

Волчек А.А., Мажайский Ю.А., Парфомук С.И., Сидак С.В., Шешко Н.Н., Шпендик Н.Н.
Оценка возможного отбора воды пойменными рыбхозами из рек Белорусского Полесья
на примере реки Бобрик

.....
Электронный научно-производственный журнал
«АгроЭкоИнфо»
=====

УДК 556.53:504.064.36(476.1)

Оценка возможного отбора воды пойменными рыбхозами из рек Белорусского Полесья на примере реки Бобрик

*Волчек А.А.¹, Мажайский Ю.А.², Парфомук С.И.¹, Сидак С.В.¹, Шешко Н.Н.¹,
Шпендик Н.Н.¹*

¹Брестский государственный технический университет

²Мещерский филиал ФНЦ ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова

Аннотация

Целью настоящего исследования было научное обоснование допустимого перераспределения стока рек Белорусского Полесья, вызванного забором воды на нужды пойменных рыбхозов на современном этапе и в будущем на примере р. Бобрик в районе рыбхоза «Полесье».

Определение расчетных гидрологических характеристик осуществлялось путем применения аналитических функций распределения ежегодных вероятностей превышения – трехпараметрического гамма-распределения Крицкого-Менкеля. Расчеты внутригодового распределения стока реки производились по водохозяйственным годам, начинающимся с первого месяца многоводного сезона методом компоновки сезонов. Для определения экологического стока с учетом внутригодового распределения использован способ повышения обеспеченности. При определении параметров функции распределения (трехпараметрическое гамма распределение) применяется метод наибольшего правдоподобия.

В статье представлены результаты комплексного исследования допустимого отбора воды на нужды рыбхоза «Полесье», расположенного в пойме реки Бобрик. Выполнены расчеты гидрологических характеристик для створов выше и ниже участка изъятия воды, построены поперечные профили. Определены минимальные среднемесячные расходы воды 95 % вероятности превышения и экологический сток с учетом внутригодового распределения стока различной обеспеченности. Разработаны математические модели для участков рек, позволяющие в зависимости от средней глубины воды в створе определить скорости течения и расходы воды, а также объемы допустимого изъятия воды из реки, для нужд рыбхоза при обеспечении условия

Волчек А.А., Мажайский Ю.А., Парфомук С.И., Сидак С.В., Шешко Н.Н., Шпендик Н.Н.
Оценка возможного отбора воды пойменными рыбхозами из рек Белорусского Полесья
на примере реки Бобрик

.....
Электронный научно-производственный журнал
«АгроЭкоИнфо»
=====

сохранения в реке экологического стока.

На основании оперативных гидравлических расчетов получены оценки воздействия изъятия воды рыбхоза на изменение гидрологического режима реки. На момент изысканий летом 2021 г. на исследуемой реке сток был больше наименьшего критического экологического стока. Уровень воздействия рыбохозяйственного предприятия «Полесье» на водный режим реки Бобрик при существующих объемах изъятия поверхностных вод ниже его допустимых значений, поэтому рекомендуется сохранить текущий уровень воздействия без его увеличения.

Ключевые слова: БЕЛОРУССКОЕ ПОЛЕСЬЕ, ВОДНОСТЬ ГОДА, МОДЕЛЬ, ОБЕСПЕЧЕННОСТЬ, ПОЙМА, ПРОФИЛЬ, СТОР, СТОК, РАСХОД, РЫБХОЗ, УРОВЕНЬ, ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ СТОК

Введение

Речной сток в основном формируется под воздействием природно-климатических факторов, однако в последнее время антропогенные воздействия становятся все более существенными и в ряде случаев соизмеримы с естественными процессами формирования стока. Мощным антропогенным фактором, оказывающим значительное влияние на речные экосистемы, являются крупномасштабные мелиорации, начало которых приходится на середину 60-х годов прошлого столетия, а также сеть рыбоводческих водохранилищ, которые в условиях равнинного рельефа оказывают существенное влияние на речной сток. Кроме того, существенное влияние на сток оказывает наблюдаемое глобальное потепление климата [1].

Целью работы является научное обоснование допустимого перераспределения стока рек Белорусского Полесья, вызванного забором воды на нужды пойменных рыбхозов на современном этапе и в будущем на примере р. Бобрик в районе рыбхоза «Полесье».

Материалы и методы исследования

Гидрографическое описание р. Бобрик

Бобрик, река в Брестской области, левый приток р. Припять, типичная река Белорусского Полесья. Длина 109 км. Площадь водосбора 1902 км². Среднегодовой расход воды в устье 7,60 м³/с. Средний уклон водной поверхности 0,3 ‰. Рельеф водосбора преимущественно плосковолнистый, с песчаными холмами и грядами высотой

Волчек А.А., Мажайский Ю.А., Парфомук С.И., Сидак С.В., Шешко Н.Н., Шпендик Н.Н.
Оценка возможного отбора воды пойменными рыбхозами из рек Белорусского Полесья
на примере реки Бобрик

