

Оценка максимально возможного водопотребления с учетом водоохранных водных ресурсов

Мельничук Орест¹, доктор хабилитат географических наук
(melniciuc@rambler.ru)

Беженару Герман², доктор геонимических наук, (gherman.bejenaru@gmail.com)

¹Институт Экологии и Географии, ²Тираспольский Государственный
Университет

Abstract. The materials of the reservoir fund of the Republic of Moldova as of 2010 are systematized, which were summarized by the Republican Water Agency "Apele Moldovei" and the Institute "Acvaproiect" [1], as well as the data of space surveys presented in the work [2]. Methodological principles for assessing the maximum possible water consumption from ponds and reservoirs in landscape regions of Moldova and in the Republic as a whole have been developed. A quantitative assessment of the volume of water consumption and the levels of possible deficits with different guarantees of water consumption and the provision of natural water resources within the territory of the Republic of Moldova is given.

Введение

Искусственные водоемы реализуют преимущественно сезонное или многолетнее регулирование стока. Сезонное регулирование, обусловленное внутригодовой неравномерностью и несовпадением стока во времени с потреблением воды, заключается в его перераспределении из многоводных сезонов года в маловодные. Это самый распространенный вид регулирования. Многолетнее регулирование, являющееся наиболее совершенным, заключается в перераспределении стока из многоводных лет и периодов в маловодные.

За критерий, по которому определяется вид регулирования, обычно принимается соотношение между гарантированной отдачей брутто U_{br} и годовым стоком расчетной обеспеченности $W_{an.P}$: при $U_{br} < W_{an.P}$ выполняется сезонное регулирование, а при $U_{br} > W_{an.P}$ – многолетнее. Цикл наполнение – опорожнение водохранилища сезонного регулирования замыкается в пределах года. При многолетнем регулировании он длится несколько лет.

В практике водохозяйственного проектирования гарантируемая водоотдача оценивается обеспеченностью. Понятие обеспеченности трактуется двояко: как отношение общей длительности бесперебойной водоподачи за период работы водохозяйственной установки, представляющей собой комплекс гидротехнических сооружений, реализующих регулирование и использование стока, к полной продолжительности ее работы; и как отношение количества лет без перебоев к общему числу лет работы. Соответственно они называются обеспеченностями по времени и по числу бесперебойных лет. В сущности, только второе понятие отвечает обеспеченности. Поэтому оно и принято в водохозяйственных расчетах.

Значение обеспеченности водоотдачи должно обосновываться технико-экономическими расчетами, в которых сопоставляются ущербы, вызываемые ограничениями в подаче воды потребителю, с затратами, необходимыми для сокращения ограничений. Ввиду трудности выполнения таких расчетов обеспеченность гарантированной отдачи обычно назначается

в нормативном порядке, исходя из опыта и общих соображений. Так, при проектировании орошения, обеспеченность принимается в пределах 75-95%.

Принцип назначения годовой обеспеченности гарантированной водоотдачи свидетельствует, строго говоря, об отличии ее от обеспеченности годового стока. Но, учитывая, что в основе своей водоотдача определяется равнообеспеченным стоком, приближенно эти обеспеченности можно принять тождественными при сезонном регулировании стока. В расчетах многолетнего регулирования, такое допущение делать нельзя.

Водоотдачу нетто из небольшой системы, насчитывающей до десяти прудов и водохранилищ, нетрудно определить, как суммарное значение «частных» водоотдачей, вычисленных для каждого водоема. Однако по системам, состоящим из многих десятков и сотен водоемов, отдельный расчет водоотдачи весьма трудоемок.

Методические принципы оценки основных параметров максимального водопотребления

Полезное U_{net} и общее U_{br} водопотребление (водоотдача), выраженное в долях от среднегодового годового стока W_{an} именуется **коэффициентом регулирования стока** или **коэффициентом водоотдачи**. Выделяются два вида коэффициентов: водоотдачи нетто α_{net} , характеризующий водопотребление из водохранилищ без учета потерь воды на испарение и фильтрацию и **водоотдачу брутто** α_{br} , учитывающий эти потери т. е.

$$\alpha_{net} = \frac{U_{net}}{W_{an}}, (1)$$

$$\alpha_{br} = \frac{U_{br}}{W_{an}}. (2)$$

Методика расчета современной и максимально возможной водоотдачи включает в себя систему гидрологического и водохозяйственного анализа при проектировании искусственных водоемов [3 4].

