DOI:10.26104/NNTIK.2023.72.53.003

Адылова Э.С., Ташполотов Ы., Өмүрбекова Г.К.

КЫРГЫЗ РЕСПУБЛИКАСЫНЫН ТОКТОГУЛ СУУ САКТАГЫЧЫНДАГЫ СУУНУН ҮСТҮНКҮ БЕТИНДЕГИ БУУЛАНУУНУН САНЫН АНЫКТОО

Адылова Э.С., Ташполотов Ы., Омурбекова Г.К.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЛИЧЕСТВА ИСПАРЕНИЯ ВОДЫ НА ПОВЕРХНОСТИ ТОКТОГУЛЬСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА КЫРГЫЗСКОЙ РЕСПУБЛИКИ

E. Adylova, Y. Tashpolotov, G. Omurbekova

DETERMINATION OF THE AMOUNT OF EVAPORATION FROM THE WATER SURFACE OF THE TOKTOGUL RESERVOIR OF THE KYRGYZ REPUBLIC

УДК: 627.83 + 621.221 (575.2) (04)

Бул илимий макалада Кыргыз Республикасындагы Токтогул суу сактагычынын суунун үстүңкү бетиндеги сууларынын бууланышынын санына изилдөө жүргүзүлгөн. Ири суу сактагычтардагы суунун балансынын негизги элементтери: суу сактагычка агып кирген сууну, жаан-чачындарды, агындыларды жана буулануну изилдөөдө эң чоң ийгиликтерге жетишилди. Агындыларга жана жаан-чачындарга байкоо жүргүзүүнүн түздөн-түз маалыматтарын, ошондой эле буулануну жана башка бир катар элементтерди аныктоодо ар кандай эсептөө методикаларын пайдалануунун негизинде СССРдин айрым ири суу сактагычтарындагы суунун балансы көп жылдык мезгил үчүн, ошондой эле конкреттүү жылдар үчүн эсептелген. Изилдөөнүн жыйынтыгы көрсөткөндөй, буулануунун саны мезгилге жараша өзгөрүп турат. Жай айларында абанын температурасы эң жогорку деңгээлге жеткенде, бууланyу жогорулайт. Кыш мезгилинде буулануу төмөндөйт, анткени абанын температурасы төмөндөйт Мына ошондуктан жай мезгилинде Кыргыз Республикасындагы Токтогул суу сактагычында суунун буулануусунун чоңдугу кыйла чоң мааниге жетүүсү жана Токтогул ГЭСинин суу чарба балансына олуттуу таасирин тийгизиши мүмкүн деп божомолдоого болот.

Негизги сөздөр: *буулануу, температура, суу ресурстары, эксплуатациялоо, суу балансы.*

В данной научной статье проведено исследование количества испарений поверхностных вод Токтогульского водохранилища в Кыргызской Республике. Наибольшие успехи достигнуты в изучении основных элементов водного баланса крупных водохранилищ: притока, осадков, стока и испарения для конкретных водохранилищ. На основании использования непосредственных данных наблюдений за стоком и осадками, а также различных расчетных методик при определении испарения и ряда других элементов, рассчитаны водные балансы отдельных крупных водохранилищ СССР как за многолетний период, так и за конкретные годы. Результаты исследования показывают, что количество испарений варьируется в зависимости от сезона. Испарение увеличивается, когда температура воздуха достигает максимума в летние месяцы. Зимой испарение уменьшается по мере снижения температуры воздуха. Испарение с поверхности Токтогульской водохранилищы в летнее время может достигать значительных величин и существенно влиять на водохозяйственный баланс Токтогульской ГЭС и является одним из основных элементов расходной части их водного баланса.

Ключевые слова: *испарение, температура, водные ресурсы, эксплуатация, водный баланс.*

In this scientific article, a study was conducted on the amount of evaporation of surface waters of the Toktogul reservoir in the Kyrgyz Republic. The greatest success has been achieved in studying the main elements of the water balance of large reservoirs: inflow, precipitation, runoff and evaporation for specific reservoirs. Based on the use of direct data from observations of runoff and precipitation, as well as various calculation methods for determining evaporation and a number of other elements, the water balances of individual large reservoirs of the USSR were calculated both over a multiyear period and for specific years. The results of the study show that the amount of evaporation varies depending on the season. Evaporation increases when the air temperature peaks in the summer months. In winter, evaporation decreases as the air temperature decreases. Evaporation from the surface of the Toktogul reservoir in the summer can reach significant values and significantly affect the water management balance of the Toktogul HPP and is one of the main elements of the expenditure part of their water balance.

