

А.Н. Ердесбай\* , К.Т. Нарбаева 

Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Қазақстан, Алматы қ.

\*e-mail: yerdesbay.almat@gmail.com

## ҮЛГІЛЕНГЕН АҒЫНДЫ ҚАТАРЛАРЫ АРҚЫЛЫ ЕРТИС ӨЗЕНІНДЕГІ БҰҚТЫРМА СУҚОЙМАСЫНЫҢ ЖҰМЫС РЕЖИМІН БОЛЖАМДЫҚ БАҒАЛАУ

Мақалада Ертіс өзенінде орналасқан Бұқтырма су қоймасының жұмыс режимін зерттеу қарастырылады. Гидрологиялық қатарларды үлгілеу негізінде беттік су көздерінен келешектегі су пайдаланудың ықтималды сипаттамалары қабылданды. Жылдық ағындының бастапқы және жасанды үлгіленген гидрологиялық қатарларына салыстыру жүргізілді. Олардың арасындағы айырмашылық бастапқы бақылау қатарының орташа квадраттық шамасы бойынша анықталды. Сонымен қатар, жұмыста есептеулердің шартты түрде бос су қоймадан басталатын нұсқасы қарастырылып, есептік кезеңнің басы ретінде нақты көлемі  $V_6 = 18,31$  км<sup>3</sup> (Бұқтырма су қоймасының тежеулі көлемінің белгісі) тең келетін 2016 жылдың бірінші қаңтары алынып, есептік кезеңнің ұзақтығы – 20 жыл қарастырылды. Осы арада су қоймасының қайтарымы  $V_{сқ}$  су қойманы толтыру дәрежесі мен судың келуіне байланысты 250-ден 700 м<sup>3</sup>/с аралығында қойылды. Кепілді су қайтарымынан жоғары немесе оған жеткіліксіз ағынды шамалары, су қоймасының толып кету қаупі мен су көлемін ТД (тұрақты тежеулі деңгей) белгісінен төмен мәнде қолдану кезінде белгіленді. Қайтымсыз су тұтыну көлемі, яғни ҚХР аумағында су жинау шамасы жылына 2-6 км<sup>3</sup> шектерінде белгіленді. Есептеулер әр түрлі 25, 50 және 75% қамтамасыздықтағы кезеңдер үшін орындалды. Мұндай кезеңдер үлгіленген қатардан таңдап алынды. Есептеулер мен алынған нәтижелер су ресурстарын тиімді пайдалану мен Бұқтырма су қоймасын дұрыс реттеу үшін жасалды.

**Түйін сөздер:** су теңгерімі, математикалық үлгілеу, өзен ағындысы, су қоймасы, ағынды қатарлары, су қайтарымы.

A.N. Yerdesbay\*, K.T. Narbayeva

Al-Farabi Kazakh National University, Kazakhstan, Almaty

\*e-mail: yerdesbay.almat@gmail.com

### **Predictive assessment of the mode of operation of the Bukhtarma water reservoir located on the Ertis river with the help of simulated flow streams**

This article deals with the study of the operating mode of the Bukhtarma reservoir located on the Ertis river. Based on hydrological series modeling, possible characteristics of future water use from surface water sources were adopted. Comparisons were carried out between the original and creatively modeled hydrological series of annual flows. The differences between them were established by the magnitude of the average standard errors of the original series of observations. Further, the options of calculations with an empty reserve are considered. The beginning of the calculation period was January 1, 2016, when the actual volume was  $V_n = 18.31$  km<sup>3</sup> (the dead volume of the Bukhtarma water reservoir). The duration of the calculation period is 20 years. In this case, the water supply was set in the range of 250-700 m<sup>3</sup>/s, depending on the degree of filling the water supply and inflow of run off. The rates were determined above or below the guaranteed return of water, the threat of filling the reservoir and the volume of water below the DVL mark. The volume of non-returnable water consumption, that is, the amount of water taken on the territory of China, is set in the range of 2-6 km<sup>3</sup> per year. The calculations were made for the periods of different provision 25, 50 and 75%. Such periods were selected from the modeled range. The calculations and results are necessary for the rational use of water resources and correct regulation of the Bukhtarma reservoir.

**Key words:** water balance, mathematic modeling, river flow, water storage, modified series, water supply.

А.Н. Ердесбай\*, К.Т. Нарбаева

Казахский национальный университет имени аль-Фараби, Казахстан, г. Алматы

\*e-mail: yerdesbay.almat@gmail.com

### Прогнозная оценка режима работы Бухтарминского водохранилища, расположенного на реке Ертіс, с помощью смоделированных стоковых рядов

В данной статье рассмотрены исследования режима работы Бухтарминского водохранилища, расположенного на реке Ертіс. На основе моделирования гидрологических рядов были приняты возможные характеристики будущего водопользования из поверхностных источников воды. Были проведены сравнения между исходными и искусственно смоделированными гидрологическими рядами годовых стоков. Различия между ними устанавливались по величине средних квадратических ошибок исходного ряда наблюдений. Также рассматривались варианты расчета с условно пустым водохранилищем. Начало расчетного периода – 1 января 2016 г., когда фактический объем составил  $V_n = 18,31 \text{ км}^3$  (мертвый объем Бухтарминского водохранилища). Продолжительность расчетного периода – 20 лет. При этом отдача водохранилища была установлена в пределах  $250\text{--}700 \text{ м}^3/\text{с}$  в зависимости от степени заполнения водохранилища и притока воды. Были определены расходы выше и ниже гарантированного возврата воды, угроза заполнения водохранилища и объем воды ниже отметки УМО (уровень мертвого объема). Объем безвозвратного водопотребления, то есть количество воды, забираемой на территории Китая, устанавливается в пределах  $2\text{--}6 \text{ км}^3$  в год. Расчеты производились для периодов разных обеспеченностей – 25, 50 и 75%. Такие периоды были выбраны из смоделированного ряда. Расчеты и полученные результаты необходимы для рационального использования водных ресурсов и правильного регулирования Бухтарминского водохранилища.