Оценка максимально возможной водоотдачи необходима для выявления резерва располагаемой водоотдачи нетто при существующей водной поверхности искусственных водоемов. Максимум водоотдачи достигают при многолетнем регулировании речного стока. Годовая относительная водоотдача нетто равна:

$$\alpha_{net} = \alpha_{br} - (K_E + K_f), (3)$$

где $K_E + K_f$ – коэффициенты потерь на испарение и фильтрацию из водохранилища за год, представляющие доли потерь от годовой нормы стока. Теоретически с ростом полезной емкости водохранилища отдача брутто α_{br} изменяется от нуля до единицы и ее можно выразить уравнением:

$$\alpha_{br} = th(a\beta_{util}) (4)$$

Здесь β_{util} – полная полезная емкость водохранилища многолетнего регулирования. Параметр a является функцией коэффициента вариации годового стока C_V и принятой обеспеченности годовой водоотдачи (P_u), аналитически выражен нами в виде эмпирических зависимостей[4]:

При $P_u = 75\%$

$$a = 1.93 - 1.54C_V (5)$$

При $P_u = 95\%$

$$a = 0.88 - 0.52C_V (6)$$

Приведенные формулы установлены по материалам полевого обследования водоемов [1, 4], на основании которых установлена зависимость

$$\frac{f_{sp}}{W_{an}} = b_M \beta_{util}. (7)$$

Здесь b_M – морфометрический коэффициент, зависящий от средней глубины водоема (H_{med})

$$b_M = \frac{0.72}{H_{med}}. (8)$$

С учетом (3) суммарные коэффициенты потерь на испарение и фильтрацию будут равны

$$k_{pr} = b_M \beta_{util} (\Delta E 10^{-3} + h_f) \quad (9)$$

Совмещая (3), (4) и (9), можно установить коэффициент полезной отдачи α_{nett} по формуле

$$\alpha_{nett} = th(a\beta_{util}) - b_M \beta_{util} (\Delta E 10^{-3} + h_f). \quad (10)$$

ΔE – дополнительное испарение их водной поверхности существующих водоемов, в мм,
 h_f – слой потерь на фильтрацию, в м.

Максимальную водоотдачу нетто можно определить по формуле (10) путем подбора величины β_{util} , зная параметры a , ΔE , h_f и b_M .

Можно предложить и несколько упрощенный вариант оценки максимально полезного водопотребления через путем дифференцирование уравнений (4) и (10). В итоге получим, что суммарные потери воды из водохранилищ определяются уравнением:

$$k'_{pr} = b_M (\Delta E_p 10^{-3} + h_f), \quad (11)$$

а относительная максимальная водоотдача брутто будет равна:

$$\alpha'_{br} = \frac{a}{0.5[\exp\beta_{util} + \exp(-\beta_{util})]^2}. \quad (12)$$

Величину полезной емкости, дающей полезную водоотдачу определяют подбором до достижения равенства приращения суммарных потерь k'_{pr} и отдачи брутто α'_{br} с использованием выражений (4), (11) и (12). В итоге максимальная водоотдача нетто вычисляется с использованием выражения (3).

Результаты и обсуждения

Результаты расчетных вычислений показывают, что при значении $b_M = 0,32$, отвечающей средней глубине прудов 2,0-2,5 м, и при средних гидрогеологических условиях фильтрационных потерях ($h_f = 0,70$ м) величина максимальной полезной водоотдачи из существующих прудов, обеспеченностью 75% α_{nmax} может изменяться от 0,31 до 0,51, а обеспеченностью 95%, $\alpha_{nmax} = 0,07$ до 0,26.