.....
Электронный научно-производственный журнал
«АгроЭкоИнфо»
=====

до 6 – 8 м. Леса (50 % территории) смешанные, с преобладанием хвойных пород. Долина неясно выражена. Склоны пологие, сливаются с прилегающей местностью, прорезаны сетью мелиоративных каналов. Пойма двухсторонняя, ширина в среднем течении 0,5 – 1 км, в нижнем сливается с поймой Припяти; в весеннее половодье затапливается в истоковой и устьевой частях. Русло канализировано на протяжении 102 км, проложено в 0,5 – 3 км от прежнего, его ширина в верховье 3 – 3,5 м, в низовьях – до 40 м. На весеннее половодье приходится 65 % годового стока. В пойме реки в Пинском районе создано наливное водохранилище Погост, пруды рыбхоза «Полесье» и 2 небольших пруда (11 га и 2,6 га) возле д. Парохонск. Гидрологические наблюдения велись по гидропостам р. Бобрик – д. Парохонск в периоды 1924 – 1933, 1944 – 1987 (закрыт), р. Бобрик – с. Лунин с 1987 г. по настоящее время [2-4].

Для оценки влияния рыбхоза «Полесье» на сток р. Бобрик назначено два створа: выше забора воды из реки на нужды рыбхоза и ниже по течению реки, который находится возле моста на пересечении автомобильной дороги М-10 и р. Бобрик (рис. 1).

Русло реки на участке расположения створов прямолинейное. Его ширина в пределах створа составляет 12 м. Речное дно песчаное. Берега в пределах створа сложены песчаными породами и покрыты преимущественно кустарниковой и травяной растительностью. Левый и правый берег высотой 1 – 2 м. В пределах русла присутствует незначительное количество водной растительности.



Верхний створ

Нижний створ

Рис. 1. Участок исследования в створе

Методика определения основных гидрологических характеристик рек

Наблюдения за стоком воды на р. Бобрик в створе с. Лунин ведутся с 1987 года, т.е. 34 года, что является недостаточным [5]. В этом случае для расчета гидрологических характеристик, а также основных элементов расчетного гидрографа осуществляется путем приведения к многолетнему периоду с привлечением данных пунктов-аналогов [5, 6].

При выборе реки-аналога основным критерием являлось наличие синхронности в колебаниях речного стока расчетного створа и створов-аналогов. Нами продлен гидрологический ряд с помощью программного комплекса «Гидролог-2» [7]. В итоге сформирован гидрологический ряд с 1971 по 2020 гг., т.е. 50 лет.

Определение расчетных гидрологических характеристик осуществлялось путем применения аналитических функций распределения ежегодных вероятностей превышения – трехпараметрического гамма-распределения Крицкого-Менкеля [5, 6].

Расчеты внутригодового распределения стока реки производились по водохозяйственным годам, начинающимся с первого месяца многоводного сезона методом компоновки сезонов [5, 6].

Методика определение экологического стока рек

Изъятие воды из реки ведет к общему уменьшению речного стока, а ее загрязнение практически дает тот же результат, уменьшая количество чистой воды. Однако в реке должен оставаться такой объем воды, который бы обеспечивал минимальные условия сохранения водных экосистем. 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.

В Беларуси размер экологического стока принимается как 75 % от минимального месячного стока 95 % обеспеченности. Но данный подход не обеспечивает внутригодовую изменчивость стока, не учитывает многолетние циклы водности и в большинстве случаев не достигается минимальная скорость течения воды.

Наиболее эффективным способом определения экологического стока с учетом внутригодового распределения является способ повышения обеспеченности. Данный

метод детально описан в работе [8].

Методики обработки результатов измерений по расчетным створам

Расход воды как результат косвенных измерений рассчитывается по данным обработанных измеренных значений элементов. Таким образом, расчетная формула для полного расхода через живое сечение имеет вид [9]:

$$Q = kV_0f_0 + 0,5 \sum_{i=1}^{n-1} (V_i + V_{i+1}) \cdot f_i + k^1 V_n \cdot f_n \quad (1)$$

где V_i , V_{i+1} – проекция средних скоростей на вертикалях; f_{i+1} – площадь между вертикалями; n – количество скоростных вертикалей в расчетном створе.

Алгоритм математической модели уровней и расходов

Для определения средней глубины потока и его средней скорости для расходов воды различной обеспеченности в отдельном створе необходимо решение двух отдельных задач:

- устроить временный (для разовых наблюдений) водомерный пост и измерить основные характеристики потока;
- определить водность года исследуемого водотока.

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

Для вычисления площади многоугольника используются формулы следующего вида:

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

$$\chi = \sum_{i=1}^{n-1} \sqrt{(x_i - x_{i+1})^2 + (y_i - y_{i+1})^2} \quad (3)$$

где x_i и y_i – координаты i -ой точки рассматриваемого многоугольника, м; n – количество точек многоугольника.

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 и гидравлического радиуса (рис. 2).