**Ключевые слова:** водный баланс, математическое моделирование, речной сток, водохранилище, смоделированные ряды, водоотдача.

#### Кіріспе

Бұқтырма су қоймасы – Қазақстан Республикасындағы ірі су қоймасының бірі болып, Ертіс трансшекаралық өзенінде жатқандығынан, қазіргі таңда негізгі мәселелердің бірі болып саналады. Аталған су қойманың қалыпты тежеулі деңгейіндегі (ҚТД) сыйымдылығы –  $49,62 \text{ км}^3$ , су айдынының ауданы –  $5490 \text{ км}^2$ , соның ішінде Зайсан көлінің ауданы –  $3750 \text{ км}^2$ , ҚТД мен ТТД белгілері сәйкесінше  $394,8 \text{ м БС}$  және  $387,8 \text{ м БС}$ . Су қойманы тиімді пайдаланып, дұрыс реттеу үшін негізі осы ҚТД белгісінен асырып немесе ТТД белгісінен кем толтырмау қажет. Бұқтырма су қоймасының негізгі кешенді су пайдаланушылар мен су тұтынушылардан болғандығынан және оның көлемінің көбеюіне, ауданының ұлғаюына Ертіс өзенінің реттеуіне тікелей байланысты. Сондықтан Ертіс өзенінің гидрологиялық сипаттамаларын және ұзақ гидрологиялық қатарлардың қолдануын қарастыруын талап етеді.

Ертіс өзенінің орта ағысында табиғи су тасуға ұқсас шарттарды сақтау, Мемлекеттік табиғи қорықша мәртебесіндегі жайылманың флорасы мен фаунасының экологиялық ортасын, биологиялық өнімділігін сақтау мақсатында жыл сайын сәуір айының үшінші декадасынан мамыр айының екінші декадасына дейін арнайы су жіберілімдері жүзеге асырылады. Осы кезеңдегі  $3000\text{--}3500 \text{ м}^3/\text{с}$  су өтімі БСЭС-

ШСЭС аралығындағы учаскедегі қапталдық салалардан және Бұқтырма су қоймасынан су шығарындысынан құралады (Бурлибаев М.Ж., 2014).

Ертіс өзенінің жоғарғы бөлігі – Қара Ертіс өзені ҚХР аумағы арқылы ағып өтеді. Қазіргі уақытта Қытай жылына  $1,0\text{--}1,5 \text{ км}^3$  су жинап алады. Келешекте жылына  $4,0\text{--}5,0 \text{ км}^3$  көлемде алу жоспарланған. Бұл жағдайда өзеннің орта ағысында орналасқан Бұқтырма және Шұлбі су қоймалары сусыз қалуы мүмкін. Сондай-ақ ағындының жыл ішінде біркелкі үлестірілмеуі, басым түрде энергетикалық қажеттіліктердің мүддесі басты назарға қойылғандықтан, қазіргі уақыттағы су жіберілімдерінің шамасы жайылманың тұрақты қызметін қамтамасыз ете алмауда (Мальковский И.М., 2003). Сондықтан бұл мәселенің дұрыс шешімін табу үшін, үлгіленген ағынды қатарлары арқылы Ертіс өзеніндегі Бұқтырма су қоймасының жұмыс режимін болжамдық бағалау қарастырылады.

#### Зерттеу әдістері.

Соңғы уақытта тәжірибеде жасанды ұзақ гидрологиялық қатарлар кеңінен қолданылуда.

Мұндай тәсіл кездейсоқ шамалар үлестірімінің қандай да бір теориялық заңдарын тәжірибе жүзінде таңдау мүмкін болмағанда ағындыны реттеу және су пайдалану көрсеткіштерінің ықтималды сипаттамаларын әділ

бағалауға мүмкіндік береді. Зерттеу жүргізу үшін Бұқтырма су қоймасының периметріне келіп құятын Қара Ертіс – Боран а., Бұқтырма – Лесная пристань а., Тұрғысын – Кутиха а., Нарын – Үлкен Нарын а., Қалжыр – Черняевка а., Күршім – Вознесенское а. өзендерінің бақыланған жылдық ағындылары таңдалды. Аталған өзендердің бақылау қатарлары сәйкесінше аз, орташа сулы және мол сулы кезеңдердің, сондай-ақ ағындының жылдық шамаларының байланысынан тұрады. Осы арада келешектегі су пайдалану және ағындыны реттеуді әділ бағалау үшін түрлі сулылық кезеңдерінің едәуір ірі байланысы қажет (Бурлибаев М.Ж., 2014; Давлетғалиев С.К., 2005).

Жасанды гидрологиялық қатарлар Монте-Карло әдісі арқылы бастапқы гидрологиялық қатарлардың келесі сипаттамалары негізінде үлгіленді:  $Q$  орташа мәні, вариация коэффициенті  $C_v$  және асимметрия  $C_s$ , автокорреляция коэффициенті  $r$ . Бастапқы қатар үшін табылған параметрлер бойынша үш параметрлі гамма-үлестірім кестесін пайдалана отырып жылдық ағындының модульдік коэффициенттерінің аналитикалық қамтамасыздық қисықтары анықталды. Келесіде ЭЕМП математикалық жабдықтамасындағы арнайы бағдарламаның көмегімен бірқалыпты үлестірім заңына бағынатын  $\rho$  қамтамасыздық мәндері үлгіленді. Қабылданған  $\rho$  мәндері мен есептелген  $Q$ ,  $C_v$  және  $C_s$  мәндері бойынша, автокорреляция мәндерін ескере отырып, модульдік коэффициенттердің таңдалған аналитикалық қамтамасыздық қисықтарының көмегімен  $Q_i$  мәндері үлгіленді. (Сванидзе Г.Г., 1977; Давлетғалиев С.К., 2005; Troin M, 2010; Zhenghao Zhang, 2018).

