим определение экологического стока р. Лань в створе деревни Будча. Расчетный период принят с 1954 по 2018 гг. Наиболее эффективно описывает исходные данные функция плотности распределения случайной величины Крицкого – Менкеля. Решая уравнения, получаем две функции плотности распределения экологического стока.

Учитывая результаты проведенных натурных исследований и используя метод переноса обеспеченностей, нами проведены гидрологические расчеты по определению экологического стока р. Лань с учетом внутригодового распределения стока для различных вероятностей превышения (обеспеченностей), результаты которых приведены в таблицах 4, 5.

Таблица 4. – Экологический сток с учетом внутригодового распределения, м³/с/млн м³

Интервалы осреднения												
январь	февраль	март	апрель	май	июнь	июль	август	сентябрь	октябрь	ноябрь	декабрь	Год
95% вероятности превышения (обеспеченности)												
<u>1,30</u> 3,42	<u>1,94</u> 5,10	<u>3,00</u> 7,88	<u>2,20</u> 5,79	<u>1,33</u> 3,51	<u>1,21</u> 3,18	<u>0,56</u> 1,48	<u>0,81</u> 2,13	<u>1,05</u> 2,76	<u>1,28</u> 3,35	<u>1,60</u> 4,21	<u>1,05</u> 2,75	<u>1,44</u> 45,55
75% вероятности превышения (обеспеченности)												
<u>1,86</u> 4,90	<u>2,78</u> 7,31	<u>4,29</u> 11,28	<u>3,15</u> 8,28	<u>1,91</u> 5,02	<u>1,73</u> 4,55	<u>0,80</u> 2,11	<u>1,16</u> 3,05	<u>1,50</u> 3,95	<u>1,83</u> 4,80	<u>2,30</u> 6,03	<u>1,50</u> 3,94	<u>2,07</u> 65,22
50% вероятности превышения (обеспеченности)												
<u>2,31</u> 6,08	<u>3,45</u> 9,06	<u>5,33</u> 14,00	<u>3,91</u> 10,28	<u>2,37</u> 6,23	<u>2,15</u> 5,64	<u>1,00</u> 2,62	<u>1,44</u> 3,79	<u>1,86</u> 4,90	<u>2,27</u> 5,96	<u>2,85</u> 7,48	<u>1,86</u> 4,89	<u>2,57</u> 80,91
5% вероятности превышения (обеспеченности)												
<u>3,21</u> 8,44	<u>4,79</u> 12,58	<u>7,40</u> 19,43	<u>5,43</u> 14,27	<u>3,29</u> 8,65	<u>2,98</u> 7,83	<u>1,39</u> 3,64	<u>2,00</u> 5,26	<u>2,59</u> 6,80	<u>3,15</u> 8,27	<u>3,95</u> 10,39	<u>2,58</u> 6,79	<u>3,56</u> 112,3

Таблица 5. – Величины допустимого изъятия поверхностных вод из реки с учетом сохранения экологического стока, млн м³

Интервалы осреднения												
январь	февраль	март	апрель	май	июнь	июль	август	сентябрь	октябрь	ноябрь	декабрь	Год
95% вероятности превышения (обеспеченности)												
0,75	1,13	1,76	1,09	0,20	0,00	0,00	0,00	0,14	0,51	0,85	0,60	7,04
75% вероятности превышения (обеспеченности)												
0,97	1,45	2,25	1,46	0,42	0,13	0,00	0,00	0,31	0,72	1,12	0,77	9,59
50% вероятности превышения (обеспеченности)												
1,13	1,70	2,63	1,73	0,58	0,28	0,00	0,00	0,45	0,88	1,32	0,90	11,61
5% вероятности превышения (обеспеченности)												
2,03	3,03	4,70	3,25	1,50	1,11	0,06	0,53	1,17	1,76	2,43	1,63	23,19

Заключение. Проведена комплексная оценка воздействия рыбхоза «Локтыши», расположенного в бассейне р. Лань в районе д. Будча, на гидрологический режим реки для повышения эффективности управления водными ресурсами с учетом обеспечения экологического функционирования водных объектов, в ходе которой решены следующие задачи:

- выполнен анализ гидрологического режима расчетных участков реки, используемых для нужд рыбхоза и расположенных в бассейне р. Лань, установлен репрезентативный период для расчета гидрологических характеристик, который составляет 65 лет и принят с 1954 по 2018 гг., определены основные гидрологические характеристики;
- проведены натурные исследования участков реки, в ходе которых заложены створы выше и ниже участка забора воды для нужд рыбхоза. Построены поперечные профили. Для створов рассчитаны гидрологические характеристики, которые включают в себя распределение в поперечных сечениях водотоков местных продольных осредненных скоростей течения воды и расходов воды. Проведенные натурные исследования позволили определить расходы воды на исследуемых участках выше и ниже рыбхозов в период исследований;
- выполнены гидрологические расчеты по определению минимальных среднемесячных расходов воды 95% вероятности превышения (обеспеченности) и экологического стока с учетом внутригодового распределения стока различной обеспеченности;
- разработаны математические модели для участков, расположенных ниже и выше рыбхоза, позволяющие в зависимости от средней глубины воды в створе определить скорости течения и расходы воды;
- оперативные гидравлические расчеты с целью оценки воздействия заборов воды рыбхозом на изменение гидрологического режима водных объектов (глубин воды, скоростей течения и расходов воды) осуществляются на основе разработанных математических моделей как разница расчетных параметров для заложённых створов ниже и выше рыбхозов;

– определены математические зависимости для глубины, скорости течения и расходы воды в исследуемых створах ниже рыбхозов, соответствующих экологическому стоку, с использованием результатов гидрологических расчетов и математических моделей водных объектов;

– определены величины допустимого изъятия поверхностных вод из реки, используемых для нужд рыбхозов, с учетом потерь на испарение с водного зеркала и фильтрации из водохранилищ и прудов, при обеспечении условия сохранения в реках экологического стока, что позволит определить наиболее эффективный режим наполнения рыбоводческих прудов.

