

Рисунок 17 – Использование свежей воды на различные нужды по бассейну р. Вилии за 2015 год

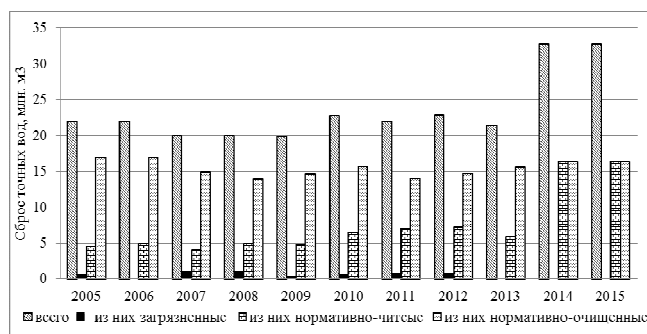


Рисунок 18 – Сброс сточных и других вод по бассейну р. Вилии за 2005-2015 год млн м³

**Заключение.** В настоящее время качество природной воды в р. Вилии, если оценивать его с помощью ИЗВ относится ко II классу и является относительно чистой. Распределение большинства показателей качества носит неравномерный характер, но практически все среднегодовые концентрации ингредиентов не превышают значений ПДК. Исключение составляют ХПК и железо общее. В последние годы тенденции к увеличению содержания наблюдаются по показателям аммоний-ион и фосфат-ион, однако ПДК данные показатели на 2016 г. не превышают. Одной из причин повышения содержания в речных водах этих ингредиентов может служить увеличение объема сбрасываемых сточных вод.

#### СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- Алекин, О.А. Гидрохимические типы рек СССР / О.А. Алекин // Труды ГГИ. – 1950. – Вып. 25(79). – С.5-24.
- Алекин, О.А. Основы гидрохимии / О.А. Алекин. – Л.: Гидрометеоиздат, 1970. – 444 с.

- Государственный водный кадастр: Водные ресурсы, их использование и качество воды (за 2006-2016 гг.). – Минск: ЦНИИКИВР, 2017. – 172 с.
- Кольмакова, Е.Г. Антропогенные изменения стока растворенных веществ рек бассейна Немана / Е.Г. Кольмакова. – Минск: БГУ, 2009 – 123 с.
- Лукашев, К.И. Химические элементы в почвах / К.И. Лукашев, Н.Н. Петухова. – Минск: Наука и техника, 1970. –232 с.
- Матвеев, А.А. Рельеф Беларуси / А.А. Матвеев, Б.Н. Гурский, Р.И. Левицкая. – Минск: Университетское, 1988 – 320 с.
- Методические основы оценки и регламентирования антропогенного влияния на качество поверхностных вод / под ред. Караушева [и др.]. – Л.: Гидрометеоиздат, 1987. – 288 с.
- Национальная система мониторинга окружающей среды в Республике Беларусь: результаты наблюдений, 2016 года. – [Электронный ресурс]. – 2017. – Режим доступа: <http://www.ecoinfo.by/content/647.html>. – Дата доступа: 20.04.2018.
- Постановление Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь от 30 марта 2015 г. №13 Об установлении нормативов качества воды поверхностных водных объектов.
- Почвы Белорусской ССР / Под ред. Т.Н. Куликовской [и др.]. – Минск: Ураджай, 1974. – 312 с.
- Природа Белоруссии: популярная энцикл. / редкол. И.П. Шамякин (гл. ред.) [и др.]. – Минск : БелСЭ, 1989. – 599 с.
- Ресурсы поверхностных вод СССР. – Л.: Гидрометеоиздат, 1966. – Т.5: Белоруссия и Верхнее Поднепровье / Под ред. З.И. Мироненко. – 720 с.
- Ресурсы поверхностных вод СССР. Описание рек и озер и расчеты основных характеристик их режима. – Ленинград: Гидрометеоиздат, 1971. – Т. 5: Белоруссия и Верхнее Поднепровье / Под ред. К.А. Ключевой. – 1107 с.

Материал поступил в редакцию 05.05.2018

#### VOLCHAK A.A., TARATSENKAVA M.A. The hydrochemical regime of the RIVER VILIYA

The article assesses the transformation of the hydrochemical regime of the Viliya River for the period from 1956 to 2016. Dynamics of average annual values for the period from 1994 to 2016 for 14 indicators of surface water quality is considered.

