

УДК 504.064.37; 556.16

Канд. техн. наук А.Г. Терехов<sup>1</sup>**СПУТНИКОВЫЕ ОЦЕНКИ ПАРАМЕТРОВ МЕЖГОДОВОГО КОНТРРЕГУЛИРОВАНИЯ СТОКА РЕКИ ИЛИ С ПОМОЩЬЮ ВОДОХРАНИЛИЩ В КИТАЙСКОМ СЕКТОРЕ БАСЕЙНА В ПЕРИОД 2007...2016 ГОДЫ**

**Ключевые слова:** регулирование стока реки, гидрологический режим водохранилищ, спутниковые снимки, мониторинг запаса воды в водохранилище, гидрологический сезон

*На основе 181 снимка LANDSAT-5, 7, 8 периода 2007...2016 гг. проведен анализ режимов работы двух доминирующих водохранилищ китайского сектора бассейна р. Или в аспекте межгодового (межсезонного) контррегулирования стока р. Или. При рассмотрении гидрологического сезона во временных рамках с 1 мая по 30 апреля, что соответствует периоду между сезонными минимумами запаса воды в водохранилищах, регистрируется тренд уменьшения объёмов межсезонного контррегулирования стока р. Или, вплоть до его практического отсутствия в течение последних трёх лет.*

**Введение.** В 2007 году в китайском секторе бассейна р. Или (Иле) были запущены в эксплуатацию два крупных региональных гидроузла с водохранилищами: Капшагайская ГЭС, с объёмом водохранилища в  $2,0 \text{ км}^3$  (рабочий объём  $1,4 \text{ км}^3$ ) на р. Текес и Жарынтайская ГЭС, с объёмом водохранилища в  $2,5 \text{ км}^3$  (рабочий объём  $1,65 \text{ км}^3$ ) на р. Каш. Суммарный объём рабочих частей этих водохранилищ превышает  $3 \text{ км}^3$ , что составляет около 25 % от годового стока р. Или на границе КНР – Казахстан ( $12 \text{ км}^3$ ). Резко континентальный климат бассейна р. Или формирует значительные вариации водности года. Годовой сток р. Или на границе КНР – Казахстан варьируется год от года, в пределах, примерно от  $9,4 \text{ км}^3$  (1992) до  $14,1 \text{ км}^3$  (1969). Использование воды накопленной в рабочих объёмах водохранилищ для межгодового контррегулирования стока р. Или, потенциально, способно существенно влиять на водность, как сезона в целом, так и его отдельных месяцев. Вопрос практики использования межгодового (межсезонного) контррегулирования стока р. Или через

---

<sup>1</sup> Казгидромет, г. Алматы

использование запасов воды накопленных в региональных водохранилищах представляет большой интерес.

Оперативная гидрологическая информация по территории китайского сектора бассейна Или является закрытой для Казахстанских экспертов. Прогноз водности р. Или на границе КНР – Казахстан из-за этого становится сложной задачей, которая решается в настоящее время по косвенным данным. Водность пула небольших рек, отобранных на территории Казахстана, моделирует водность р. Или на территории КНР [1, 4], что может заменить, в определённой степени, оперативную информацию о режиме увлажнения долины р. Или на территории КНР. В рамках такой диагностики межгодовое (межсезонное) контррегулирование стока р. Или в китайском секторе с помощью региональных водохранилищ остаётся без учёта.

**Территория мониторинга.** Площадки Капшагайского и Жарынтайского гидроузлов расположены в Китайском секторе бассейна р. Или. Капшагайское водохранилище, в нижнем течение р. Текес (средний расход воды в реке  $240 \text{ м}^3/\text{с}$ ), Жарынтайское водохранилище, в среднем течение р. Каш (средний расход воды в реке  $120 \text{ м}^3/\text{с}$ ). Реки Текес и Каш являются крупнейшими притоками р. Или, фактически определяющими её водность в китайском секторе бассейна.

