

8. Проектирование схем комплексного использования водных ресурсов. Перевод с англ. – М.: Энергия, 1966. – 334 с.
9. Воропаев, Г.В., Исмаилов, Г.Х., Федоров, В.М. Моделирование водохозяйственных систем аридной зоны СССР. – М. Наука, 1984. - 313 с.
10. Косолапов, А.Е. Совершенствование процесса управления водными ресурсами бассейна реки на основе автоматизированных информационно – советующих систем. Автореферат докторской диссертации. – Екатеринбург: РосНИИВХ, 1996. –34 с.
11. Пряжинская, В.Г., Ярошевский, Д.М., Левит-Гуревич, Л.К. Компьютерное моделирование в управлении водными ресурсами. – М : Физматлит. 2002. – 496 с.
12. Вода России. Экономико-правовое управление водопользованием. Под ред. А.М. Черняева. – Екатеринбург : Аква-пресс, 2000. – 408 с.
13. Черепанский, М.М. Гидрогеологические прогнозы влияния отбора подземных вод на речной сток // Природные ресурсы. – 1999. – № 3., С. 53–69
14. Вьетнамский национальной регламент: QCVN 04-05: 2012/BNNPTNT/ Национальный технический регламент о гидротехнических сооружениях - Основные условия для проектирования. – Ханой 2012. – 47 с.
15. Перехрест, В.С., Плужников, В.Н. Водохозяйственные проблемы использования и сохранения малых рек // Проблемы использования и охраны водных ресурсов. – Минск: Наука и техника, 1986. – С. 30–43.
16. Мухавец: энциклопедия малой реки / А.А. Волчек и др. Брест: Академия, 2006. – 344 с.
17. Михневич, Э.И. Деформация русел канализованных рек Белорусского Полесья и меры по их предотвращению / Э.И. Михневич // Природная среда Полесья: особенности и перспективы развития: сб. научн. Трудов: в 2 т. – Брест: Академия, 2006.– Том 2. С.479–485
18. Фам Нгок Киен. Критерии оптимизации параметров водохозяйственного комплекса в бассейнах малых рек предгорных районов Вьетнама/ Наука и техника. – 2016 – N⁰². – С. 124–128.
19. Колобаев, А.Н. Рациональное использование и охрана водных ресурсов – Минск : БНТУ, 2005 – 172 с.

УДК 504.453/556.53

УСТАНОВЛЕНИЕ ДОПУСТИМЫХ ПРЕДЕЛОВ ИЗМЕНЕНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК ВОДНОГО РЕЖИМА ВОДОТОКОВ, ОБЕСПЕЧИВАЮЩИХ ИХ ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ ФУНКЦИОНИРОВАНИЕ

Корнеев В.Н., Гертман Л.Н., Титов К.С., Булак И.А.

Центральный научно-исследовательский институт комплексного использования водных ресурсов, г. Минск, Республика Беларусь,
v_korn@rambler.ru, lubov.hertman@yandex.ru, ktsitou@gmail.com, i_bulak@tut.by

The article describes the approaches to the determination of quantitative characteristics of the watercourses water regime to ensure their ecological functioning

Введение

Стратегическая цель в области сохранения водного потенциала страны состоит в улучшении качества водных ресурсов, сбалансированных с потребностями общества [1, 2].

При разработке программ устойчивого функционирования водохозяйственных систем различного уровня основными элементами, характеризующими возможности эффективного использования речного стока, являются характеристики водного ре-

жима водотоков, определяющие его экологическое функционирование - при изъятии части речного стока в реке должен оставаться необходимый минимум, обеспечивающий нормальное функционирование водной экосистемы с возможностью ее самовосстановления.

С целью совершенствования технической нормативной правовой базы Республики Беларусь в области регулирования хозяйственной деятельности при управлении водными ресурсами, включая планирование и проведение инженерных мероприятий в бассейнах рек и водопользование, разработан проект технического кодекса установившейся практики (далее – технический кодекс). Технический кодекс устанавливает порядок расчета допустимых пределов изменения характеристик водного режима рек для обеспечения их экологического функционирования с целью регулирования хозяйственной деятельности на них.