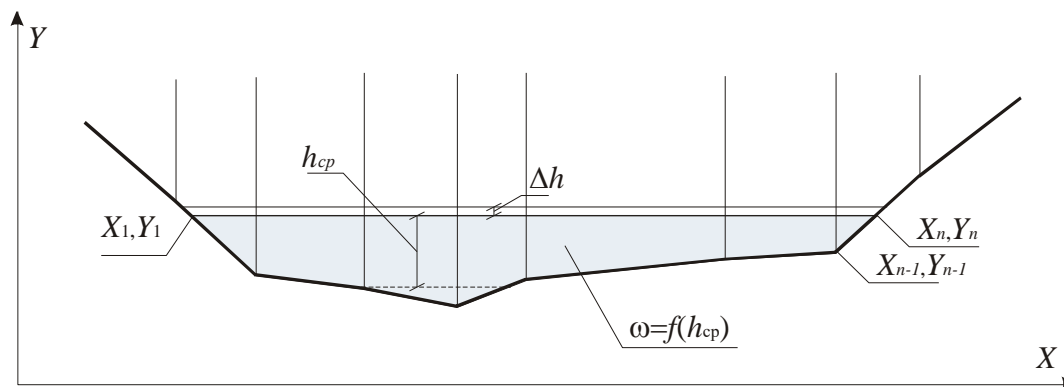


Рис. 2. Схема численной обработки данных промерных работ

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

$$z = \alpha \cdot h_{cp}^2 + \beta \cdot h_{cp} + \varphi, \quad (4)$$

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

С помощью определение зависимости площади живого сечения от средней глубины в виде численного решения уравнения Шези по средней глубине потока

$$Q_{P\%} = \omega_{P\%} C_{P\%} \sqrt{R_{P\%} i}, \quad (5)$$

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).

После преобразования получим из уравнения (5) систему уравнений

$$\begin{cases} Q_{P\%} = \omega_{P\%} C_{P\%} \sqrt{R_{P\%} i} \\ \omega_{P\%} = \alpha_{\omega} \cdot h_{cp P\%}^2 + \beta_{\omega} \cdot h_{cp P\%} + \varphi_{\omega} \\ R_{P\%} = \alpha_R \cdot h_{cp P\%}^2 + \beta_R \cdot h_{cp P\%} + \varphi_R \\ C_{P\%} = \frac{R_{P\%}^{2.5\sqrt{n}-0.13-0.75\sqrt{R_{P\%}}(\sqrt{n}-0.1)}}{n} \end{cases} \quad (6)$$

Так как в уравнении (6) количество неизвестных больше, чем количество

уравнений, то предполагаем (второе допущение), что измеренные значения гидравлических характеристик стока $Q_{\text{изм}}, R_{\text{изм}}, \omega_{\text{изм}}, C_{\text{изм}}, i$ и искомая средняя глубина воды заданной обеспеченности относятся к одному гидрологическому сезону. Исходя из, этого шероховатость русла водотока определяется по формуле Н.Н. Павловского:

$$C_{\text{изм}} = \frac{R_{\text{изм}}^{2,5\sqrt{n}-0,13-0,75\sqrt{R_{\text{изм}}}}(\sqrt{n}-0,1)}{n}, \quad (7)$$

где $C_{\text{изм}} = \frac{Q_{\text{изм}}}{\omega_{\text{изм}} \sqrt{R_{\text{изм}} i}}$ – 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.

Необходимо отметить, что при численном решении уравнения (7) необходимо учитывать границы применимости регрессионных уравнений, то есть решение данного уравнения должно находиться в пределах $0 < h_{\text{ср } P\%} < h_{\text{ср } \text{max}}$, так как экстраполяция данных зависимостей может привести к ошибочным результатам.

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

Результаты исследований и их обсуждение

По результатам гидрологических изысканий, проведенных нами в августе 2021 г. построены поперечные профили р. Бобрик в верхнем и нижнем створах.

В результате измерения скоростей течения воды в русле р. Бобрик в нижнем створе на скоростных вертикалях не было зафиксировано оборотов гидрометрической вертушки, что свидетельствует о стоячей воде в реке вследствие подпора, вызванного закрытым шлюзом в устье реки в месте впадения ее в Припять. Таким образом, на данном участке реки наблюдаются застойные явления, что негативно сказывается на экосистеме реки в нижнем ее течении.

Волчек А.А., Мажайский Ю.А., Парфомук С.И., Сидак С.В., Шешко Н.Н., Шпендик Н.Н.
Оценка возможного отбора воды пойменными рыбхозами из рек Белорусского Полесья
на примере реки Бобрик

Электронный научно-производственный журнал
«АгроЭкоИнфо»

Данные о количественных характеристиках внутригодового распределения стока, коэффициентов вариации, асимметрии и автокорреляции исследуемой реки представлены в таблице 1.

Таблица 1. Основные статистические характеристики стока р. Бобрик – с. Лунин

Месяцы												Год
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Внутригодовое распределение стока рек в средний по водности год, м ³ /с												
3,22	3,13	6,40	12,5	6,31	3,73	2,58	1,97	2,12	2,46	3,33	3,77	4,29
Коэффициент вариации, C_v												
1,04	0,99	0,94	0,79	0,56	0,55	0,67	0,71	0,87	0,90	0,89	0,90	0,37
Коэффициент асимметрии, C_s												
2,33	2,05	1,54	2,28	1,11	0,92	1,14	1,82	1,77	2,60	2,22	2,28	0,07
Коэффициент автокорреляции, $r(1)$												
0,05	0,09	0,12	0,02	-0,09	-0,17	-0,07	0,05	0,45	0,02	-0,14	-0,22	0,32

Внутригодовое распределение стока рек представлено на рис. 3.