Болжам үлгілеріне қарағанда, Монте-Карло әдісі белгіленген кіріс мәндерінің жиынтығының емес, мәндердің мөлшерленген ауқымының негізінде нәтижелердің жиынтығын алдын ала ұсынады. Басқаша айтқанда, Монте-Карло әдісімен үлгілеу ықтималдық үлестірімін қолдана отырып, мәселен белгісіздік элементінен тұратын кез келген біркелкі немесе бірқалыпты үлестірімді айнымалы үшін мүмкін боларлық нәтижелер үлгісін құрады. Одан кейін минималды және максималды мәндер аралығында басқа да кездейсоқ сандар жиынтығынан тұратын нәтижелердің қайта есептеуі орындалады. Монте-Карло типтік экспериментінде ықтимал болатын нәтижелердің үлкен санын құру үшін берілген операция қайталана береді.

Одан бөлек Монте-Карло әдісінің жоғары дәлділігі оны ұзақмерзімдік болжам үшін

қолдануға мүмкіндік береді. Енгізу деректер санының артуымен қатар айтарлықтай қашықтықтағы мерзімдерге нәтижелерді үлкен дәлдікпен болжауға мүмкіндік беретін болжамдардың да саны артады. Әр оқиғаның ықтималдығын көрсете отырып мүмкін болатын нәтижелер аралығы Монте-Карло әдісінің орындалу нәтижесі болып табылады (Klemes V., 1974; Troin M., 2010; Husin Alatas, 2015).

Сандық статистикалық үлгілеу алгоритмдердің артықшылығына:

- күрделі (соның ішінде жазық емес) бастапқы деректерге ие сандық интеграциялаудың көпөлшемді міндеттерін шешу мүмкіндігі;

- рандомдау қағидасының негізінде кездейсоқ параметрлі міндеттерді шешу мүмкіндігі, қолданбалы кездейсоқ процестер мен өрістердің бағытын үлгілеу мүмкіндігі;

- бастапқы деректердің арнайы қасиеттерін ескеру мүмкіндігі (маңыздылығына қарай таңдау қағидасының көмегі арқылы);

- жоғары болмаса да ( $\{\xi_i ; i = 1, \dots, n\}$  таңдамалық мәндер саны бойынша  $1/\sqrt{n}$  тәртіптегі) әмбебап ұқсастық жылдамдығы;

- әдістің оңтайландырудың қисынды теориясы;

Бұл әдіс арқылы үлгілеудің кемшіліктеріне:

- нәтижелі көрсеткіштерді есептеуді үлгілеу үшін статистикалық мәліметтерді жинақтаудың күрделілігі;

- есептеу шешімдерінің дәлдігі орындалуы мүмкін итерациялар санына тәуелді (бұл кемшілік компьютер қызметінің жылдамдығының артуымен байқалмауы мүмкін).

Осылайша, Монте-Карло әдісі барлық есептеулердің нақтылығын, барлық процеске қатысушылардың жобаны талдау нәтижелерін қабылдауы және бағалауының қарапайымдылығын қамтамасыз етеді, алайда өңдеуді талап ететін ақпараттың үлкен көлемімен байланысты есептеулер үшін маңызды есептегіш ресурстарды талап етеді.

Үлгілеу теңдеуі келесідей өрнектелді:

$$Q_i = [Q_{орт} + r(Q_{i-1} - Q_{орт})] K_p (\xi_i, C_v^{\text{шарт}}). \quad (1)$$

мұнда:  $r$  – қатардың іргелес мүшелері арасындағы корреляция коэффициенті;  $Q_{i-1}$  – алдыңғы жылдың су өтімі;  $K_p$  – қамтамасыздық қисығының ординатасы, кездейсоқ бірқалыпты үлестірілген сан  $\xi_i$  мен шартты вариация коэффициентіне тәуелді жағдайда ордината кестесі арқылы анықталады.

$$C_v^{\text{шарт}} = \sigma \sqrt{1 - k^2} / Q_{орт} + r(Q_{i-1} - Q_{орт}) \quad (2)$$

мұнда,  $\sigma$  – қатардың шартсыз стандарты; қалған мәндер жоғарыда берілді. Ауытқу кестесін пайдаланған жағдайда, теңдеу келесі тәртіпте келтіріледі:

$$Q_i = Q_{орт} + r(Q_i - 1 - Q_{орт}) + \Phi_i(\xi_i, C_v^{орт}) * \sigma \sqrt{1 - r^2} \quad (3)$$

мұнда  $C_s = 2C_v$  үшін:

$$C_v^{шарт} = 2\sigma * \sqrt{1 - r^2} / Q_{орт} + r(Q_i - 1 - Q_{орт}) \quad (4)$$

қабылданады.