УДК 626.8; 551.48

Валуев В. Е.

### ВОДНО-БАЛАНСОВАЯ ОЦЕНКА СТОКА

**Введение.** Действующими техническими нормативными правовыми актами установлено, что слой воды, подлежащий отводу при создании необходимых условий осушения, определяется для расчетных гидрологических периодов водно-балансовым способом и в соответствии с требованиями к уровню режиму грунтовых вод на за-

вершающую фазу рассматриваемого периода.

Длительный процесс естественного переувлажнения почвогрунтов и заболачивания мелиорируемых участков суши в зависимости от преобладающего типа водного питания земель проходит три стадии:

- 1 – низинное болото, образование которого связано с притоком с

Валуев Владимир Егорович, к.т.н., доцент, профессор кафедры природообустройства Брестского государственного технического университета. Беларусь, БрГТУ, 224017, г. Брест, ул. Московская, 267.

внешнего водосбора поверхностной и грунтовой воды в пониженные (отрицательные) формы рельефа. При этом низинные участки земель могут быть замкнутые и незамкнутые (проточные), а воды часто сильно минерализованные. Внешний водосбор также может быть с замкнутым или разомкнутым водоразделом. Заболоченная низина служит регулятором приточной воды, перераспределяющим ее во времени с весеннего на летне-осенний и вегетационный периоды. При обильных летне-осенних осадках вода перераспределяется на зимне-весенний период. Следовательно, основной причиной переувлажнения и заболачивания участка суши в первую очередь является так называемое намывное питание земель;

2 – переходное болото – тот же участок земель в состоянии продолжающегося тысячелетиями заболачивания, дневная поверхность которого, с течением времени, зарастая и заиливаясь твердым стоком с водосбора, поднялась до уровня окружающей территории. Процесс заболачивания сопровождается сменой режима водного питания земель, когда преобладающее намывное питание сменяет преобладающее атмосферное питание при постоянном прекращении затопления, притока на территорию растворимых солей и формировании соответствующего комплексу условий торфяного покрова;

3 – верховое болото – участок земель на третьей (последней) стадии болотообразовательного процесса при исключительно атмосферном водном питании. Согласно преобладающему типу водного питания, в каждую из трех стадий процесса болотообразования произрастает свое сообщество растений и формируется соответствующий торфяной покров.

Болота первой стадии характеризуются преобладанием тростниково-осоковых и травяно-гипновых торфов; второй стадии – преобладанием осоково-гипново-лесных торфов; третьей стадии – сочетанием сфатново-кустарниково-лесных моховых торфов с озерами-мочажинами.

**Основные результаты исследования.** Основной причиной переувлажнения отдельных участков суши с минеральными почвами, последующего их заболачивания (на трех стадиях болотообразовательного процесса) является постоянное преобладание естественных ресурсов влаги ( $H$ ) над естественными ресурсами тепла ( $Z_m$ ) при определенных геоморфологических условиях, что выражается как

$$H > Z_m, \quad (1)$$

где  $H$  – ресурсы влаги (естественного увлажнения), которые в некоторый промежуток времени есть сумма измеренных или рассчитанных атмосферных осадков ( $X$ ) с поправками на недоучет ( $K$ ), т. е.  $KX$ ;

$Z_m$  – водный эквивалент теплоэнергетических ресурсов на земной поверхности (испаряемость/максимально возможное испарение).

Из-за ограниченности материалов прямых наблюдений за радиационным режимом, турбулентным и почвенным теплообменом, в практических расчетах годовые нормы  $Z_m$  устанавливаются по массовым характеристикам, например, по сумме среднесуточных температур воздуха выше  $10^\circ\text{C}$  ( $\sum t > 10^\circ$ ) [1].

Так, в средних широтах может быть использована зависимость (2) [2]

$$Z_m = 195,5 \frac{(\sum t > 10^\circ)}{1000} + 395,4 \text{ (мм/год)}. \quad (2)$$

Характер внутригодового распределения теплоэнергетических ресурсов ( $< Z_m$ ) и максимально возможного суммарного испарения ( $Z_m$ ) типизирован и приводится в таблице 1 [3].