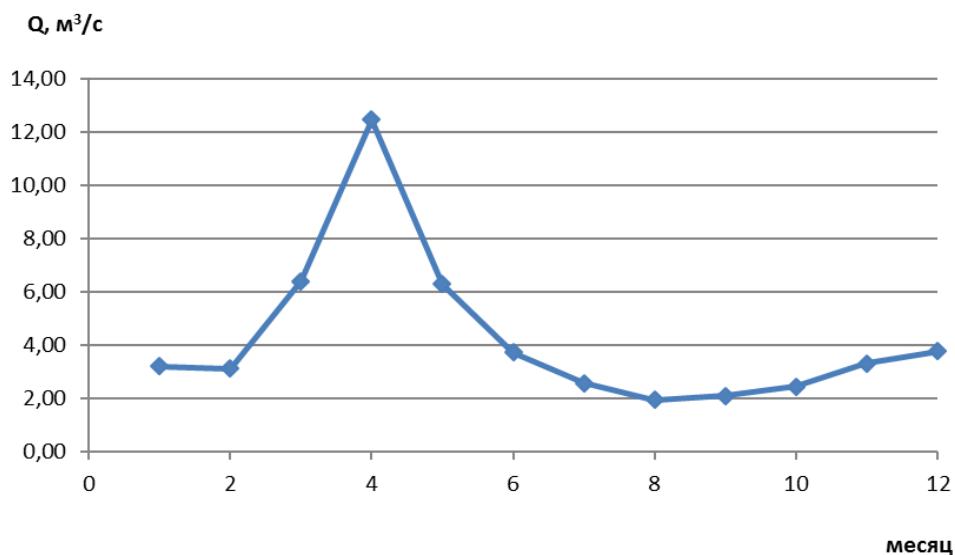


Рис. 3. Внутригодовое распределение стока р. Бобрик в створе с. Лунин

Анализ внутригодового распределения стока р. Бобрик показал, что основной сток проходит в весенний период 49 %, зимний сток составляет 20 %, на летне-осенний сезон приходится 31 % от годового стока.

Минимальные среднемесячные расходы воды 95 % обеспеченности

Минимальный сток является одной из главных характеристик стока рек. В годовом цикле изменения водности рек отчетливо выделяются многоводные и маловодные сезоны.

На реках Полесья наблюдаются два маловодных сезона: летне-осенний и зимний. Данные маловодные сезоны являются смежными и в целом образуют маловодный период года. Необходимо отметить, что понятие «маловодный период» не является синонимом понятия «маловодный цикл». Последний используется при оценке многолетних колебаний речного стока и относится к группе (серии) маловодных лет, в которые величина стока значительно ниже нормы. Речной сток, наблюдающийся в маловодные сезоны при отсутствии значительных паводков, принято называть меженным, а время – меженным периодом.

В таблице 2 приведены результаты расчета минимальных среднемесячных расходов воды 95 % вероятности превышения (обеспеченности) с учетом внутригодового распределения стока.

Таблица 2. Минимальные среднемесячные расходы воды 95 % обеспеченности с учетом внутригодового распределения стока, млн. м³

Месяцы												Год
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
3,74	2,71	7,35	21,47	11,73	6,08	4,22	2,50	2,77	2,21	3,40	5,67	73,83

Экологический сток рек в различные по водности годы

Учитывая результаты проведенных натурных исследований и используя метод переноса обеспеченностей, нами проведены гидрологические расчеты по определению экологического стока рассматриваемых рек с учетом внутригодового распределения стока для различных вероятностей превышения (обеспеченностей), результаты которых приведены в таблице 3.

Таблица 3. Экологический сток расчетной вероятности превышения р. Бобрик с учетом внутригодового распределения, м³/с

Месяцы												Год
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
95 % вероятности превышения												
1,08	0,78	2,12	6,19	3,38	1,75	1,22	0,72	0,80	0,64	0,98	1,63	1,77
75 % вероятности превышения												
1,46	1,06	2,87	8,39	4,59	2,38	1,65	0,98	1,08	0,86	1,33	2,21	2,41
50 % вероятности превышения												
2,01	1,45	3,94	11,5	6,30	3,26	2,27	1,34	1,49	1,18	1,83	3,04	3,30
5 % вероятности превышения												
3,22	2,33	6,32	18,46	10,09	5,23	3,63	2,15	2,38	1,90	2,92	4,87	5,29

Волчек А.А., Мажайский Ю.А., Парфомук С.И., Сидак С.В., Шешко Н.Н., Шпендик Н.Н.
Оценка возможного отбора воды пойменными рыбхозами из рек Белорусского Полесья
на примере реки Бобрик

Электронный научно-производственный журнал
«АгроЭкоИнфо»

Математические модели уровней и расходов

По результатам обработки данных гидрометрических измерений получены математические модели (расходы/уровни/скорости) и кривые связи скорости/расхода воды в р. Бобрик и уровня воды в створе. В качестве особенности следует отметить, что применение кривых связи допустимо только в пределах установленного диапазона.

$$V = 2,5991h_{\text{ср}}^3 - 2.2612h_{\text{ср}}^2 + 1.2720h_{\text{ср}}$$

$$Q = 4,6206h_{\text{ср}}^3 + 7,5529h_{\text{ср}}^2 - 0,0684h_{\text{ср}}$$

Кривая связи расхода воды от средней глубины приведен на рис. 4.