**1-кесте** – Бастапқы және үлгіленген мәліметтері арасындағы жылдық ағындысының статистикалық параметрлерінің мәндерін салыстыру

$Q_{баст}=289$	$Q_{үлгі}=294$	Қателік Q 3,17	$(\Delta Q / Q_{үлгі}) * 100 = 1,63$
$C_v_{баст}=0,28$	$C_v_{үлгі}=0,29$	Қателік $C_v$ 14,12%	$(\Delta C_v / C_v_{үлгі}) * 100 = 0,29$
$r_{баст}=0,16$	$r_{үлгі}=0,22$	Қателік 16,42%	$(r / r_{үлгі}) * 100 = 4,67$
$C_s_{баст}=0,5$	$C_s_{үлгі}=0,5$	Қателік $C_s$ 30,08%	$(\Delta C_s / C_s_{үлгі}) * 100 = 27,02$

Бұқтырма су қоймасының су теңгерімінің теңдеуі

Бұқтырма су қоймасының су теңгерімінің теңдеуі қарапайым түрде келесідей өрнектелді:

$$V_a = V_b + V_{бет} - (E - x) - V_c \quad (5)$$

Мұнда  $V_a$  – су қойманың ақырғы көлемі;

$V_b$  – су қойманың бастапқы көлемі;

$V_{бет}$  – су қоймаға келіп құятын беттік сулардың көлемі;

$E$  – су қойма беткейінен орташа көпжылдық булану;

$x$  – су қойманың беткейіне келіп түсетін орташа көпжылдық жауын-шашын;

$V_c$  – Бұқтырма су қоймасы арқылы жүргізілетін ағынды, яғни су қойманың қайтарымы. Су қоймаға келіп құятын су Қара Ертіс – Боран а., Бұқтырма – Лесная пристань а.,

Тұрғысын – Кутиха а., Нарын – Үлкен Нарын а., Қалжыр – Черняевка а., Күршім – Вознесенское а. өзендерінің өлшенген ағындысының қосындысымен анықталады. Булану және жауын-шашын шамасы жұмыстың деректері бойынша жуықтап анықталды.

Бұқтырма су қоймасы жұмысының режиміне ҚХР-да су жинақтаудың әсерін бағалау ғылыми-тәжірибелік маңыздылыққа ие. Бұл міндетті

жылдық ағындының жасанды үлгіленген гидрологиялық қатарларына сәйкестігін бағалау үшін олардың статистикалық параметрлерінің айырым дәрежесі талданды. Олардың арасындағы айырмашылық олардың бастапқы бақылау қатарларының салыстырмалы орташа квадраттық қателіктерімен арнайы формулалар көмегімен салыстырылды.

Келтірілген мәліметтер бойынша, негізгі статистикалық параметрлердің айырмашылықтары олардың орташа квадраттық қателіктерінен едәуір кіші екені байқалады. Сәйкесінше, бақылған және үлгіленген қатарларды кездейсоқ шамалардың бас жиынтығынан деп санауға болады.

шешу үшін жоғарыда келтірілген теңдеу су жинақтаудың ықтималды мәнін ескеру арқылы келесі түрде өрнектеледі:

$$V_a = V_b + V_{бет} - (E - x) - V_c - V_{су ж} \quad (6)$$

мұндағы  $V_{су ж}$  – су қоймадан алынатын су көлемі.

(6) теңдеу арқылы су қойма көлемін есептеу уақыттың жылдық аралығы арқылы жүргізіледі. Теңдеудегі айнымалы құрауыштар: келіп құятын су шамасы, су қоймадан жүргізілетін ағынды, яғни кепілді су қайтарымы және қайтымсыз су тұтыну көлемі. Теңдеу бойынша су қойма көлемінің тербелісін зерттеуде ТТД белгісінен төменде су қойманың қолдану мөлшері мен ҚТД деңгейінен жоғарыда толуына жол бермейтін шектеулерді ескеру міндетті.

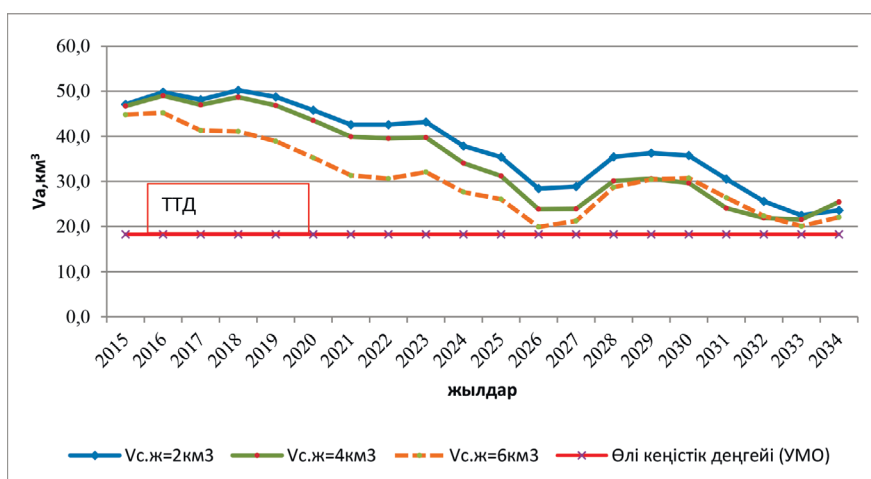
Есептік кезеңнің басы үшін су қоймадағы нақты көлемі  $V_H = 43,2 \text{ км}^3$  тең, булану шамасы  $(E - x) = 1,09 \text{ км}^3$  тең 2015 жылдың 1 қаңтары қабылданды. Есептік кезеңнің ұзақтығы – 20 жыл. Су қоймасы периметріне келетін судың көлемі ретінде Бұқтырма су қоймасына келіп құятын сала өзендердің жиынтық ағындысының үлгіленген 500 жылдық қатары пайдаланылды.

Ұзақтығы 20 жылдық мол сулы 25% қамтамасыздықтағы кезеңнің орташа өтімі  $681 \text{ м}^3/\text{с}$ , 50% қамтамасыздықтағы кезеңнің орташа өтімі –  $635 \text{ м}^3/\text{с}$ , аз сулы 75% қамтамасыздықтағы кезеңдікі –  $593 \text{ м}^3/\text{с}$ .