Аналогичные расчеты для искусственных водохранилищ при средних глубинах от 4,0 до 4,5 м и тех же потерях на фильтрацию, дают такие результаты:

при обеспеченности 75%

$$\alpha_{nmax} = 0,48 \rightarrow 0,66,$$

при обеспеченности 95%

$$\alpha_{nmax} = 0,30 \rightarrow 0,46,$$

Переход от относительных значений максимальной полезной водоотдачи к объемным их значениям U_{nmax} выполняем по формуле

$$U_{nmax} = \alpha_{nmax} \overline{W}_{an}. \quad (13)$$

Здесь \overline{W}_{an} – среднееголетняя норма естественного годового стока в расчетном створе водоема, в млн. м³/год. Для практической оценки этой характеристики годового стока, предлагается использовать наши разработки, опубликованные в работе [6].

На основании анализа и обработки материалов по 70 водоемах Республики составлена картографическая схема распределения коэффициентов максимальной водоотдачи из прудов и водохранилищ (табл.1 и рис. 4). Как следует из этих данных, исследуемый коэффициент подчиняется географической зональности и закономерно убывает с северных регионов на южные. Такая особенность вполне закономерна, так как, по своей сущности водоотдача, зависит от зональных особенностей формирования атмосферных осадков, а следовательно, речного стока и испарения.

Таблица 1

Результаты определения параметров максимального относительного водопотребления 75% обеспеченности

№ региона	Регионы	Норма естественного стока, \overline{W}_n , тыс. м ³ в год	Площадь водоемов, км ²	$\frac{f_{sp}}{\overline{W}_{an}} = b_M \beta_{util}$	$\alpha_{n,max}$
1	2	3	4	5	6
A1	Podișul de Silvostepă al Moldovei de Nord	267	43,6	0,163	0,71
A2	Podișul de Silvostepă al Nistrului	189	18,4	0,097	0,67
A3	Câmpia de Stepă a Cuboltei Inferioare	120	53,5	0,446	0,67
B1	Câmpia de Silvostepă a Prutului de Mijloc	98,2	28,8	0,293	0,69
B2	Dealurile de Stepă ale Ciulucurilor	75,0	22,3	0,297	0,67
C1	Podișul de Silvostepă al Râbniței	81,9	2,86	0,035	0,65
D1	Podișul Silvic al Codrilor de Vest	79,8	12,3	0,154	0,63
D2	Podișul Silvic al Codrilor de Nord	38,9	12,2	0,314	0,65
D3	Podișul Codrilor de Est	54,5	24,6	0,452	0,62
D4	Podișul Codrilor de Sud	53,3	20,2	0,379	0,58
E1	Depresiunea de Silvostepă a Săratei	32,0	8,63	0,270	0,57
E2	Colinele de Silvostepă ale Tigheciului	36,2	6,85	0,189	0,52
E3	Câmpia de Silvostepă a Bacului	52,7	16,4	0,311	0,55
E4	Câmpia de Silvostepă a Cogalnicului	23,1	4,95	0,215	0,53
F1	Câmpia de Stepă a Haniderului Superior	21,5	12	0,557	0,48
F2	Câmpia de Stepă a Cahulului	26,7	3,57	0,134	0,48
F3	Câmpia de Stepă a Ialpugului	47,8	30,7	0,642	0,50
G1	Câmpia de Stepă a Nisturului Inferior	68,2	22,1	0,324	0,56
Средневзешенные по Республике		1355	344	0,254	0,59