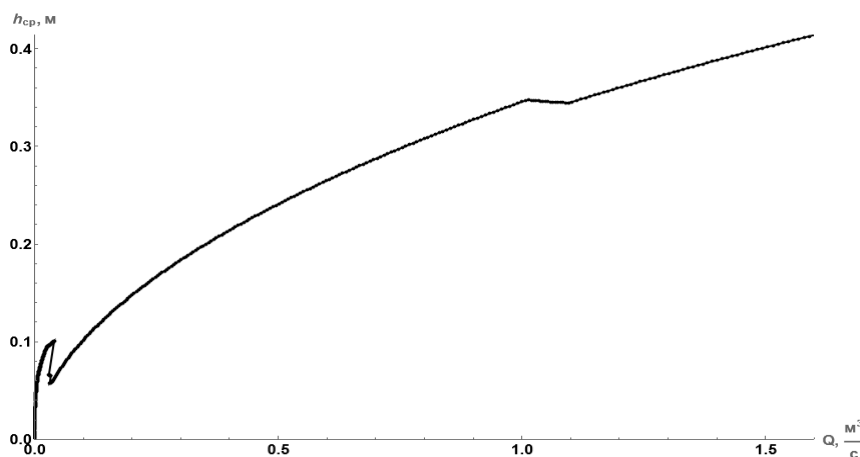


Рис. 4. Кривая связи расхода воды от средней глубины потока р. Бобрик

Общий алгоритм применения математических моделей связи средней глубины потока и скорости/расхода воды в русле.

1. Оценка текущего объема стока/скорости в расчетном створе производится путем измерения средней глубины воды. В качестве точки для измерения средней глубины рекомендуется использовать промерную вертикаль с глубиной на момент проведения изысканий равную или близкую к средней глубине (реперная точка). Выполнив измерения в реперной точке средней глубины (размерность – м) и используя полученные зависимости, определяется расчетная величина расхода/скорости воды в русле (размерность - м³/с или м/с). Сопоставляя расчетную величину расхода с предельными (экологическим) его значениями, принимается решение об уровне допустимого или не допустимого воздействия на водный режим реки со стороны водопользователей (владельцев рыбоводческих прудов).

2. Оценка средней глубины, соответствующей расчетному расходу, решается с

помощью обратной задачи. По графику (рис. 5), по заданному расчетному расходу определяется средняя глубина ему соответствующая. Средняя глубина сопоставляется с допустимой глубиной, соответствующей экологическому стоку. В случае превышений допустимого воздействия принимается решение о увеличении объемов сбросов воды из водохранилища в данный период.

В качестве инженерно-технических решений для повышения эффективности мониторинга за уровнем водопотребления и водопользования со стороны владельца рыбоводческих прудов предлагается установка измерительного устройства в реперных точках расчетных створов исследуемых рек. Измерительное устройство (рис. 5) представляет собой водомерный пост, включающий стационарную сваю [10]. Измерительная штанга имеет информационную раскраску тремя цветами: красный, желтый и зеленый. Зеленый цвет соответствует средней глубине с расходом выше экологического расхода для данного створа. Желтый цвет – глубине при диапазоне стока от экологического до критического экологического стока. Красный цвет – расход воды в створе меньше критического экологического стока.

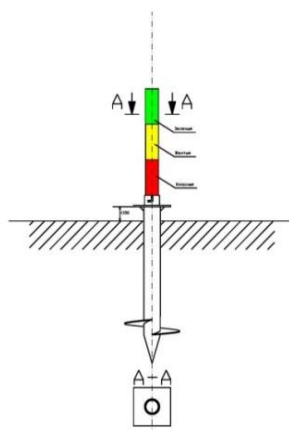


Рис. 5. Измерительное устройство в реперных точках

Данные, полученные при расчете экологического стока реки, позволят определить величины допустимого изъятия поверхностных вод из реки с учетом потерь на испарение с водного зеркала и фильтрации из водохранилищ. Результаты расчетов при условии обеспечения сохранения в рассматриваемых реках экологического стока с учетом внутригодового распределения для различных вероятностей превышения (обеспеченностей) приведены в таблице 5.

Таблица 5. Величины допустимого изъятия поверхностных вод из р. Бобрик с учетом сохранения экологического стока расчетной вероятности превышения (обеспеченности), млн. м³

Месяцы												Год
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
95% вероятности превышения												
0,90	0,65	1,77	5,11	2,61	1,16	0,70	0,31	0,48	0,44	0,78	1,36	16,27
75% вероятности превышения												
1,49	1,08	2,94	8,54	4,48	2,13	1,37	0,71	0,92	0,79	1,33	2,27	28,04
50% вероятности превышения												
1,58	1,14	3,12	9,06	4,76	2,28	1,47	0,77	0,99	0,84	1,41	2,40	29,82
5% вероятности превышения												
2,51	1,81	4,93	14,34	7,65	3,77	2,51	1,39	1,67	1,38	2,25	3,80	48,00

Расчет величин допустимого изъятия поверхностных вод, представленный в табл. 5, основан на определении рекомендуемого экологического стока способом повышения обеспеченности и представляет собой величины для различных вероятностей превышения (обеспеченностей). При этом наименьшее критическое значение экологического стока принимается как 75 % от минимального месячного стока 95 % обеспеченности. Поэтому рассчитаны величины максимального допустимого изъятия поверхностных вод из исследуемых рек с учетом потерь на испарение с водного зеркала и фильтрации из водохранилищ и сохранения экологического стока 95 % вероятности превышения, представленные в таблице 6.