Положения технического кодекса будут распространяться на источники воздействия на водный режим водотоков, включая водозаборы поверхностных вод, ГЭС, ГАЭС, АЭС, другие гидротехнические инженерные сооружения и мероприятия в бассейнах рек. Требования технического кодекса будут применяться при регулировании хозяйственной деятельности в бассейнах рек Республики Беларусь, включая трансграничные участки рек Западная Двина, Неман, Виляя, Днепр, Припять, Западный Буг.

Методы исследования

Технический кодекс разработан по результатам работ по заданию Государственной научно-технической программы «Природные ресурсы и окружающая среда». Целью работ по заданию было проведение расчетов уровня и скоростного режима трансграничных участков крупных рек Беларуси и уточнение характеристик их водного режима обеспечивающих экологическое функционирование.

Для гидрологических постов рек Неман, Виляя, Западная Двина, Днепр, Припять, Западный Буг на основе многолетних наблюдений за гидрологическим режимом на ближайших к трансграничным участкам стационарных постах рассчитаны значения экологического стока – лимитирующие расходы и минимальные уровни воды. Для определения современных морфометрических и гидравлических характеристик трансграничных участков рек проведены экспедиционные исследования. В результате обработки полученных данных определены современные координаты характерных поперечных сечений, характеристики скоростного режима (поля продольных осредненных скоростей) и расходы воды, характеристики русловых процессов, а также общие характеристики прилегающих к водотокам территорий. По результатам камеральных и экспедиционных исследований, гидрологических расчетов, включая водохозяйственные балансы, а также гидравлических расчетов с использованием математических моделей трансграничных участков основных рек выполнено обобщение характеристик экологического стока этих участков.

Установлено, что измеренные в ходе экспедиционных исследований в 2014-2015 гг. расходы воды на трансграничных участках соответствуют мало-водным и особо маловодным условиям летне-осенней межени, что представляет особую ценность полученных результатов в части принципиального экспериментального подтверждения и уточнения величин экологического стока.

Результаты исследования

Проведенный комплекс работ позволил разработать алгоритм определения количественных характеристик водного режима водотоков, обеспечивающих их экологическое функционирование, что легло в основу проекта технического кодекса.

Определение количественных характеристик водного режима водотоков, обеспечивающих их экологическое функционирование, должно основываться на использовании результатов гидрологических и гидравлических расчетов.

Гидрологические расчеты выполняются для обоснования минимального необходимого расхода воды в водотоке с использованием:

- расчетных гидрологических характеристик;
- лимитирующих гидрографов внутригодового распределения стока для маловодных периодов;
- водохозяйственных балансов.

Определение расчетных гидрологических характеристик предполагает определение минимальных среднемесячных расходов 95 % вероятности превышения на основании методик, приведенных в ТКП 45-3.04-168-2009 (02250) [1] и П1-98 к СНиП 2.01.14-83 [2]. При определении экологического стока используется требование необходимости сохранения в водотоке 75 % минимального среднемесячного расхода летне-осенней или зимней межени. За величину экологического стока принимается большее из значений, определенных для условий летне-осенней и зимней межени по расчетным гидрологическим характеристикам.

Определение лимитирующих гидрографов внутригодового распределения стока для маловодных и особо маловодных лет выполняется согласно Рекомендаций по расчету минимально допустимых расходов воды, не подлежащих изъятию из рек в условиях Республики Беларусь [3] или по методике расчета внутригодового распределения стока при наличии гидрометрических наблюдений для года с минимальными среднемесячными расходами за летне-осеннюю и зимнюю межень с использованием метода компоновки в соответствии с П1-98 к СНиП 2.01.14-83 и [2]. При отсутствии гидрометрических наблюдений следует использовать тот же метод с привлечением изученного объекта – аналога, находящегося в сходных с неизученным физико-географических условиях. В качестве экологического ограничения принимается 75 % от большей величины из значений минимальных расходов воды за периоды летне-осенней и зимней межени, определенных по лимитирующим гидрографам стока.