Ары қарай жұмыста есептеулердің шартты түрде бос су қоймадан басталатын нұсқасы қарастырылды. Есептік кезеңнің басы ретінде нақты көлемі  $V_n=18,31 \text{ км}^3$  (Бұқтырма су қоймасының өлі көлемінің белгісі) тең келетін 2016 жылдың бірінші қаңтары алынды.

Есептік кезең аралығында су қоймасының қайтарымы  $V_c$  су қойманы толтыру дәрежесі мен судың келуіне байланысты 250-ден 700  $\text{м}^3/\text{с}$  аралығында қойылды. Кепілді су қайтарымынан жоғары немесе оған жеткіліксіз ағынды шамалары, су қоймасының толып кету қаупі мен су көлемін ТТД белгісінен төмен

мәнде қолдану кезінде белгіленді. Қайтымсыз су тұтыну көлемі, яғни ҚХР аумағында су жинау шамасы жылына 1-5  $\text{км}^3$  шектерінде белгіленді. Есептеулер әр түрлі 25, 50 және 75% қамтамасыздықтағы кезеңдер үшін орындалды. Мұндай кезеңдер үлгіленген қатардан таңдап алынды. Есептеулер үшін үлгіленген қатарлар ретінде Қалжыр, Күршім және Нарын өзендер ағындысының сомасы қарастырылды. Жүргізілген есептеулер 1-суретте – Бұқтырма су қоймасының болжамдық динамикасы (2015-2034), 2-суретте – (2015-2034) жылдар аралығындағы орташа сулы кезеңдердегі (50 %) Бұқтырма су қоймасының толу көлемінің тербелісінің ықтималды жүрісі және 2-кестеде үлгіленген қатарлар дерегі бойынша Бұқтырма су қоймасының көлемін су-теңгерімдік есептеу нәтижелері көрсетілген.



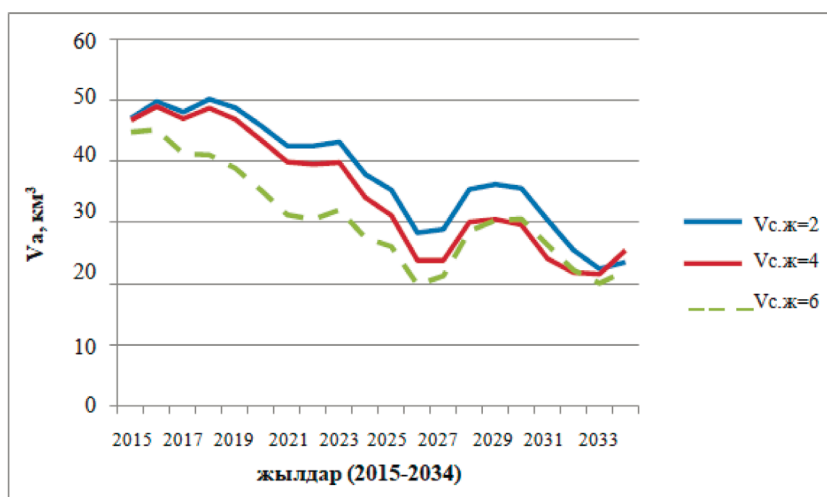
1-сурет – Бұқтырма су қоймасында су қорының болжамдық динамикасы

2-кесте – Үлгіленген қатарлар дерегі бойынша Бұқтырма су қоймасының көлемін су-теңгерімдік есептеу,  $\text{км}^3$

Жыл							
	$V_{бет}$	$V_3 = 2$		$V_3 = 4$		$V_3 = 6$	
		$V_k$	$V_a$	$V_k$	$V_a$	$V_k$	$V_a$
2015	23,8	15,81	47,1	14,19	46,7	14,19	44,8
2016	22,6	15,81	49,8	14,19	49,0	14,19	45,2
2017	18,2	15,81	48,1	14,19	47,0	14,19	41,3
2018	22,0	15,81	50,2	14,19	48,7	14,19	41,1
2019	18,4	15,81	48,8	14,19	46,9	12,62	38,9
2020	17,0	15,81	45,8	14,19	43,5	12,62	35,3
2021	16,7	15,81	42,6	14,19	39,9	12,62	31,3

2-кестенің жалғасы

2022	19,9	15,81	42,6	14,19	39,6	12,62	30,6
2023	20,5	15,81	43,2	14,19	39,8	11,04	32,1
2024	14,6	15,81	37,9	14,19	34,1	11,04	27,6
2025	17,5	15,81	35,4	14,19	31,2	11,04	26,1
2026	12,9	15,81	28,4	14,19	23,9	11,04	19,9
2027	20,4	15,81	28,9	14,19	23,9	11,04	21,3
2028	26,5	15,81	35,5	14,19	30,1	11,04	28,7
2029	20,8	15,81	36,3	14,19	30,6	11,04	30,4
2030	19,4	15,81	35,7	14,19	29,7	11,04	30,7
2031	14,7	15,81	30,5	14,19	24,1	11,04	26,4
2032	15,0	15,81	25,6	11,04	21,9	11,04	22,3
2033	16,8	15,81	22,5	11,04	21,6	11,04	20,1
2034	21,0	15,81	23,6	11,04	25,5	11,04	22,1



2-сурет – Орташа сулы кезеңдерде (50 %) Бұқтырма су қоймасының толу көлемінің тербелісінің ықтималды жүрісі

Ұсынылған әдіс бойынша Ертіс өзенінің суы мол 25% қамтамасыздықтағы кезеңнің орташа өтімі 669 м<sup>3</sup>/с, ал 50% қамтамасыздықтағы кезеңнің орташа өтімі – 594 м<sup>3</sup>/с, суы аз 75% қамтамасыздықтағы кезеңдікі – 524 м<sup>3</sup>/с, 95 % қамтамасыздықта – 432 м<sup>3</sup>/с болатыны көрсетілген.