Key words: *evaporation, temperature, water resources, exploitation, water balance.*

Киришүү. Суу сактагычтардагы суунун буулануусу боюнча А.П. Браславский, З.А. Викулина, Н.Э. Горелкин, Б.Д. Зайков, А.Р. Константинов, Б.Е. Милькис, А.М. Никитин, В.Н. Рейзвих, Ф.Э. Рубинова жана башкалар көптөгөн илимий изилдөөлөрдү жүргүзүшкөн. Жогорудагы окумуштуулар суу сактагычтардагы суунун бетинин аянтынан буулануу процессин баалоо үчүн теориялык жана эмпирикалык формулаларды сунушташкан жана алардын баалоосу боюнча мындай жоготуулар бир кыйла олуттуу мааниге жетет жана жылдык агымдын 50%дан ашыгын түзүшү мүмкүн.

Мына ошондуктан жай мезгилинде Кыргыз Республикасындагы Токтогул суу сактагычында суунун буулануусунун чоңдугу кыйла чоң мааниге жетүүсү жана Токтогул ГЭСинин суу чарба балансына олуттуу таасирин тийгизиши мүмкүн деп божомолдоого болот.

Жалпы алганда суу сактагычтардын курчап турган чөйрө менен өз ара аракеттенүү көйгөйлөрү жана алардын суу алмашуу маселелери А.Б. Авакянын [1], Б.Б. Богословскийдин [2], Ю.М. Матарзиндин [3, 4], С.Л. Вендров жана К.Л. Дьяконовдун [5], жана В. М. Широковдун [6] эмгектеринде кеңири каралган.

Негизги натыйжалар жана аларды талкуулоо. Ири суу сактагычтардагы суунун балансынын негизги элементтери: суу сактагычка агып кирген сууну, жаан-чачындарды, агындыларды жана бууланууну изилдөөдө эң чоң ийгиликтерге жетишилди. Агындыларга жана жаан-чачындарга байкоо жүргүзүүнүн түздөн-түз маалыматтарын, ошондой эле бууланууну жана башка бир катар элементтерди аныктоодо ар кандай эсептөө методикаларын пайдалануунун негизинде СССРдин айрым ири суу сактагычтарындагы суунун баланстары көп жылдык мезгил үчүн, ошондой эле конкреттүү жылдар үчүн эсептелген.

СССРдин суу сактагычтарынын көп жылдык суу баланстары жана алардын айрым түзүүчүлөрүн эсептөө методдору жөнүндө маалыматтардын толук жыйнагы З.А. Викулинанын монографиясында берилген [7].

СССРдин учурунда 1986-жылдары 3900дөн ашык көлөмү 1 млн м^{3}дан ашкан суу сактагычтар болгон жана алар жөнүндө маалымат 1-таблицада келтирилди.

1-таблица

Республикалар боюнча көлөмү 1 млн м^{3}дан ашкан суу сактагычтардын бөлүштүрүлүшү

Республикалар	Суу сактагычтардын саны	Суммардык көлөмү, млн м^3		Суунун бетинин аянты, км^2
		Толук	Пайдалуу	
РСФСР	2 227	801 393	334 143	74 548
Украина	968	54 543	26 113	9522
Белорусия	125	2 945	1 145	796
Өзбекистан	36	9 331	8 244	488
Казахстан	197	92 100	48742	9858-
Грузия	28	1 528	1095	122
Азербайжан	40	18 452	10547	842
Литва	109	1 737	404	309
Молдова	72	1 658	859	240
Латвия	32	2 067	311	362
Кыргызстан	23	21 454	15502	387
Таджикистан	8	14 468	7402	707
Армения	29	1 077	948	97
Түркмөнстан	15	1 622	1553	481
Эстония	10	80	48	23

Көлмөлөрдөгү суунун бетинен жана анын ичинде суу сактагычтардан бууланиуунун маанисин баалоо боюнча кыйла толукталган изилдөөлөр Б.Д. Зайков [8], А.П. Браславский жана З.А. Викулин [9], В.С. Голубев [10], А.Р. Константинов [11] жана В.И. Кузнецов [12] тарабынан жүргүзүлгөн.

Буулануу – суу бассейндеринин чыгымдалуучу бөлүгүнүн маанилүү түзүүчүлөрүнүн бири [13] жана жайгашкан районуна жараша бир канча чоң маанилерге жетип ГЭСтин суу балансына олуттуу таасир этиши мүмкүн. Ошондуктан бул иштин максаты жай мезгилинде Токтогул суу сактагычынын күзгүлүү бетинен (зеркальная поверхность) бууланиуунун көлөмүн аныктоо жана аларды талдоо болуп саналат.