В качестве экологического ограничения принимается большая из величин расчетных гидрологических характеристик и лимитирующих гидрографов внутригодового распределения стока для маловодных и особо маловодных лет.

Расчет водохозяйственного баланса проводится на основании полученных характеристик экологического ограничения (стока). Порядок разработки и оформления водохозяйственных балансов производится в соответствии с ТКП 17.06-03-2008 (02120) [4].

Определение расходов воды, необходимых для обеспечения рекомендуемого скоростного режима, может выполняться посредством расчёта:

гидравлической характеристики для заданного поперечного сечения: зависимостей расхода воды от уровня воды $Q(h)$ и на ее основании - расхода воды от средней скорости течения $Q(v)$; либо

водного режима для заданного участка водотока с определением расходов воды, уровней воды и скоростей течения вдоль заданного участка.

Экологический сток определяется для заданного поперечного сечения реки (заданного участка реки) как значение минимального расхода воды $Q(v)$, при котором обеспечиваются необходимые условия проточности. Минимальное значение средней в поперечном сечении скорости для рек бассейна Припяти рекомендуется не менее 0,1 м/с; для остальных бассейнов рек – не менее 0,2 м/с.

Дополнительно выполняется учет русловых процессов при определении величины экологического стока путем расчета для заданного поперечного сечения незаиляющих скоростей течения и сравнения с ними средних скоростей течения.

Расчет зависимости расхода воды от уровня (глубины) воды $Q(h)$ с определением зависимости скорости потока от расхода воды $V(Q)$.

Зависимость $Q(h)$ определяется не менее, чем для пяти характерных уровней воды (рекомендуемое количество – 10) по формуле (1):

$$Q = \omega C \sqrt{Ri}, \quad (1)$$

где Q – расход воды, m^3/c ; ω – площадь поперечного сечения, соответствующая заданной глубине, определяется по координатам поперечных сечений, либо по ширине $B(m)$ и средней глубине $h(m)$ поперечного сечения как произведение средней глубины $h(m)$ на ширину $B(m)$, m^2 ; R – гидравлический радиус, равный отношению площади поперечного сечения ω к смоченному периметру этого поперечного сечения P , m ; i – гидравлический уклон; C – коэффициент (скоростной множитель) Шези, который для открытых безнапорных потоков определяется с использованием следующих формулы (2) если $R \geq 1$ либо (3), если $R < 1$:

$$C = 7,696 \ln R + \frac{1}{n}, \quad (2)$$

$$C = \frac{1}{n} R^{1,18\sqrt{n}}. \quad (3)$$

где n – коэффициент шероховатости, определяется по таблице 1.

Средняя скорость в поперечном сечении V определяется по формуле:

$$V = \frac{Q}{\omega} \quad (4)$$

Обозначения параметров принимать по формуле (1).

Данный способ требует точного значения величины уклона и является достаточно упрощенным в связи с тем, что позволяет определить среднюю скорость для конкретного поперечного сечения реки, а не изменение скоростного режима на участке реки по его длине.

Расчет водного режима для участка водотока осуществляется в соответствии с п.6.1 ТКП 17.06-06-2012 (02120) [5].

В результате расчетов определяются значения расходов воды, уровней воды, средних в сечении скоростей течения по всей длине рассматриваемого участка водотока с заданным шагом по его длине от 0,01 км до 1,0 км.

Уточнение характеристики экологического стока по характеристикам русловых процессов, основным показателем которых является незаиляющая скорость течения $U_{\text{незаи.}}$, определяемая по зависимости (5):

$$U_{\text{незаи.}} = e \sqrt{R}, \quad (5)$$

где e – коэффициент, определяемый по формуле (6); R – гидравлический радиус, m ;