**Исходная информация.** Мониторинг состояния водохранилищ в китайском секторе бассейна р. Или основывался на спутниковых снимках LANDSAT-5, 7, 8 доступных на свободной основе на Интернет ресурсах агентства геологии США [<https://glovis/usgs/gov>]. Объекты мониторинга (водохранилища) расположены в пределах сцены WRS2:  $146 \times 30$ ; с размером  $180 \times 180 \text{ км}$ , рис. 1. Периодичность возврата спутника LANDSAT на одну и ту же сцену на этой широте – раз в 16 дней. При двух активных спутниках на орбите, период съёмки составляет раз в 8 дней.

Снимок LANDSAT представляет собой мультizonальную съёмку подстилающей поверхности Земли в оптических и инфракрасных спектральных каналах с пространственным разрешением 30 м (панхроматический канал с разрешением 15 м). Совместная работа водохранилищ началась с 2007 г. За период с 2007 по 2016 гг. из архива USGS был выбран 181 снимок LANDSAT 5, 7, 8; с относительно безоблачным состоянием атмосферы, пригодный для оценки наполненности резервуаров.

Дополнительно к оптической спутниковой съёмке для оценки запасов воды в резервуарах привлекалась 3-D модель рельефа местности. Спутниковые данные радарной миссии SRTM-2000 Elevation (пространст-

венное разрешение 90 м, разрешение по высоте местности 1 м), гранула 43N-82E использовались в качестве 3-D модели рельефа местности [5] для восстановления батиметрии водохранилищ [2, 3].

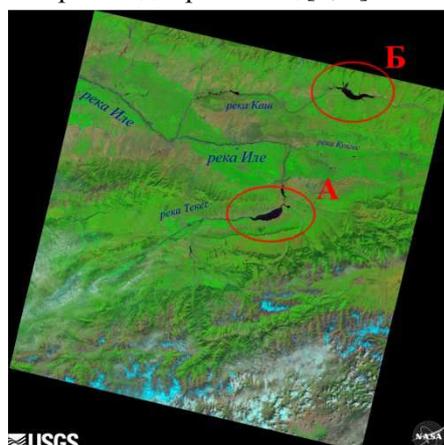


Рис. 1. Космический снимок LANDSAT-8 за 25 августа 2016 года, сцена WRS2: 146×30, размер 180×180 км. А – Капшагайское водохранилище; Б – Жарынтайское водохранилище.

**Методика обработки данных.** Чаши водохранилищ, созданных в среднегорных долинах, имеют простую выпуклую форму с однозначной связью между площадью зеркала и объёмом воды в резервуаре. 3-D модель чаши водохранилища, построенная с помощью SRTM-2000 Elevation, даёт возможность определить численное, эмпирическое уравнение связи между площадью зеркала и запасами воды [2, 3].

Каждый спутниковый снимок, пригодный для определения площади водного зеркала, позволяет рассчитывать запас воды в водохранилище. Спутниковый мониторинг работы водохранилищ в период с 2007 по 2016 гг. на базе 181 снимка LANDSAT позволил восстановить многолетнюю динамику наполненности, как Капшагайского и Жарынтайского водохранилищ по отдельности, так и их сумму, что на 90 % определяет потенциал запасов воды в водохранилищах всего китайского сектора бассейна р. Или. Спутниковые оценки изменений запаса воды экстраполировались к суточным данным, рис. 2

**Полученные результаты.** Межгодовое (межсезонное) контррегулирование представляет собой процесс сглаживания различий в объёмах речного стока, вызванных вариациями водности года. Для этого можно использовать запасы воды в водохранилищах. Вода, накопленная в резервуарах в многоводный год, может срабатываться в маловодный, и таким образом оказывать поддержку стоку реки за счёт водных ресурсов про-

94

шлых лет. Количественные характеристики в объёмах межгодового (межсезонного) контррегулирувания определяются сравнением запасов воды в рабочих частях водохранилищ в определённый, выбранный день года (граница между гидрологическими сезонами) в течение ряда лет.