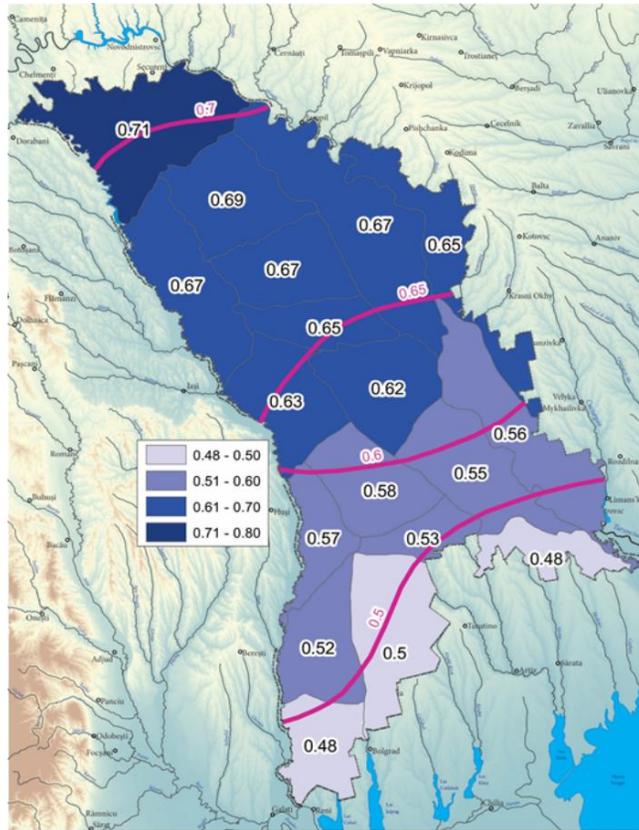


Рис. 1. Распределение относительного максимального водопотребления по ландшафтным регионам Молдовы

Абсолютная величина максимальной водоотдачи нетто равна

$$U_{n.max} = \alpha_{n.max} \overline{W}_{an} \quad (17)$$

Таблица 2

Результаты определения гарантированных объемов максимального водопотребления по ландшафтным регионам Р. Молдова

№ региона	Регионы	Естественный годовой сток млн.	Максимально возможное водопотребление					
			относительное значение α_{nmax}		абсолютное, млн. м ³			
					без учета водоохранного стока		с учетом водоохранного стока	
5 %	95%	75 %	95 %	75 %	95 %			
1	2	3	4	5	6	7	8	9
A1	Podișul de Silvostepă al Moldovei de Nord	267	0,71	0,54	190	144	133	101
A2	Podișul de Silvostepă al Nistrului	189	0,67	0,51	127	96	89	67
A3	Câmpia de Stepă a Cuboltei Inferioare	120	0,67	0,51	80	61	56	43
B1	Câmpia de Silvostepă a Prutului de Mijloc	98,2	0,69	0,52	68	51	47	36
B2	Dealurile de Stepă ale Ciulucurilor	75	0,67	0,51	50	38	35	27
C1	Podișul de Silvostepă al Râbniței	81,9	0,65	0,49	53	40	37	28

№ региона	Регионы	Естественный годовой сток млн.	Максимально возможное водопотребление					
			относительное значение α_{nmax}		абсолютное, млн. м ³			
					без учета водоохранного стока		с учетом водоохранного стока	
			5 %	95%	75 %	95 %	75 %	95 %
D1	Podișul Silvic al Codrilor de Vest	79,8	0,63	0,48	50	38	35	27
D2	Podișul Silvic al Codrilor de Nord	38,9	0,65	0,49	25	19	18	13
D3	Podișul Codrilor de Est	54,5	0,62	0,47	34	26	24	18
D4	Podișul Codrilor de Sud	53,3	0,58	0,44	31	23	22	16
E1	Depresiunea de Silvestepă a Săratei	32	0,57	0,43	18	14	13	10
E2	Colinele de Silvestepă ale Tigheciului	36,2	0,52	0,40	19	14	13	10
E3	Câmpia de Silvestepă a Bacului	52,7	0,55	0,42	29	22	20	15
E4	Câmpia de Silvestepă a Cogalnicului	23,1	0,53	0,40	12	9	9	7
F1	Câmpia de Stepă a Hadjiderului Superior	21,5	0,48	0,36	10	8	7	5
F2	Câmpia de Stepă a Cahulului	26,7	0,48	0,36	13	10	9	7
F3	Câmpia de Stepă a Ialpușului	47,8	0,5	0,38	24	18	17	13
G1	Câmpia de Stepă a Nisturului Inferior	68,2	0,56	0,43	38	29	27	20
	Всего по Молдове	1366	0,59	0,45	806	613	564	429

На основании установленных данных оценены объёмы максимального водопотребления по ландшафтным регионам учетом и без учета водоохранного стока. Эти вычисления произведены по полной норме годового стока \bar{W}_{an} . (табл. 2). Однако надо иметь в виду, что по природоохранным соображениям часть стока должна оставаться в реке и обеспечивать нормальное экологическое ее состояние. Эта часть, как показали наши исследования, составляет 30% от нормы естественного годового стока.