Управление водными ресурсами р. Лань должно быть основано на их накоплении в многоводные периоды с целью последующей минимизации изъятия воды в маловодные и в очень маловодные периоды. В маловодные и в очень маловодные периоды могут быть организованы дополнительные попуски с использованием накопленных объемов воды с целью обводнения р. Лань для улучшения гидрологического режима реки и ее прибрежных территорий.

Кроме того, в жаркие засушливые периоды за счет большой площади водных объектов в районе ОАО «Рыбхоз «Локтыши» в 40,38 км² (включая площадь водохранилища и прудового фонда) из-за дополнительного испарения с водной поверхности и дополнительного изъятия из реки для компенсации указанного испарения может происходить существенное снижение стока р. Лань ниже по течению. Поэтому накопление избыточных водных ресурсов в водохранилище Локтыши и в водных объектах ОАО «Рыбхоз «Локтыши» в многоводные периоды, включая половодья и паводки, с организацией попусков в засушливые периоды с учетом минимального необходимого санитарного попуска позволит обеспечить возможность для поддержания оптимального гидрологического режима р. Лань.

ЛИТЕРАТУРА

1. Волчек, А.А. Сток реки Лань: современное состояние и прогноз / А.А. Волчек // Гидрометеорология и экология. – 2021. – № 2. – С. 6–22.
2. Гидравлика, гидрология, гидрометрия : учеб. пособие / А.А. Волчек [и др.] ; под общ. ред. А.А. Волчека. – М. : КНОРУС, 2021. – 520 с. – Бакалавриат и магистратура.
3. Учебная гидрометрическая практика : учеб. пособие / А.А. Волчек [и др.] ; под ред. А.А. Волчека. – Минск : РИВШ, 2020. – 260 с.
4. Волчек, А.А. Гидрологические расчеты : учеб. пособие / А.А. Волчек. – М. : КНОРУС, 2021. – 418 с.
5. Оценка влияния рыбхоза «Селец» на сток реки Ясельда / А.А. Волчек [и др.] // Вестн. Брестского гос. техн. ун-та. Сер. Геоэкология. – 2022. – № 1. – С. 86–96. DOI: 10.36773/1818-1112-2022-127-1-86-96.
6. Статистические методы в природопользовании : учеб. пособие для вузов / В.Е. Валуев [и др.]. – Брест : БПИ, 1999. – 252 с.

REFERENCES

1. Volchek, A.A. (2021). Stok reki Lan': sovremennoe sostoyanie i prognoz [River Lan discharge: current state and forecast]. *Gidrometeorologiya i ekologiya*, (2), 6–22. (In Russ., abstr. in Engl.).
2. Volchek, A.A., Volchek, A.A., Shvedovskii, P.V. & Sheshko, N.N. (2021). *Gidravlika, gidrologiya, gidrometriya*. Moscow: KNORUS. (In Russ.).
3. Volchek, A.A., Volchek, A.A., Meshik, O.P., Moroz, M.F., Sarkynov, E.S. & Zulpykharov, B.A. (2020). *Uchebnaya gidrometriceskaya praktika*. Minsk: RIVSh. (In Russ.).
4. Volchek, A.A. (2021). *Gidrologicheskie raschety*. Moscow: KNORUS. (In Russ.).
5. Volchek, A.A., Parfomuk, S.I., Sheshko, N.N., Shpendik, N.N., Dashkevich, D.N., Sidak, S.V. & Kukharevich, M.F. (2022). Otsenka vliyaniya rybkhoza «Selets» na stok reki Yasel'da [Assessment of the Selets Fish Farm Impact on the Yaselda River Runoff]. *Vestn. Brestskogo gos. tekhn. un-ta. Ser. Geoekologiya [Vestnik of Brest State Technical University. Geoecology]*, (1), 86–96. (In Russ., abstr. in Engl.).
6. Valuev, V.E., Volchek, A.A., Poita, P.S. & Shvedovskii, P.V. (1999). *Statisticheskie metody v prirodoopol'zovanii*. Brest: BPI. (In Russ.).

Поступила 04.05.2022

ASSESSMENT OF THE LOKTYSHI FISH FARM IMPACT ON THE LAN RIVER RUNOFF

**A. VOLCHAK, S. PARFOMUK, N. SHESHKO, N. SHPENDIK,
D. DASHKEVICH, S. SIDAK, M. KUKHAREVICH**

A comprehensive assessment of the impact of the Loktyshi fish farm located in the Lan River basin in the area of the Budcha village on the hydrological regime of the river was carried out. The values of permissible withdrawal of surface water from the river used for the needs of fish farms are determined taking into account evaporation losses from the water mirror and filtration from reservoirs and ponds, while ensuring the conditions for preserving ecological runoff in rivers. It will allow determining the most effective filling regime for fish ponds.

Keywords: fish farming, eutrophication, reconnaissance survey, ecological runoff, water consumption, mathematical model, water content of the year, transverse profile, upper section line, lower section line.