Таблица 6. Величины максимального допустимого изъятия поверхностных вод из р. Бобрик с учетом сохранения экологического стока 95 % вероятности превышения (обеспеченности), млн. м³

Месяцы												Год
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
2,08	1,04	5,68	19,73	9,84	4,11	2,24	0,55	0,92	0,45	1,71	4,00	52,37

Анализ полученных результатов показал, что для р. Бобрик величины допустимого изъятия поверхностных вод с учетом потерь на испарение с водного зеркала и фильтрации из водохранилища в год составляют от 16,27 млн. м³ для экологического стока 95 % вероятности превышения (обеспеченности) до 48,00 млн. м³ для стока 5 % вероятности превышения. Величина максимально допустимого изъятия поверхностных вод из реки с

учетом сохранения наименьшего критического значения экологического стока не может превышать 52,37 млн. м³. Наибольшее изъятие из реки допустимо в весенние месяцы (март-май) – от 9,49 млн. м³ (сток 95 % обеспеченности) до 26,92 млн. м³ (сток 5 % обеспеченности), а наименьшее – летом (с июня по август) – от 2,17 до 7,67 млн. м³ для экологического стока 95 % и 5 % вероятности превышения, соответственно.

Для анализа и оценки уровня воздействия рыбохозяйственных предприятий на водный режим исследуемых рек введена цветовая индикация. В качестве критерия отнесения к той или иной зоне по уровню воздействия принято соотношение текущего объема изъятия воды рыбохозяйственным предприятием к доступному объему изъятия при различных условиях. Введено три основные зоны (табл. 7).

Таблица 7. Зоны уровня воздействия рыбохозяйственных предприятий на водный режим рек

Зона	Критерий отнесения
Зеленая зона	Объем изъятия воды не превышает доступный при расчетном экологическом стоке 95 % вероятности превышения
Желтая зона	Объем изъятия воды превышает доступный при расчетном экологическом стоке 95 % вероятности превышения, но меньше критического значения экологического стока, принимаемого как 0,75 от минимального месячного стока 95 % обеспеченности
Красная зона	Объем изъятия превышает максимально допустимый при расчетном критическом значении экологического стока.

С целью более эффективного управления и анализа деятельности рыбохозяйственных предприятий Зеленую зону разделим на 2 подзоны:

1. Зеленая зона подзона 1 – объем изъятия воды не превышает доступный при расчетном экологическом стоке 75 % вероятности превышения;

2. Зеленая зона подзона 2 – объем изъятия воды превышает доступный при расчетном экологическом стоке 75 % вероятности превышения, но меньше в случае экологического стока 95 % вероятности превышения.

Для каждой зоны и подзоны рекомендуются действия с целью обеспечения допустимого уровня воздействия на водные объекты хозяйственной деятельности рыбохозяйственных предприятий (табл. 8).

Таблица 8. Допустимые уровни воздействия хозяйственной деятельности рыбохозяйственных предприятий на водные объекты по зонам

Зона	Уровень воздействия на водные объекты
Зеленая зона подзона 1	Уровень воздействия на водные объекты значительно ниже допустимых его значений. Рекомендуется сохранить текущий уровень воздействия без его увеличения.
Зеленая зона подзона 2	Уровень воздействия на водные объекты значительно ниже допустимого, однако в отдельные маловодные и экстремально маловодные периоды может наблюдаться напряженная экологическая обстановка в акватории. Рекомендуется рыбохозяйственным предприятиям разрабатывать план действий для очень маловодных лет.
Желтая зона	Уровень воздействия на водные объекты превышает допустимый. Предприятиям необходимо пересматривать водохозяйственный баланс и, возможно, технологию по выращиванию рыбы.
Красная зона	Критический уровень воздействия хозяйственной деятельности на водный объект. Данный уровень воздействия незамедлительно должен быть снижен, а также должен быть проведен дополнительный анализ деятельности предприятия как в части обоснованности текущего уровня производства продукции, так и возможности вовлечения иных источников водных ресурсов. Данная зона является полностью неприемлемой с точки зрения сохранения водотоков и их экосистем.

Сопоставляя существующие объемы изъятия и рассчитанные величины допустимого изъятия поверхностных вод из исследуемой реки с учетом сохранения экологического стока, а также используя предложенное зонирование уровней воздействия рыбохозяйственных предприятий на водный режим рек, получено разделение рек по зонам в зависимости от степени воздействия на водные объекты. Результаты расчетов показывают, что р. Бобрик относится к зеленой зоне подзоне 1.