Таблица 1 – Значения коэффициентов шероховатости

№ п/п	Характеристика поперечного сечения реки	Коэффициенты шероховатости
1	Естественное русло в весьма благоприятных условиях (чистое, прямое, незасоренное, земляное, со свободным течением)	0,025-0,033
	То же, но без слова весьма	0,025-0,033
	То же с камнями	0,03-0,04
2	Периодические потоки (большие и малые при очень хорошем состоянии поверхности и форме ложа)	0,033
	То же, но без слова очень	0,033
3	Земляные русла сухих логов в относительно благоприятных условиях	0,04
4	Русла периодических водотоков, несущих во время паводка заметное количество наносов с крупногалечниковым или покрытым растительностью ложем. Периодические водотоки, сильно засоренные и извилистые	0,05
	Чистое извилистое ложе с небольшим числом промоин и отмелей	0,033-0,045
6	То же, но слегка заросшее и с камнями	0,035-0,05
	Значительно заросшие участки рек с очень медленным течением и глубокими промоинами	0,05-0,08
	То же, но без слова значительно	0,05-0,08
7	Очень сильно заросшие участки рек болотного типа (заросли, кочки, во многих местах почти стоячая вода и др.)	0,075-0,15
	То же, но без слов очень сильно	0,075-0,15
8	Поймы больших и средних рек, сравнительно разработанные, покрытые растительностью (трава, кустарник)	0,05
9	Поймы весьма значительно заросшие со слабым течением и большими глубокими промоинами	0,08
	То же, но без слов поймы весьма	0,08
10	То же, но с сильно неправильным косоструйным течением, заводями и др.	0,1
	То же, но без слова сильно	0,1
11	Поймы лесистые с очень большими мертвыми пространствами, местными углублениями, озерами и пр.	0,133
	То же, но вместо слов с очень большими, ... со значительными мертвыми пространствами...	0,133
12	Глухие поймы, сплошные заросли (лесные, таежного типа)	0,3

$$e = 0.01 \frac{w_{cp.}}{\sqrt{d_{cp.}}} \frac{0,0225}{n}, \quad (6)$$

где $w_{cp.}$ – гидравлическая крупность частиц среднего диаметра $d_{cp.}$, определяется согласно таблице 2, мм/с; $d_{cp.}$ – средний диаметр частиц грунта для поперечных сечений, определяется по данным анализа гранулометрического состава проб донных отложений реки, мм; n – коэффициент шероховатости, определяется по таблице 1.

Таблица 2 – Гидравлическая крупность частиц среднего диаметра [6]

Диаметр частиц, мм	Гидравлическая крупность, мм/с	Диаметр частиц, мм	Гидравлическая крупность, мм/с
0,001	0,0008	0,1	8,0
0,005	0,021	0,2	21,0
0,01	0,08	0,5	61,0
0,05	2,1	1,0	100,0

Полученная по формуле (5) с учетом формулы (6) незаилающая скорость $U_{\text{незаил.}}$ является ориентировочным значением для определения экологического стока.

Экологический сток при средней скорости течения, превышающей значение незаилающей скорости, обеспечивает нормальное функционирование участка водотока.

Комплексная оценка количественных характеристик водного режима, обеспечивающих их экологическое функционирование, выполняется по результатам проведенных расчетов.

По полученным с использованием гидрологических расчетов величин экологического стока и соответствующим этим гидрологическим условиям водохозяйственным балансам в случае отрицательного баланса (дефицита баланса) разрабатываются рекомендации по совершенствованию управления водопользованием с целью уменьшения дефицита баланса.

Таблица 3 – Характеристики водного режима основных рек Республики Беларусь, обеспечивающие их экологическое функционирование