Суу сактагычтарды эксплуатациялоодо суунун бетинен бууланиуунун негизинде суунун азайышын баалоо абдан маанилүү. Кыргыз Республикасынын кургак климаттык шарттарында бул жоготуулар кыйла олуттуу чоңдукка жетет жана жылдык агымдын 40-50%дан ашыгын түзүшү мүмкүн [14].

Суу сактагычтардагы туруктуу атмосфера үчүн, башкача айтканда, шамалдын ылдамдыгы нөлгө барабар болгон учурдагы суунун буулануусунун натыйжасында азайышын баалоо үчүн Дальтондун закону колдонулат:

$$\frac{dE}{dt} = [c(e_0 - e_z)]/H \, , \qquad (1)$$

мында $\frac{dE}{dt}$ – бууланиуунун ылдамдыгынын t убакыт үчүн мааниси; e_0 – бууланиуучу беттин температурасындагыдай температурадагы суунун буусунун максималдуу серпилгичтүүлүгү; e_z – z бийиктиктигиндеги абанын абсолюттук нымдуулугу; H – атмосфералык басымдын чоңдугу; с – нормалдуу басымдагы $e_0 - e_z$=1 болгон учурдагы бууланиуунун ылдамдыгына туура келген коэффициент.

Дальтондун закону кыймылдуу атмосферада (V≠0, мында V – шамалдын ылдамдыгы) төмөнкүчө жазылышы мүмкүн:

$$E = f(x)(e_0 - e_z) \, . \qquad (2)$$

Орто Азиянын кургак аймактары үчүн Дальтондун закону төмөнкүдөй көрүнүшкө ээ болот [13, 15]:

$$E = \mathrm{A}n(e_0 - e_{200})(1 + BV_{200}) \, , \qquad (3)$$

мында Е – буулануу катмары, мм: n – бир айдагы күндөрдүн саны; e_0 – 2м бийиктиктеги абадагы суу буусунун максималдуу серпилгичтүүлүгү; V_{200} – 2м бийиктиктеги шамалдын ылдамдыгы; А жана В – параметрлер.

Метеорологиялык тармактын маалыматтарын колдонуу менен төмөндөгүдөй эмпирикалык формула алынган:

$$E = 0{,}233n(e_0 - e_{200})\,(1 + 0{,}39V_{200}) \qquad (4)$$

Буулануунун эсептелген жана өлчөнгөн маанилерин салыштыруу канааттандырарлык натыйжаларды берди [4].

[15] деги көрсөтмөлөргө ылайык эсептөө төмөнкү формула боюнча жүргүзүлөт:

$$E = 0{,}14(e_0 - e_{200})\,(1 + 0{,}72\,V_{200})\,, \qquad (5)$$

мында e_0 – буулануучу беттин температурасы боюнча эсептелген каныккан суу буусунун серпилгичтүүлүгү; e_{200} – буулануучу беттин үстүнөн 2м бийиктиктеги абадагы суу буусунун серпилгичтүүлүгү, мбар; V_{200}– көлмөнүн үстүнөн 2м бийиктиктеги шамалдын ылдамдыгы, м/с; n – эсептөө жүргүзүлгөн интервалдагы сутканын саны.

Суу буусунун серпилгичтүүлүгү e_0 суунун үстүңкү бетинин температурасын эске алуу Мангустун формуласы боюнча төмөдөгүдөй жазылат:

$$e = 6{,}1 \cdot 10^{\frac{7{,}45t^{\text{сез}}}{235+t^{\text{сез}}}}\,. \qquad (6)$$

Белгилүү бир аймактан буулануунун сезондук чоңдуктарын болжолдоодо жана (5) теңдемени пайдалануу үчүн зарыл байкоолор жок болгон учурда болжолдуу формула колдонулат [15]:

$$E = E_{\text{шарттуу}} K_v K_{Lcp}\,, \qquad (7)$$

мында $E_{\text{шарттуу}}$ – көлмө-суудагы суунун шарттуу буулануусу, мм; K_v, $K_{L\,\text{ор}}$ – реалдуу көлмөнүн үстүндөгү шамалдын сезондук орточо ылдамдыгын эске алуучу жана көлмө-суунун чыныгы узундугун эске алуучу коэффициенттер. K_v *жана* $K_{L\text{ор}}$ коэффициенттеринин чоңдугу 6 жана 7-таблицалар боюнча аныкталат [15], $E_{\text{шарттуу}}$ төмөнкү формула боюнча эсептелет:

$$E_{\text{шарттуу}} = \text{а}_1 e_0 - \text{а}_2 e_{200}\,, \qquad (8)$$

мында а_1 жана а_2 – суунун орточо сезондук температурасы менен абанын болжолдонуучу температурасынын ортосундагы айырмадан көз каранды болгон коэффициенттер жана алар [15] көрсөтмөнүн 8-таблицасы боюнча аныкталат.