Осы тәртіпте қайтымсыз су тұтыну және кепілді су қайтарымының түрлі мәндеріне арналған теңдеу (6) бойынша, Бұқтырма су қоймасының толысу дәрежесі анықталып келесі нәтижелер ұсынылды.

Бұқтырма су қоймасының  $V_3=2$  км<sup>3</sup> су жинақтауда және судың келіп құюында жұмыс режимін зерттеу есептік кезеңнің соңына дейін 450 м<sup>3</sup>/с су қайтарымымен бастапқы  $V_H=47-24$  км<sup>3</sup> толу көлемімен тұрақты жұмыс істей алады. 2032-2034 жж. су қойма ТТД белгісіне жақын мәнде қолданылып, 300-250 м<sup>3</sup>/с төмендетілген су қайтарымымен және минималды энергия өндірісімен жұмыс істеуі мүмкін.

Есептеулердің нәтижесі бойынша,  $V_3 \leq 4$  су жинақтауда Бұқтырма су қоймасы есептік кезеңнің соңына дейін кепілді  $V_c=450$  м<sup>3</sup>/с (14,19 және 15,77 км<sup>3</sup>) су қайтарымымен жұмыс істей алады.

Дегенмен аз сулы жылдар сериясы байқалғанда есептік кезеңде толығымен кепілді су қайтарымын жүзеге асыра алмайды. Мәселен, 2032 жылы  $V_c$  мәні  $350 \text{ м}^3/\text{с}$  ( $11,04 \text{ км}^3$ ) құрайды.  $V_3=6 \text{ км}^3$  қайтымсыз су тұтыну кезінде су қойма 2015-2018 жылдар

аралығында кепілді су қайтарымының мәнінде жұмыс істей алады, келесі 2019-2022 жылдарда төмендетілген  $400 \text{ м}^3/\text{с}$  су қайтарымымен және 2023 жылдан бастап есептік жылдың соңына дейін  $350 \text{ м}^3/\text{с}$  су қайтарымында жұмыс істейді.

**3-кесте** – Бұқтырма су қоймасы алабында қайтымсыз су тұтынудың түрлі нұсқасында әр түрлі қамтамасыздықтағы су көлемі

P, %	Есептік кезең, жылдар																			
	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034
	$V_{c.ж} = 2 \text{ км}^3$																			
5	45	46,5	49	49	49,5	49	49	51	49	50,5	50	49	50	49	51	51	51	51	51	51
25	38	38,5	41	42,5	41	42	42,5	43,5	43	45	45	45	44	43,5	46,5	46	46	46	46	45,5
50	34,5	35	35	36,5	27	36,5	37	36,5	38	39	40	40	39	39	39	41	41,5	40	41	41
75	29,8	30	30	28,5	30,5	30,5	30	29	30,5	30,5	32,5	33	31,5	32	30	32	32,5	33,5	33	34
95	26	28	24,5	21	27,5	24,5	24,5	23	21	22	20,5	22	26	21	19	21,5	20	23,8	22	29
	$V_{c.ж} = 4 \text{ км}^3$																			
5	43	44,5	46,5	48	48	47	46	51	49	51	48	48	46	49	51	49	48	48	45	48
25	37	35,5	37,5	39	37,5	37,5	37	39	40	40	38	38	36	37	37	36	35	35	34	33,5
50	32,5	32	32	33	31	32	31	30	31	30,5	32	31	31	30	28	29	230	29	28,5	28
75	29	29	27,5	26	26,5	24,5	25,5	23,5	22,5	22,5	27	25,5	26,5	24,5	23,5	25,5	26	24,5	24	22
95	25,5	27	23	20	24	21	20	19,8	19,5	19	19,2	21	22	20	19	20	20	20,5	19	19

### Нәтижелері және талқылама

Ертіс өзенінің үлгіленген ағынды қатарларын М.Ж. Бурлибаев, И.М. Мальковский зерттеулерінен келесі тұжырымдамалар жасалынды, біріншіден: Бұқтырма су қоймасын тиімді реттеу үшін ҚТД белгісінен асырып немесе ТТД белгісінен кем толтырмау қажет. Бұқтырма су қоймасын тиімді пайдаланып, дұрыс реттеу үшін негізі осы белгілері сәйкесінше 394,8 м БС және 387,8 м БС болу қажет. Екіншіден: Ертіс өзенінің орта ағысында табиғи су тасуға ұқсас шарттарды сақтау мақсатында жыл сайын сәуір айының үшінші декадасынан мамыр айының екінші декадасына дейін арнайы су жіберілімдері жүзеге асырылады. Егер бұл талаптар орындалмаса, онда өзеннің орта ағысында орналасқан Бұқтырма және Шүлбі су қоймалары сусыз қалуы мүмкін. Сондай-ақ ағындының жыл ішінде біркелкі үлестірілмеуі, басым түрде энергетикалық қажеттіліктердің мүддесі басты назарға қойылғандықтан, қазіргі уақыттағы су жіберілімдерінің шамасы жайылманың тұрақты қызметін қамтамасыз ете алмауда.

Г.Г. Сванидзе және А.Ш. Резниковский ұсынған Монте-Карло тәсілінде кездейсоқ шамалар үлестірімінің қандай да бір теориялық заңдарын тәжірибе жүзінде таңдау мүмкін болмағанда ағындыны реттеу және су пайдалану көрсеткіштерінің ықтималды сипаттамаларын әділ бағалауға мүмкіндік беретіндігін айтады.