Представленные расчеты и основанные на них рекомендации получены на существующих данных по объемам изъятия рыбхозами поверхностных вод из реки. В дальнейшем следует руководствоваться приведенными расчетами и при переходе реки из зеленой зоны в желтую по уровню изъятия поверхностных вод рыбхозу необходимо предпринимать компенсирующие мероприятия по снижению последствий такого перехода и по возможности стараться находиться в зеленой зоне (подзона 1 или подзона 2). Следует также отметить, что красная зона является полностью неприемлемой с точки зрения сохранения водотоков и их экосистем.

Оценки изменения гидрологического режима рек под влиянием природных и воздействием антропогенных факторов

Используя гидролого-климатическую гипотезу, в основе которой лежит стандартное уравнение водного баланса участка суши с независимой оценкой основных элементов баланса [11], реализованного нами в виде программного комплекса «Баланс-2» [12-14], смоделированы возможные колебания водного режима рек Белорусского Полесья. При этом рассмотрены гипотезы прогнозируемого изменения климата и антропогенных воздействий на водосборы рек для месячных интервалов осреднения по рекам Белорусского Полесья, в том числе и по р. Бобрик, двух сценариев развития климата А1В и В1 [15].

Выполнены прогнозные оценки изменения речного стока в Белорусском Полесье на период до 2035 года. При этом использовались результаты оценки фактического изменения климата и речного стока, а также уточненный прогноз изменения климата на период до 2035 года с учетом мультимодельного ансамбля из четырех сценариев, рекомендуемого МГЭИК, а также региональной изменчивости климата.

Обобщение результатов расчетов прогнозного изменения стока в Белорусском Полесье на период до 2035 года приведено в таблице 9 и на картосхемах в [15].

По результатам расчетов можно сделать следующие выводы о прогнозируемом изменении стока рек Белорусского Полесья до 2035 года [15]:

- снижение среднегодового стока;
- незначительное уменьшение стока в зимний период по большинству рек;
- в весенний период, за редким исключением, вероятно снижение стока;
- в летний период прогнозируется существенное и максимальное из всех периодов года уменьшение стока;
- в осенний период (особенно в начале осени – до середины октября) также прогнозируется снижение стока.

Таблица 9. Прогноз изменения поверхностного стока до 2035 года для рек Белорусского Полесья, в % от современного состояния

Период	Зима	весна	лето	осень	среднегодовой
В среднем по Белорусскому Полесью	-1,3	-6,5	-24,6	-8,5	-10,2

Следует отметить, что прогнозные оценки изменения стока рек в условиях изменяющегося климата рассматриваются как вероятностные, связанные с допущением ряда неопределенностей исходя из различных факторов [15].

Значимость оценок и прогнозов речного стока в условиях изменяющегося климата определяется целесообразностью их последующего учета при планировании водоохранных и водохозяйственных мероприятий, связанных с совершенствованием управления речными бассейнами.

Особенно это актуально в связи с тем, что одним из наиболее негативных последствий изменения климата для речного стока является возможное увеличение частоты и интенсивности неблагоприятных метеорологических и гидрологических явлений. Усиление неравномерности внутригодового распределения стока и увеличение рисков наводнений, обусловленных резкими оттепелями в зимний период, более ранним наступлением весеннего половодья и увеличением интенсивности дождевых паводков может привести к увеличению рисков экстремальных явлений.

Кроме того, за счет возможного увеличения частоты и продолжительности засушливых периодов повышаются риски существенного уменьшения стока малых рек со снижением в них уровня воды, ухудшением ее качества и уменьшением рекреационного потенциала этих рек.

Заключение

Проведена комплексная оценка воздействия рыбхоза «Полесье», расположенного в бассейне р. Бобрик, 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 р. Бобрик, используемой для нужд рыбхоза «Полесье», расположенного в бассейне реки, установлен репрезентативный период для расчета гидрологических характеристик, который составляет 50 лет с 1971 по 2022 годы, что позволило определить основные гидрологические характеристики, включающие среднемноголетние значения стока, коэффициенты вариации, асимметрии, автокорреляции для исследуемой реки;

– проведены натурные исследования участка реки, в ходе которых заложены

створы выше и ниже изъятия воды для нужд рыбхоза. Построены поперечные профили. Рассчитаны гидрологические характеристики, которые включают в себя распределение в поперечных сечениях водотоков местных продольных осредненных скоростей течения воды и расходов воды;

– выполнены гидрологические расчеты по определению минимальных среднемесячных расходов воды 95 % вероятности превышения и экологического стока с учетом внутригодового распределения стока различной обеспеченности;

– разработаны математические модели для участков, расположенных ниже и выше рыбхоза, позволяющих в зависимости от средней глубины воды в створе определить скорости течения и расходы воды;

– определены математические зависимости для глубины, скорости течения и расходов воды в исследуемых створах ниже рыбхоза, соответствующих экологическому стоку, которые позволяют решать прямую и обратную задачу движения водных масс в открытых руслах;

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

Полученные результаты актуальны на ближнюю перспективу (10 лет), возможно, потребуются некоторые корректировки в будущем в связи с прогнозируемыми изменениями климата. Прогнозные оценки изменения стока рек Белорусского Полесья на период до 2035 года характеризуются незначительным изменением стока в среднем за год, но высока вероятность его неравномерности и разнонаправленности в сезоны и месяцы. Особенно существенно может измениться сток в летние месяцы. Усиление неравномерности внутригодового распределения стока и увеличение рисков наводнений, обусловленных резкими оттепелями в зимний период, более ранним наступлением весеннего половодья и увеличением интенсивности дождевых паводков может привести к увеличению рисков экстремальных явлений, в том числе возникновения маловодных периодов, повышается вероятность наступления длительных маловодных периодов. Во время маловодных периодов может произойти существенное уменьшение стока малых

рек, ухудшение экологического состояния реки.