Андыктан болжолдонгон буулануу төмөндөгү формула боюнча аныкталат:

$$E = (\text{а}_1 e_0 - \text{а}_2 e_{200}) K_v,\ K_{Lcp}\,. \ (9)$$

Орточо сезондук чоңдуктар шамалдын ылдамдыгы V_{200} жана суунун үстүнкү температуралары $t_{\text{сез}}$, $t_{\text{пр}}$ акыркы 15 жылдан бери эсептелип келүүдө.

Метеостанциядагы абанын болжолдонгон температурасыдагы $t_{\text{бол}}$ абанын абсолюттук нымдуулугу e_{200} жана абанын орточо салыштырмалуу нымдуулугу А, мбар менен эсептелет. K_v, K_{Lcp}, $\text{а}_1, \text{а}_2$ коэффициенттеринин маанилери [15] көрсөтмөдөгү эсептик таблицалар боюнча аныкталат.

Кыргыз Республикасынын Токтогул суу сактагычындагы суунун бетинин буулануусун 2015-2022-жылдар аралыгындагы июль айларында эсептеп чыкканбыз. Бул үчүн абанын температурасын, шамалдын ылдамдыгын, бул мезгилдеги суу буусунун серпилгичтүүлүгүн жана булуттуулугун аныктагабыз.

Андан кийин (4) формуланы колдонуп, июль айындагы суунун бетинин буулануу чоңдугун алабыз (2-табл.).

2-таблица

Июль айындагы Токтогул суу сактагычыдагы суунун бетиндеги буулануу чоңдугу

Жылдар	Абанын айлык орточо температурасы, T,°C	Шамалдын орточо айлык ылдамдыгы, V, м/с	Суу буусунун басымы, e, мбар	Булуттуу, N, балл	Буулануу E, мм
2015-2022	27,8	3,1	13,4	4,2	155,2

Жаз мезгилинде суунун бетинен буулануу күчөйт. Ошондуктан буулануну эсептөө 2015-2022-жылдардын май, июнь, июль, август, сентябрь айлары үчүн дагы жүргүзүлгөн. Токтогул суу сактагычында ал төмөнкүдөй жыйынтыктарды берет (3-табл.).

3-таблица

Суу бетинен буулануу көлөмүн эсептөө жана болжолдоо үчүн зарыл болгон параметрлер

Параметрлер	Айлар				
	май	июнь	июль	август	сентябрь
Суунун бетинин температурасы, ^{0}C	15,4	20,2	22,0	20,1	16,8
Суунун буусунун максималдуу серпилгичтүүлүгү, мбар	14,5	20,5	24,0	20,0	13,4
2м бийиктиктеги суу буусунун серпилгичтүүлүгү	9,1	12,5	13,4	12,8	9,4
Абанын температурасы, ^{0}C	18,1	24,2	27,8	21,3	18,1
Абанын абсолюттук нымдуулугу, с/м^3	6,8	9,7	11,2	10,1	7,8
Абанын абсолюттук нымдуулугу, мбар	9,1	13,2	15,9	13,8	9,8
2м бийиктиктеги шамалдын ылдамдыгы, м / с	2,2	2,9	3,1	2,6	2,5
Флюгердин бийиктигиндеги шамалдын, м/с	2,7	2,8	3,2	2,7	2,8
10 м деги шамалдын Ки боюнча коэффициенти	0,96	0,92	0,90	0,91	0,90
2 м деги шамалдын Ки боюнча коэффициенти	0,93	0,89	0,87	0,88	0,88

Токтогул суу сактагычынан бууланган буулануунун орточо чоңдугу Е (мм) 4-таблицада келтирилген.

4-таблица

Токтогул суу сактагычынан бууланган буулануунун орточо чоңдугу

Жылдар	май	июнь	июль	август	сентябрь	мезгил
2015-2022	110,2	140,3	155,2	142,8	108,4	656,9

Корутунду.

Ошентип, Кыргыз Республикасынын Нарын каскадындагы Токтогул суу сактагычынын суусунун көп жылдык орточо буулануусунун калыңдыгы болжол менен $131{,}48\text{ мм} \approx 1{,}314\text{ м}$, катмарды түзөт, ал эми суунун зеркалдык бетинин аянты 2168 м^2 жана суу сактагычтын периметри 165,0 км, анда буулануунун көлөмү $V = S \cdot h = 2{,}85\text{км}^3$, б.а. Токтогул суу сактагычындагы суунун максималдуу көлөмүнүн (19,6 млрд м3) 14,5% суусу бууланат.