Кроме  $KX$ , в формировании ресурсов влаги наблюдаются существенные изменения влагосодержания в активном слое почвогрунтов ( $\pm \Delta W$ ), их динамика за расчетный период отражается величинами:  $W_0$ , начало;  $W_{0(2)}$ , окончание расчетного периода, т. е. алгебраическая сумма  $\Delta W = W_{0(1)} - W_{0(2)}$ . Грунтовые воды заболоченного участка площадью ( $f$ ) составляют величину ( $G$ ), а суммарный приток воды, с внешнего водосбора площадью ( $F$ ) – величину ( $Y_c$ ).

Ресурсы влаги (естественного увлажнения) при учете названных выше природных составляющих будут определяться как

$$H = KX + W + G + Y_c \frac{F}{f}. \quad (3)$$

Наряду с соотношением (1) при характеристике естественного увлажнения участка суши часто используется коэффициент соразмерности влаги и тепла в виде

$$\beta_H = \frac{H}{Z_m}. \quad (4)$$

Считается, что при  $\beta_H > 1$  имеет место естественное переувлажнение почвогрунтов; при  $\beta_H < 1$  – наблюдается недоувлажнение почвы; при  $\beta_H = 1$  – наступает полная соразмерность естественных ресурсов влаги и тепла.

Естественная увлажненность земель формируется на протяжении цикла сухих, средних и влажных лет и является средним многолетним результатом процессов тепло- и влагообеспеченности на исследуемой территории. Для среднего многолетнего года, в целом, и посезонно, в аналогичных геоморфологических и иных условиях, общие ресурсы влаги составляют

$$H = KX + Y_c \frac{F}{f}, \quad (5)$$

где  $Y_c$  – суммарный годовой сток, определяемый по климатическим данным для случая глубокого залегания грунтовых вод. В этом случае  $G = 0$  и расчетная балансовая зависимость для суммарного стока имеет вид

$$Y_c = KX - Z_m \left[ 1 - \left( \frac{KX}{Z_m} \right)^n \right] \frac{1}{n}. \quad (6)$$

В зависимости (6) параметр ( $n$ ) свидетельствует о полной соразмерности ресурсов влаги и тепла, когда оптимальное испарение ( $Z_0$ ) достигает уровня испаряемости ( $Z_m$ ), т. е. при

$$Z_m = Z_0; W = W_{HB}; \pm \Delta W = 0,$$

$$\text{иначе, } n = 0,301/lq (Z_0 / Z_m) = 0,301/lq (1). \quad (7)$$

Параметр ( $n$ ) в действительности есть функция коэффициента стока  $\hat{h}_0$  при условии полной соразмерности ресурсов увлажнения и теплообеспеченности для сформированного ландшафта. Например, коэффициент  $\hat{h}_0$  на равнине меньше, чем на возвышенностях.

Оптимальное водопотребление ведущих с.-х. культур ( $Z_0$ ) приравнивается к  $Z_m$  вегетационного периода ( $Z_0 = Z_m; Z_0/Z_m = 1$ ).

Тепло-водно-балансовые исследования и расчеты обязательны при оценках динамики почвенных влагозапасов, установлении типов гидромелиоративных систем и направленности реализуемых мелиоративных мероприятий [4]. Например, вычитая из естественных ресурсов увлажнения земель ( $H$ ), для выполнения условия

$$W_{01} = W_{02} = W_{\min}, \quad (8)$$

величину  $H_0$ , т. е. – оптимально потребное количество влаги, можно получить дефицит (или избыток) увлажнения в количестве

$$m_0 = H - H_0 = KX + G - V_0^r Z_m; \quad (9)$$

$$\text{при } G = 0, m_0 = KX - V_0^r Z_m; \quad (10)$$

$$\text{или при } V_0 = \frac{W}{W_{HB}} = 1, m_{HB} = KX - Z_m. \quad (11)$$

Количественная оценка недостатков (избытков) увлажнения земель осуществляется по климатическим данным за месячные (декадные) интервалы времени (зависимости 9–11). Они позволяют установить с помощью интегральной кривой недостатков (избытков) увлажнения за теплый (вегетационный) период сезонные увлажнительные/оросительные нормы, а также поливные разовые нормы увлажнения. Режим сброса назначается в увязке с избытками почвенных влагозапасов, полученными в процессе тепло-водно-балансовых расчетов. Практическое использование зависимостей (1–11) дает возможность корректно решить инженерные задачи, принимая, соответственно:

Таблица 1 – Типичное внутригодовое распределение максимально возможного суммарного испарения  $Z_m$

Распределение $Z_m$ по типам в %												
I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
I тип / $Z_m$ до 450 мм/год												
2,8	3,2	3,2	3,6	6,9	18,9	28,9	18,5	4,8	3,6	2,8	2,8	100
II тип / $Z_m = 450+600$ мм/год												
2,2	2,5	2,8	4,8	12,4	22,0	23,5	15,2	7,0	3,1	2,3	2,2	100
III тип / $Z_m = 600+750$ мм/год												
2,0	2,7	4,0	7,8	14,4	19,4	19,0	14,2	8,3	4,0	2,2	2,0	100
IV тип / $Z_m = 750+900$ мм/год												
2,2	2,7	5,1	9,8	14,5	16,7	16,4	13,6	8,6	5,1	3,1	2,2	100
V тип / $Z_m = 900+1050$ мм/год												
2,2	3,0	5,4	9,8	13,8	15,5	15,1	13,4	10,1	6,1	3,4	2,2	100
VI тип / $Z_m = 1050+1200$ мм/год												
2,6	4,0	7,9	9,4	12,3	13,8	14,0	12,6	10,0	6,8	4,1	2,5	100
VII тип / $Z_m =$ более 1200 мм/год												
2,7	4,1	6,4	9,7	12,6	14,1	14,4	13,0	10,2	6,6	3,8	2,4	100

Таблица 2 – Модули дренажного стока, установленные расчетным путем (л/с с 1 га)

Характеристика почвенного покрова и рельефа	Расчетный модуль дренажного стока (л/с с 1 га) при средних годовых осадках, мм		
	до 600	600-700	свыше 700
Минеральные почвогрунты:			
Слабоводопроницаемые почвы – глины и тяжелые суглинки (частиц диаметром менее 0,01 мм – свыше 50 %): при уклоне поверхности более 0,01; то же, менее 0,01; в замкнутых котловинах	0,4 0,5 0,6	0,5 0,6 0,7	0,6 0,7 0,8
Средневодопроницаемые почвы – средние и легкие суглинки (частиц диаметром менее 0,01 мм – от 30 до 50 %): при уклоне поверхности более 0,01; то же, менее 0,01 в замкнутых котловинах	0,5 0,6 0,7	0,6 0,7 0,8	0,7 0,8 0,9
Хорошо водопроницаемые почвы – супеси и пески (частиц диаметром менее 0,01 мм – до 30%): при уклоне поверхности более 0,01; то же, менее 0,01; в замкнутых котловинах	0,6 0,7 0,8	0,7 0,8 0,9	0,8 0,9 1,0

$r$  – параметр, зависящий от водно-физических свойств и механического состава почвогрунтов (легкие по мехсоставу – песок, супесь – 1,20 ... 1,30; средние – суглинки легкие и средние – 1,30 ... 1,60; тяжелые – суглинки тяжелые, глины – 1,60 ... 2,00);

$n$  – параметр, учитывающий гидравлические условия стока и равный для плоскостей и холмов – 2,3 ... 2,7; при преимущественно равнинном рельефе – 2,7 ... 3,4.

На осушаемых землях отвод поверхностных и понижение уровня грунтовых вод обеспечивается в соответствии со способом осушения [4], регулирующей сетью осушительной системы в установленных расчетные гидрологические периоды [4, 5]:

- от прохождения пика весеннего паводка до начала полевых работ;
- от прохождения пика весеннего паводка до начала вегетации трав (для сенокосов и пастбищ);
- в период прохождения летне-осенних паводков и уборки урожая.

Конструкция регулирующей осушительно-увлажнительной сети обосновывается в конкретных природных условиях водно-балансовыми и гидравлическими расчетами, опытом эксплуатации существующих ГМС или специальными исследованиями [4].