Берілген жағдайда гидрологиялық қатарларды үлгілеу негізінде келешектегі су пайдаланудың ықтималды сипаттамаларын нақтылау – зерттеудің мақсаты болып табылады. Қойылған мақсаттарға сай келесі міндеттер шешілді:

жасанды қатарларды үлгілеу әдістемесін Бұқтырма су қоймасына келіп құятын өзен салаларының табиғи шарттары үшін бастапқы бақылау қатарларына сәйкестігі тексерілді;

Бұқтырма су қоймасының есептік жыл кезеңіндегі жұмыс режиміне болжамдық баға берілді.

Қорытынды. Есептеудің барлық нәтижелері 2015-2034 жылдар аралығында Бұқтырма су электр станциясының ықтималды жұмыс режиміне және су қойманы бастапқы толтыру мәндеріне қатысты жасалынды. Алынған мәлі-

меттер оларды пайдалануды жоспарлауда, сондай-ақ Ертіс өзені алабының су ресурстарын алап аумағындағы түрлі экономика салалары, шаруашылық қызметтері үшін ұзақмерзімді тиімді пайдалануды дамыту жөніндегі жобалық шараларда, Ертіс өзені ағындысын көпжылдық ретті басқаруда маңызды рөл атқарады. Су қойманың бастапқы көлемінің басқа да мәндерінде бөлек нәтижеге қол жеткізуге болады. Барлық су теңгерімдік есептеулер өзен салаларының белгілі мәндеріне жүргізілді. Яғни аталған есептеулер алдыңғы жылдың сулылығын ескере отырып, су қойманың қайтарым көлемін белгілеуге мүмкіндік берді.

Бұқтырма су қоймасының су қайтарымы энергетика және басқа да экономика салаларының талаптарының ықтимал өзгерістерін ескерусіз белгіленді. Дегенмен, барлық су-теңгерімдік есептеулер есептік кезең үшін су қоймасынан қайтарым шамаларын толық сақтай отырып орындалды. Таңдалған бір жылдық есептік уақыт аралығы – БСЭС жұмыс режимінің сәйкес мәндерін береді. Толыққанды нәтижелер алу үшін барлық есептеулерді айлық уақыт аралығымен, су қоймасының су беткейінен булану мен беткейге келіп түсетін жауын-шашын шамасының өзгергіштігін ескеріп жүргізген жөн.

### Әдебиеттер

- Бурлибаев М.Ж., Куц С.И., Фашевский Б.В., Опп К., Царегородцева А.Г., Шенбергер И.В., Бурлибаева Д.М., Айтурсев А.М. Затопление поймы Ертиса – главный фактор устойчивого развития речной экосистемы. – Алматы, 2014. – С. 66-94.
- Сванидзе Г.Г. Математическое моделирование гидрологических рядов. – Л.: Гидрометеоздат, 1977. – 296 с.
- Давлетгалиев С.К., Жанпейсова С.Р. Оценка влияния забора воды на территории КНР на режим работы Буктырминского водохранилища // Гидрометеорология и экология. – №1. – 2005. – С. 67-75.
- Давлетгалиев С.К., Смагулов Ж.Ж. Статистические моделирование рядов притока воды в Бухтарминское водохранилище // Вестник КазНУ. Сер. географическая. – 2001. – №1(12). – С. 53-58.
- Давлетгалиев С.К. Математические методы обработки гидрологических данных: учебное пособие. – Алматы: «Қазақ университеті», 1998. – 166 с.
- Резниковский А.Ш. Водноэнергетические расчеты методом Монте-Карло. – Москва, 1969. – С. 31-46.
- Рождественский А.В., Чеботарев А.И. Статистические методы в гидрологии. – Л.: Гидрометеоздат, 1974. – 422 с.
- Рождественский А.В., Ежов А.В., Сахарюк А.В. Оценка точности гидрологических расчетов. – Л.: Гидрометеоздат, 1990. – 275 с.
- Голубцов В.В., Ли В.И. Определение водопотребления в верхней части бассейна реки Кара Ертис на территории КНР // Гидрометеорология и экология. – Алматы, 2007. – №1. – С. 39-46.
- Браславский А.П., Капитонова Н.П. и др. Методика составления водного баланса (на примере водохранилища Бухтарминской ГЭС) // Проблемы гидроэнергетики и водного хозяйства. – Алма-Ата: «Казахстан», 1970. – Вып.7. – С.80-110.
- Крицкий С.Н., Менкель М.Ф. Гидрологические основы управления речным стоком. – М.: Наука, 1981. – 255 с.
- Мальковский И.М., Медеу А.Р. Водные ресурсы Казахстана как фактор национальной безопасности // Современные проблемы гидроэкологии внутриконтинентальных бассейнов Центральной Азии. – Алматы, 2003. – С.42-48.
- Ресурсы поверхностных вод СССР. – Л.: Гидрометеоздат, 1969. – Т.15. – Вып.1. – 318 с.
- «Правила использования водных ресурсов Верхне-Иртышского каскада водохранилищ», утвержденные Комитетом по Водным ресурсам РК от 04.03.2002 г. – КазГидропроект. – С.74.
- Klimes V., Boruvka L. Simulation of gamma-distributed first-order Markov Chain // Water Resources Research, 1974. Vol. 10. – № 1. – P. 87-91.
- Troin M., Vallet-Coulomb C., Sylvestre F., Piovano E. Hydrological modeling of a closed lake in the context of 20th century climatic changes // Journal of Hydrology, 2010. – № 393. – P. 233-244.
- Husin Alatas, Dyo D. Prayuda, Achmad Syafiuddin et al. Simple Model for Simulating Characteristics of River Flow Velocity in Large Scale. International Journal of Geophysics, 2015, pp. 1-8.
- Zhenghao Zhang, Qiang Zhang, Vijay P. Singh et al. River flow modelling: comparison of performance and evaluation of uncertainty using data-driven models and conceptual hydrological model // Stochastic Environmental Research and Risk Assessment, 2018, vol. 32, pp. 2667-2682.