Хоть прогнозные оценки изменения стока рек рассматривают как вероятностные, связанные с допущением ряда неопределенностей, тем не менее, разработка и реализация мер по адаптации к изменению климата в части уточнения водохозяйственных балансов рыбхозов являются неотъемлемой частью задачи управления водными ресурсами в будущем.

Список использованных источников:

1. Логинов, В.Ф. Водный баланс речных водосборов Беларуси / В.Ф. Логинов, А.А. Волчек. – Минск: Тонпик, 2006 – 160 с.
2. Энциклопедия. В 3 томах. – Редкол.: Т.В. Белова [и др.]. – Минск: Беларуская Энцыклапедыя імя П. Броўкі, 2010. – 504 с.
3. Мониторинг, использование и управление водными ресурсами бассейна р. Припять / Под общей ред. М.Ю. Калинина и А.Г. Ободовского. – Минск: Белсэнс, 2003. – 269 с.
4. Водные ресурсы Брестской области: [коллективная монография] / А. А. Волчек, М. Ю. Калинин. – Минск: БГУ, 2002. – 436 с.
5. Расчетные гидрологические характеристики. Порядок определения. Технический кодекс установившейся практики ТКП 45-3.04-168-2009(02250) // Минск: РУП «Стройтехнорм», 2010. – 55 с.
6. Волчек, А.А. Гидрологические расчеты: учебное пособие. – Москва: КНОРУС, 2021. – 418 с.
7. Волчек, А.А. Пакет прикладных программ для определения расчетных характеристик речного стока / А.А. Волчек, С.И. Парфомук // Веснік Палескага дзяржаўнага ўніверсітэта. Серыя прыродазнаўчых навук. – 2009. – № 1. – С. 22–30.
8. Ясельда / И.В. Абрамова [и др.]; под общ. ред. А.А. Волчека, И.И. Кирвеля, Н.В. Михальчука; Национальная академия наук Беларуси, Полесский аграрно-экологический институт. – Минск: Беларуская навука, 2017. – (Реки Полесья). – 416 с.
9. Волчек, А.А. Гидрометрия: учебное пособие / А.А. Волчек. – Москва: КНОРУС, 2024. – 388 с.
10. Устройство для измерения уровня воды: пат. 13217 Респ. Беларусь, МПК U G 01F 23/00 / А.А. Волчек, М.А. Таратенкова, Д.А. Шпока, Е.И. Дмухайло; заявитель Брест. гос. техн. ун-т. – № и 20220312; заявл. 30.12.22; опубл. 30.06.23 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2023. – № 3. – С. 97 – 98.
11. Мезенцев, В.С. Гидролого-климатическая гипотеза и примеры ее использования // Водные ресурсы, 1995. – Том 22, № 3. – С. 299–301.

Волчек А.А., Мажайский Ю.А., Парфомук С.И., Сидак С.В., Шешко Н.Н., Шпендик Н.Н.
Оценка возможного отбора воды пойменными рыбхозами из рек Белорусского Полесья
на примере реки Бобрик

.....
Электронный научно-производственный журнал
«АгроЭкоИнфо»
=====

12. Волчек, А.А. Компьютерное моделирование водного баланса малых рек Беларуси / А.А. Волчек, С.И. Парфомук / Вест. Полоцк. гос. ун-та. Сер.: Прикладные науки. Строительство. – 2007. – № 6. – С. 152–155.

13. Волчек, А.А. Методика определения максимально возможного испарения по массовым метеоданным (на примере Белоруссии) // Мелиорация и водное хозяйство. – 1986. – № 12. – С. 17–21.

14. Волчек, А.А. Автоматизация гидрологических расчетов / А.А. Волчек // Водохозяйственное строительство и охрана окружающей Среды: Труды международной научно-практической конференции по проблемам водохозяйственного, промышленного и гражданского строительства и экономико - социальных преобразований в условиях рыночных отношений. / Брест. политехн. институт. - Биберах - Брест - Ноттингем, 1998. – С. 55–59.

15. Водные ресурсы Беларуси и их прогноз с учетом изменения климата/ А.А. Волчек, В.Н. Корнеев, С.И. Парфомук, И.А. Булак // под общ. ред. А.А. Волчек, В.Н. Корнеева. — Брест: Издательство «Альтернатива», 2017. – 225 с.

=====

Цитирование:

Волчек А.А., Мажайский Ю.А., Парфомук С.И., Сидак С.В., Шешко Н.Н., Шпендик Н.Н. Оценка возможного отбора воды пойменными рыбхозами из рек Белорусского Полесья на примере реки Бобрик [Электрон. ресурс] // АгроЭкоИнфо: Электронный научно-производственный журнал. – 2025. – № 1. – Режим доступа: http://agroecoinfo.ru/STATYI/2025/1/st_120.pdf DOI: <https://doi.org/10.51419/202151120>.