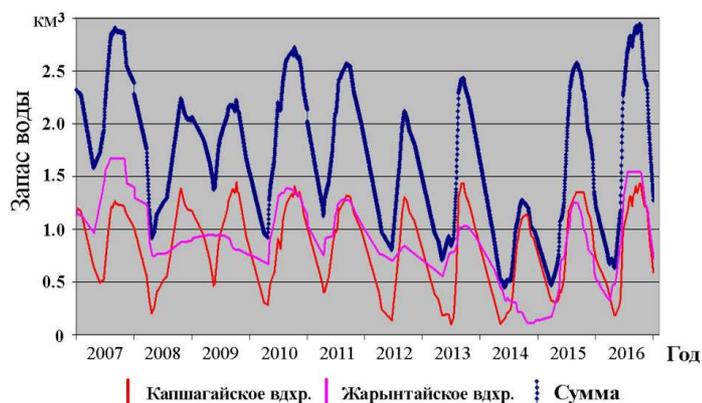


Рис. 2. Спутниковый мониторинг запасов воды в рабочих частях крупнейших водохранилищ китайского сектора бассейна р. Или (Капшагайское [р. Текес] и Жарынтайское [р. Каиш]) в период 2007...2016 гг.

Под гидрологическим сезоном можно понимать различные варианты календарных дат. Первый вариант это календарный год (1 января – 31 декабря). Суммарная работа водохранилищ китайского сектора бассейна р. Или характеризуется естественной сезонной цикличностью, формируемой процессами наполнения (весна – лето) и срабатывания (ноябрь – март), рис. 2. С математической точки зрения периодические процессы имеют две характерных точки, максимум и минимум, которые удобно использовать для определения временных границ периода. Минимум запаса воды в водохранилищах формирует гидрологический сезон в календарных датах с 1 мая по 30 апреля, максимум, соответственно, с 1 сентября по 31 августа.

Таким образом, можно выделить три варианта календарных сроков гидрологического сезона для китайского сектора бассейна р. Или. Календарный год (с 1 января по 31 декабря), по минимумам запасов воды в водохранилищах (с 1 мая по 30 апреля); и по максимумам запасов (с 1 сентября по 31 августа). Три варианта объёмов переходящих запасов воды в рабочих частях двух доминирующих водохранилищ за период 2007...2016 гг. представлены на рис. 3. На рис. 4 для этих сезонов показаны три варианта объёмов межсезонного контррегулирувания периода 2007...2016 гг.

**Обсуждение.** Рассматривая динамику работы основных водохранилищ китайского сектора бассейна р. Или (рис. 2) можно отметить, что режим Капшагайского водохранилища (р. Текес) остаётся стабильным в

течение всего времени своего существования (с 2007 г.). Регистрируются примерно сопоставимые по величинам сезонные максимумы (1,3...1,4 км<sup>3</sup>) и минимумы (0,2...0,5 км<sup>3</sup>) запасов воды в рабочей части резервуара, т.е. водохранилище используется для целей сезонного обеспечения водой и потребителей, и задачи межсезонного контррегулирования не решаются.

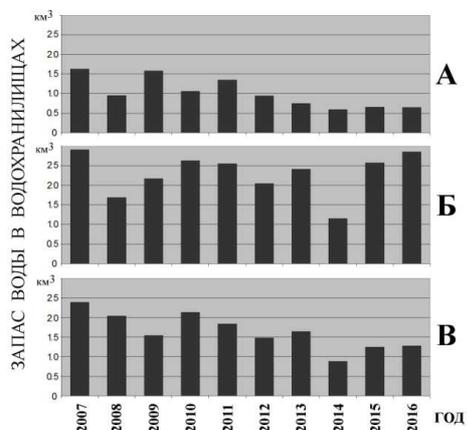


Рис. 3. Спутниковые оценки переходящих запасов воды в рабочих частях основных водохранилищ китайского сектора бассейна р. Или (Капшагайское + Жарынтайское) для трёх вариантов временных рамок гидрологического сезона: А – 1 мая...30 апреля; Б – 1 сентября...31 августа; В – 1 января...31 декабря.