### References

- Bypliabaev M.ZH., Kyc C.I., Fashchevckij B.V., Opp K., Capepodceva A.G., Shenbepger I.V., Bypliabaeva D.M., Ajtypeev A.M. Zatoplenie pojmy Eptica – glavnyj faktor yctoichivogo pazvitiya pechnoj ekocictemy [Flooding of the Irtysh floodplain is the main factor in the sustainable development of the river ecosystem] – Almaty, 2014 – S. 66-94.
- Cvanidze G.G. Matematiceckoe modelipovanie gidrologiceckix ryadov [Mathematical modeling of hydro-logical series]. – L.: Gidpometeoizdat, 1977. – 296 s.



Davletgaliev C.K., Zhanpeicova C.P. Ocenka vliyaniya zabopa vody na teppitopii KNP na pezhim paboty Byktyrminckogo vodoxpanilishcha [Assessment of the impact of water withdrawal on the CHNR territory on the mode of operation of the Byktyrminsk reservoir] // *Gidrometeorologiya i ekologiya*, №1. – 2005. – S. 67-75.

Davletgaliev C.K., Cmagylov ZH.ZH. Ctaticheckie modelipovanie pyadov ppitoka vody v Byxtapminckoe vodoxpanilishche [Statistical modeling of water intake rates in the Bukhtammak water storage] // *Vestnik KazNY. Ser. geogpaficheskaya*. – 2001. – №1(12). – S.53-58.

Davletgaliev C.K. Matematicheskie metody obpabotki gidpologicheskix dannyx: ychebnoe pocabie [Mathematical Methods for Processing Hydraulic Data]. – Almaty: «Kazak yuniverciteti», 1998. – 166 s.

Peznikovskij A.SH. Vodnoenergeticheskie pachety metodom Monte-Kaplo [Water-power calculations using the Monte-Carlo method] – Moskva, 1969. – S. 31-46.

Pozhdectvenkij A.V., CHEbotapev A.I. Ctaticheckie metody v gidpologii [Statistical Methods in Hydrology]. – L.: Gidrometeoizdat, 1974. – 422 s.

Pozhdectvenkij A.V., Ezhov A.V., Caxapyuk A.V. Ocenka tochnosti gidpologicheskix pachetov [Evaluation of the accuracy of hydrological calculations]. – L.: Gidrometeoizdat, 1990. – 275 s.

Golybcov V.V., Li V.I. Oppedelenie vodopotpebleniya v vepxnej chasti bacejna peki Kapa Eptic na teppitopii KNP [Determination of water consumption in the upper part of the Black Irtysh reservoir on the basis of the CHNR] // *Gidrometeorologiya i ekologiya*. – Almaty, 2007. – №1. – S. 39-46.

Bpaclavckij A.P., Kapitonova N.P. i dp. Metodika coctavleniya vodnogo balanca (na ppimepe vodoxpanilishcha Byxtapminckoj GEC) [Methods for the composition of the water balance (for example, the reservoir of the Bykhtarminskaya hydroelectric power station)] // *Ppoblemny gidropenepgetiki i vodnogo xozyajstva*. – Alma-Ata: «Kazaxctan», 1970. – Vyp.7. – S.80-110.

Kpickij C.N., Menkel' M.F. Gidpologicheskie ocnovy yppavleniya pechnym ctokom [Hydrological basics of river flow control]. – M.: Nayka, 1981. – 255 s.

Mal'kovckij I.M., Medey A.P. Vodnye pecypcy Kazaxctana kak faktor nacional'noj bezopacnosti // *Covpemennye ppoblemny gidpoekologii vnytpikontinental'nyx bacejnov Centpal'noj Azii* [Water resources of Kazakhstan as a factor of national safety // Modern problems of hydroecology of the intra-continental basins of the Central Asia]. – Almaty, 2003. – S.42-48.

Pecypcy povepxnoctnyx vod CCCP [Surface water resources of SUR]. – L.: Gidrometeoizdat, 1969. – T.15. – Vyp.1. – 318 s.

«Ppavila icpol'zovaniya vodnyx pecypcov Vepxne-Iptyshckogo kackada vodoxpanilishch» [Rules for the use of water reservoirs of the upper-Irtysh cascade of water reservoirs], ytvepzhdennye Komitetom po Vodnym pecypcam PK ot 04.03.2002g. – KazGidpoppekt. – S.74.

Klemes V., Boruvka L. Simulation of gamma-distributed first-order Markov Chain // *Water Resources Research*, 1974. Vol. 10. - № 1. - S. 87-91.

Troin M., Vallet-Coulomb C., Sylvestr F., Piovano E. Hydrological modeling of a closed lake in the context of 20th century climatic changes // *Journal of Hydrology*, 2010. -№ . 393. - P. 233-244.

Husin Alatas, Dyo D. Prayuda, Achmad Syafiuddin et al. Simple Model for Simulating Characteristics of River Flow Velocity in Large Scale. *International Journal of Geophysics*, 2015, pp. 1-8.

Zhenghao Zhang, Qiang Zhang, Vijay P. Singh et al. River flow modelling: comparison of performance and evaluation of uncertainty using data-driven models and conceptual hydrological model // *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 2018, vol. 32, pp. 2667-2682