Выводы

- 1 Выполненный анализ и расчеты показывают, что максимальное водопотребление изменяется в широком диапазоне: при обеспеченности 75% – от 7,0 млн. м³/год (Câmpia de Stepă a Hagiderului Superior) до 133 млн. м³/год (Podișul de Silvestepă al Moldovei de Nord), а при 95% обеспеченности (в тех же регионах) – от 5,0 до 101 млн. м³/год. Причем достаточно четко прослеживается сокращение водоотдачи с севера на юг.
- 2 В целом, в границах Республики, величина гарантированного максимального водопотребления с учетом водоохранного стока, оценивается следующим образом: **при 75 % обеспеченности (гарантии) составляет – 567 млн. м³/год, при 95 % обеспеченности (гарантии) составляет – 429 млн. м³/год.**
- 3 Современная суммарная величина полезного водопотребления нетто из прудов и водохранилищ, созданных на малых реках республики составляет [6]: **при**

обеспеченности 75% составляет – 353 млн. м³, при обеспеченности 95% – 189 млн. м³.

- 4 По сравнению с современным уровнем, водопотребления их максимально гарантированные значения увеличатся соответственно в 1,61 и 2,26 раза. Принимая во внимание, что годовой местный сток Молдовы 75 % обеспеченности составляет $W_{75} = 748$ млн.м³/год в Республике имеется резерв равный разности $748-567 = 181$ млн. м³, а в очень маловодные годы, при стоке 95% обеспеченности, равном $W_{95} = 398$ млн. м³, возникает незначительный дефицит, составляющей $398-429 = 31,0$ млн. м³.
- 5 При реконструкции водоемов сохранить их существующие площади водной поверхности и значительно увеличить их емкость за счет удаления донных отложений и роста средних глубин. В таком случае полезная водоотдача, названная нами максимально возможным водопотреблением, может быть достигнута на уровне установленных показателей, несмотря на принятый учет водоохранного стока.
- 6 Окончательный результат по оценке максимального водопотребления при современном водохранилищном фонде, можно получить при учете факторов влияния глобального потепления на изменение компонентов водохозяйственного баланса исследуемого региона.

Библиография

- 1 Водохранилища Республики Молдова. Краткий справочник. Институт по проектированию водохозяйственных систем «ACVA проест». Кишинев, 2004.- 65 с. (Рукопись.).
- 2 Castraveț T. Modelarea eroziunii prin apă în Câmpia Prutului de Mijloc. Teză de doctor în științe geonomice. Chișinău, 2017. – 231 p. (manuscris)
- 3 Плешков Я.Ф. Регулирование речного стока. (Водохозяйственные расчеты). Гидрометиздат. Л. 1972.- 507 с.
- 4 Мельничук О.Н., Лалыкин Н.В., Филиппенков А.И. (1992). *Искусственные водоемы Молдовы. (состояние, использование, гидрологические расчеты)* Кишинев. «Штиинца». - 209 с.
- 5 Лалыкин Н. В., Ливатанская П. Л. Математические модели для расчета экономически наиболее целесообразного предела регулирования речного стока прудами и водохранилищами. // Республ. Науч. Прак. Конфе. «Применение экономико-математических методов и вычислительной техники в планировании и управлении народным хозяйством МССР» тез. Докл. Кишинев, 1988. - С. 66-67.
- 6 Мельничук О., Беженару Г. Методические основы определения водных ресурсов рек Республики Молдова в условиях антропогенных преобразований и глобального потепления. În: *Lucrări științifice*, Vol. 3. Cadastru și drept. Chișinău, 2013. p. 91-94