В прикладных расчетах обосновывается режим формирования дренажного стока, который тождественен «модулю стока». Величина модуля дренажного стока позволяет получить гидравлические характеристики элементов закрытой регулирующей и проводящей осушительной сети – дрен и коллекторов (расходы, диаметры, уклоны и длины дренажных линий).

Расчетным для определения величины модуля дренажного стока является период весеннего половодья 10%-й вероятности повышения расходов (обеспеченности).

В мелиоративной практике, в условиях атмосферно-грунтового (смешанного) типа водного питания земель, используются различные методы определения модулей дренажного стока, основанные на аналитических/эмпирических зависимостях.

Например, используется зависимость модуля дренажного стока от интенсивности удаления избытка воды дренами [6]

$$q_{др} = 116q, \quad (12)$$

где  $q_{др}$  – модуль дренажного стока, л/с с 1 га; где  $q$  – требуемая интенсивность удаления избытка воды, м/сутки; 116 – переводной коэффициент.

Нормативно-обоснованные модули дренажного стока для минеральных почвогрунтов приведены в таблице 2 [6].

Обеспеченность внутригодовых значений дренажного стока (табл. 2) равна 2–3 %, т. е. закрытый дренаж допускает перегрузку в течение 7–10 суток. Регулирующая сеть обеспечивает необходимую норму осушения к началу сева сельскохозяйству.

Осушая территории садов, модуль стока необходимо принимать на 0,2 л/с с 1 га больше значений, установленных по эмпирическим зависимостям (табл. 2); если закрытая регулирующая сеть сочетается с агромелиоративными мероприятиями, увеличение модуля дренажного стока может достигать 10–25%.

**Таблица 3** – Средние многолетние значения балансовых элементов в пункте – Староволя WH = 118 мм WRK = 79 мм при R = 1.70 N = 2.50 без учета грунтовых вод (атмосферное питание)

Эл. баланса	апрель	май	июнь	июль	август	сентябрь	октябрь	теп.пер.	год
Осадки, мм	182.4	60.0	89.0	82.0	82.0	55.0	47.0	461.0	679.0
Zм, мм	66.2	112.5	141.2	147.8	116.9	77.2	37.5	699.3	781.0
УГВ, см	0	0	0	0	0	0	0	0	0
U1, U2	1.530	1.094	0.795	0.767	0.717	0.791	0.808	1.373	
U <sub>ср.</sub>	1.256	0.907	0.779	0.737	0.759	0.801	0.887	0.875	1.092
V <sub>z</sub>	0.879	0.691	0.580	0.540	0.562	0.601	0.676	0.647	0.754
Испар., мм	58.2	77.8	81.9	79.9	65.7	46.4	25.3	435.3	509.4
Влагоз., мм	97.5	95.2	92.3	88.0	73.2	53.0	30.6	529.7	678.9
q <sub>п/кп.ст.</sub> , (атм) мм	39.3	17.5	10.3	8.1	7.5	6.5	5.3	94.4	169.6

**Таблица 4** – Средние многолетние значения балансовых элементов – Староволя WH = 118 мм WRK = 79 мм при R = 1.70 N = 2.50 с учетом грунтовых вод

Эл. баланса	апрель	май	июнь	июль	август	сентябрь	октябрь	теп.пер.	год
Осадки, мм	182.4	60.0	89.0	82.0	82.0	55.0	47.0	461.0	679.0
Zм, мм	66.2	112.5	141.2	147.8	116.9	77.2	37.5	699.3	781.0
УГВ, см	38	43	50	55	60	63	75	55	49
U1, U2	1.912	1.308	0.913	0.836	0.764	0.825	0.836	1.415	
U <sub>ср.</sub>	1.529	1.058	0.867	0.793	0.800	0.832	0.912	0.970	1.182
V <sub>z</sub>	0.941	0.793	0.659	0.594	0.600	0.629	0.695	0.702	0.790
Испар., мм	62.3	89.2	93.0	87.8	70.2	48.6	26.1	477.1	552.3
Влагоз., мм	136.2	123.9	110.7	99.6	80.0	56.5	32.1	638.9	809.5
q <sub>п/кп.ст.</sub> , (атм) мм	74.0	34.7	17.7	11.9	9.8	7.9	6.0	161.8	257.2
(р) G, мм	18.9	17.3	12.6	9.2	5.1	2.8	21.4	10.8	21.4