Ошондуктан, азыркы учурда климаттын өзгөрүү шартында суу балансынын буулануучу бөлүгү чоң практикалык жана илимий кызыкчылыкка ээ.

Төмөнкү теңдемени колдонуу менен, сууну үнөмдөөнүн түздөн-түз пайдасын аныктайбыз:

$$E = E_0 \cdot S \cdot \text{К}\,, \qquad (18)$$

мында Е - алдын алынган буулануунун саны (9-формула), E_0 – буулануудан жоготууга учуроонун суммасы (2,85 км2), S – суу капталган бетинин аянты (2168 м2), К – алдын алуу коэффициенти.

Кыйыр түрдөгү сууну үнөмдөөнүн эффектиси төмөндөгү формула боюнча эсептелет:

$$\text{V}_\text{e} = \frac{0{,}75 \cdot 3600 \cdot \text{E}_{\text{pv},} \cdot (1-\varepsilon)}{\rho g \Delta P}, \qquad (19)$$

мында V_e – суу ресурстарынын көлөмү (м^3); $E_{pv,}$ – өндүрүлгөн электр энергиясынын көлөмү; ε – суунун потенциалдык (кинетикалык) энергиясынын электр энергиясына айлануу коэффициенти (13%), ρ – суунун тыгыздыгы (1000кг/м^3), g – эркин түшүүнүн ылдамдануусу (9,8м/с), ΔP– суу басымы.

Демек, өндүрүлгөн энергиянын көлөмүнө жараша жогоруда берилген параметрлерди эске алуу менен белгилүү сандагы сууну үнөмдөөгө мүмкүн.

Адабияттар:

1. Авакян А.Б. Водохранилища и окружающая среда. - М.: Изд. об-ва «Знание», 1982. – 48 с.
2. Богословский Б.Б. Водный баланс и термика озер и водхранилищ. Учебное пособие. – Л.: Изд. ЛПИ им. М.И. Калинина, 1979. – 70 с.
3. Матарзин Ю.М., Богословский Б.Б., Мацкевич И.К. Специфика водохранилищ и их морфометрия. – Пермь: Изд – во Пермского ун та, 1977. – 67 с.
4. Матарзин Ю.М., Богословский Б.Б., Мацкевич И.К. Формирование водохранилищ и их влияние на природу и хозяйство. – Пермь: Изд. Пермского ун-та, 1981. – 97 с.
5. Вендров С.Л., Дьяконов К.Л. Водохранилища и окружающая среда . –М.: Наука, 1976. – 136 с.
6. Широков В.М. Конструктивная география рек: основы преобразования и природопользования. – Минск: Изд. Белорусского ун-та, 1985. – 189 с.
7. Викулина З.А. Водный баланс озер и водохранилищ Советского Союза. – Л.: Гидрометеоиздат, 1979. – 175 с.
8. Зайков Б. Д. Испарение с водной поверхности прудов и малых водохранилищ на территории СССР. // Труды ГГИ, 1949, вып. 21 (75), 54 с.
9. Браславский А.П., Кикулина З.А. Нормы испарения и поверхности водохранилищ. – Л., 1954. – 212 с.
10. Голубев В.С. Методы измерения и расчета испарения с водной поверхности. – В. кн.: Методы изучения и расчета водного баланса. Л., 1981. – С. 249-265.
11. Константинов А.Р. Испарение в природе. – Л.: Гидрометеоиздат, 1968. – 532 с.
12. Кузнецов В.И. Методика расчета испарения с бассейнов площадью 20 м^2 по наблюдениям в испарителях ГГИ – 3000. // Труды ГГИ, 1970, вып. 181. - С. 3-32.
13. Вулинский В. С. Водные ресурсы и водный баланс крупных водохранилищ СССР. – Л.: Гидрометеоиздат, 1991. – 223 с.
14. Ильинич В.В., Бугутау Р. Исследование региональных характеристик испарения с водной поверхности водохранилищ. // Природообустройство, 2009, №4. - С. 65-67.
15. Указания по расчету испарения с поверхности водоемов. - Л.: Гидрометеоиздат, 1969. – 85 с.
16. Стандарт организации СТОГГИ 52.08.37-2015. Влагозапасы и промерзание почв, испарения с почвы и водной поверхности при региональном изменении климата. Рекомендации по расчету и прогнозу. – СПб., 2015. - 42 с.