Наименование реки, створа реки, период наблюдений водного режима	Расстояние от устья, км	Экологический сток (расчётные характеристики)		
		Расход воды, м ³ /с	Уровень воды, м БС	Средняя скорость течения, м/с
Река Западная Двина				
ТС «Российская Федерация – Беларусь»	686,5	31,0	138,46	0,38
г. Сураж (1878 г. – н.в.)	681,0	31,8	136,84	0,20
г. Витебск (1876 г. – н.в.)	622,0	41,3	124,60	0,19
г. Полоцк (1936 г. – н.в.)	474,0	58,0	108,34	0,21
г. Верхнедвинск (1954 г. – н.в.)	395,0	62,5	99,92	0,23
ТС «Беларусь – Латвия»	370,8	70,0	97,82	0,26
Река Неман				
ТС «Беларусь - Литва»	465,5	63,0	82,0	0,37
г. Гродно (1877 г. – н.в.)	514,0	56,7	91,60	0,40
Река Виляя				
ТС «Беларусь - Литва»	236,2	21,5	111,25	0,32
н.п. Михалишки (1945 г. – н.в.)	272,0	20,8	118,61	0,21
Река Днепр				
ТС «Российская Федерация – Беларусь»	1637,7	21,8	154,65	0,54
г. Орша	1588,0	23,4	149,55	0,23
г. Речица	1168,0	98,9	114,60	0,47
ТС «Беларусь – Украина»	1075,5	174,0	107,75	0,55
Река Припять				
трансграничный створ «Украина – Беларусь»	557,0	6,1	136,47	0,35
г. Пинск (мост Любанский) (1979 г. – н.в.)	518,0	16,2	133,24	0,22
г. Мозырь (1876 г. – н.в.)	171,0	93,4	111,25	0,20
г. Наровля (1930 г. – н.в.)	133,0	99,4	110,94	0,17
ТС «Беларусь – Украина»	48,0	115,4	101,40	0,46
Река Западный Буг				
ТС (н.п. Томашевка) – вход	378,1	24,5	152,97	0,30
ТС (н.п. Новоселки) – выход (1978 г. – н.в.)	225,0	48,0	120,11	0,16

Примечания: н.с. – настоящее время; ТС – трансграничный створ

По гидравлическим расчетам величины экологического стока увеличиваются до выполнения условий обеспечения необходимой проточности водотока и условий незаиления, если при предложенных по результатам гидрологических расчетов расходах воды эти условия не выполняются.

При регулировании хозяйственной деятельности в бассейнах рек Республики Беларусь рекомендуется соблюдать экологические ограничения (поддержание определённых расходов, уровней и скоростей) для обеспечения в реках экологического стока.

Экологические ограничения по характеристикам экологического стока для основных трансграничных рек Республики Беларусь: Западная Двина, Неман, Виляя, Днепр, Припять, Западный Буг - представлены в таблице 3.

Заключения

Мероприятия по оптимизации водного режима для соблюдения экологических ограничений (обеспечения необходимого санитарного попуска) должны быть предусмотрены в следующих случаях:

- определения оптимальных характеристик водохранилищ, отметок НПУ, ФПУ и УМО;
- обоснования и соблюдения режима наполнения ложа водохранилища при размещении ГЭС и ГАЭС;
- оптимизации управления эксплуатации водохранилищами, включая накопление водных ресурсов в верхнем бьефе в условиях половодий и паводков и санитарные попуски из водохранилищ в засушливые периоды с учетом НПУ и диапазона уровней от ФПУ до УМО;
- размещении польдерных систем – территорий, огражденных дамбами для предохранения от затопления водами реки и для аккумуляции поверхностных вод расчетной вероятности превышения (обеспеченности) в самой пойме реки;
- выдаче разрешений на специальное водопользование и комплексных природоохранных разрешений.

Состав этих и других мероприятий зависит от конкретных проектных решений и определяется при разработке проектной документации. Для возможности проведения необходимых расчетов разработан проект технического кодекса установившейся практики, который находится на стадии согласования в установленном порядке.

Список литературы

1. ТКП 45-3.04-168-2009 Расчетные гидрологические характеристики. Порядок определения.
2. П1-98 к СНиП 2.01.14-83 Определение расчётных гидрологических характеристик
3. Приказ Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды «Рекомендации по расчету минимально допустимых расходов воды, не подлежащих изъятию из рек в условиях Республики Беларусь», № 3 от 8 января 2003 г.
4. ТКП 17.06-03-2008 (02120) Охрана окружающей среды и природопользование. Гидросфера. Порядок оформления водохозяйственных балансов
5. ТКП 17.06-06-2012 Правила определения прогнозных показателей количественных и качественных характеристик водного режима при создании плотин и водохранилищ на реках
6. Шамов, Г.И. Речные наносы / Г.И. Шамов. – Л.: Гидрометеорологическое издательство, 1959. – 378 с.