При гидравлических расчетах линейных и сетевых сооружений ГМС суммарный расчетный расход от поверхностного ( $Q_{пов.}$ ) и дренажного ( $Q_{др.}$ ) стока оценивается как

$$Q_{сум} = Q_{пов.} + Q_{др.} = Q_{пов.} F_{га} + Q_{др.} F_{га} = (q_{нов.} + q_{др.}) F_{га}. \quad (13)$$

Расходом дренажных вод допускается пренебрегать, когда дренажный сток составляет лишь несколько процентов от  $Q_{осуш.}$ , что наблюдается на малых по площади участках суши со значительными водосборными площадями, и вода поступает непосредственно в открытую проводящую сеть осушительной системы.

Гидравлические расчеты проводятся для проверки предварительно принятых параметров каналов, установления условий пропуска заданных расходов воды через сетевые сооружения в расчетные периоды [4].

Кроме того, определяются максимальная и минимальная скорости движения воды, которые сравниваются с допустимыми на размыв и заиление каналов.

**Заключение.** Согласно зависимости (13), на примере пункта Староволя Пружанского района Брестской области для дерново-подзолистых супесчаных, подстилаемых моренными суглинками, почв, в контексте расчетов средних многолетних значений балансовых элементов, осуществлена воднобалансовая оценка составляющих суммарного модуля стока для атмосферного и атмосферно-грунтового типа водного питания земель [4, 5]:

$$Q_{сум} = (q_{пов.ка/ст.} + q_{др.н./с.}), \text{ мм}. \quad (14)$$

Воднобалансовая количественная оценка стока, его видов и структурных элементов дает возможность обосновать мелиоративные мероприятия с учетом почвенных условий, водного питания сельскохозяйственного направления использования мелиорируемых земель. Техническими нормативными правовыми актами установлены и на практике реализуются условия пропуска воды по элементам

мелиоративных систем в расчетные гидрологические периоды (весенние и летне-осенние паводки; предпосевной период; межливневый период). Балансовая оценка составляющих суммарного стока  $Q_{сум} = Q_{пов.} + Q_{др.}$ , в т. ч. поверхностной и грунтовой, дает возможность уменьшить до 2–3 % погрешность косвенно полученных величин (зависимость 13).

#### СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Валуев, В.Е. Косвенные пути расчета радиационного баланса подстилающей поверхности. Записки по краеведению Омской области. – Омск: Западно-Сибирское книжное издательство, 1972 – С. 40–42.
2. Валуев, В.Е. Методические указания по тепловодно-балансовым расчетам в гидромелиоративных целях с применением ЭВМ (для курсового, дипломного проектирования, практических занятий и самостоятельной работы студентов специальности «Гидромелиорация») / В.Е. Валуев, А.А. Волчек, Г.В. Фолитар – Брест, 1987 – С. 1–41.
3. Валуев, В.Е. Теплообеспеченность и водный баланс бассейна Верхнего Енисея: автореферат на соискание ученой степени кандидата технических наук. 05.14.19 Гидравлика и инженерная гидрология. – Омск, 1974 – С. 1–40.
4. Минскстройархитектуры Республики Беларусь. Мелиоративные системы и сооружения. Нормы проектирования: ТКП 45-3.048 – 2005 (02250). – Минск, 2006.
5. Минскстройархитектуры Республики Беларусь. Определение расчетных гидрологических характеристик: пособие: П1-98 к СНиП 2.01.14.83. – Минск, 2000.
6. Лихацевич, А.П. Сельскохозяйственные мелиорации: учебник по специальности «МиВХ» / А.П. Лихацевич, М.Г. Голченко, Г.М. Михайлов – Минск: ИВЦ Минфина, 2010. – 464 с.

Материал поступил в редакцию 15.05.2018

#### VALUYEV V.E. Vodnobalance assessment of a drain

Results of a research of structural elements of process of heat and moisture exchange between the land surface and the atmosphere are presented in article