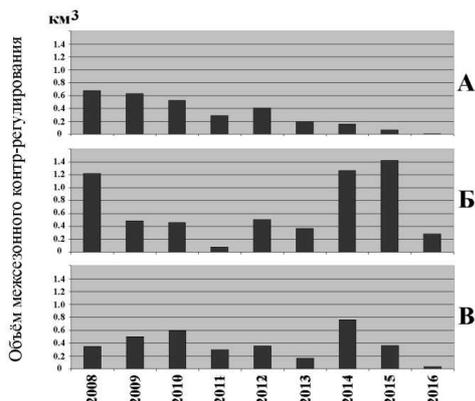


Рис. 4. Спутниковые оценки объёмов межсезонного контррегулирования (абсолютные значения) речного стока р. Или в китайской части бассейна, за счёт воды аккумулированной в водохранилищах (Капшагайское + Жарынтайское,) для трёх вариантов временных рамок гидрологического сезона: А – 1 мая...30 апреля; Б – 1 сентября...31 августа; В – 1 января...31 декабря.

Режим Жарынтайского водохранилища (р. Каш) более сложен, а сезонная динамика выражена не так чётко, как у Капшагайского (р. Текес)

водохранилища. В период максимума сезонные запасы воды в рабочей части водохранилища варьировались от 0,1 до 1,7 км<sup>3</sup>, в период минимума, от 0,3 до 0,75 км<sup>3</sup>. В 2008, 2009, 2012 и 2014 гг. сезонные максимумы практически не формировались. Однако два последних сезона (2015...2016 гг.) динамика Жарынтайского водохранилища (р. Каш) стала очень близка к динамике Капшагайского вдхр. (р. Текес). Регистрировались ярко выраженные максимумы (1,3...1,6 км<sup>3</sup>) и минимумы (0,3 км<sup>3</sup>) запасов воды в рабочей части водохранилища, т.е. в сезонах 2015...2016 гг. оба водохранилища в китайском секторе бассейна работали синхронно в чисто энергетическом режиме (выработка электроэнергии).

Объёмы межсезонного контррегулирования речного стока р. Или в китайском секторе бассейна сильно зависят от выбора календарных дат начала-конца гидрологического сезона. Рассматривая гидрологический сезон, формируемый сезонными минимумами запаса воды в водохранилище (с 1 мая по 30 апреля), можно отметить уменьшающиеся объёмы межсезонного контррегулирования. Объёмы снизились, примерно с 0,6 км<sup>3</sup> (2007...2009 гг.) до нуля в последние годы (2014...2016 гг.) (рис. 4А).

Последние три года (2014...2016 гг.) значительно различались по водности сезона: 2014 – исключительно маловодный; 2016 – исключительно многоводный год. И тем не менее, суммарные сезонные минимумы запаса воды (на 1 мая) в рабочих частях двух основных водохранилищ китайского сектора бассейна р. Или были весьма близки: 0,579 (2014 г.); 0,659 (2015 г.); 0,653 (2016 г.) км<sup>3</sup>. Очевидно, текущий режим администрирования работой водохранилищ имеет контрольный уровень, примерно в 0,65 км<sup>3</sup>, в качестве ориентира для сезонного минимума (на 1 мая). Сезонный максимум запаса воды в водохранилищах при этом строго не контролируется. Поэтому, он остаётся под сильным влиянием водности сезона, например, 1,15 км<sup>3</sup>, в маловодный 2014 год; и 2,8 км<sup>3</sup>, в многоводный 2016 год (рис. 2).

Выводы: межсезонное контррегулирование речного стока р. Или в китайской части бассейна с помощью региональных водохранилищ может диагностироваться по спутниковым данным. Оценка параметров водного баланса между речным стоком и запасом воды в водохранилищах позволяет получать информацию о принципах и параметрах водопользования речного стока.

Регистрируемые объёмы межсезонного контррегулирования стока р. Или зависят от выбора календарных дат гидрологического сезона. При использовании временных рамок сезона с 1 мая по 30 апреля (годовой сезон между минимумами запаса воды в водохранилищах), регистрируется почти монотонное понижение объёмов межсезонного контррегулирова-

ния, вплоть до нуля в последние три года (рис. 4А). Сезонный максимум запаса воды в водохранилищах при этом зависит от водности сезона и способен меняться в широких пределах (1,1...2,9 км<sup>3</sup>).

Рассматривая другие варианты календарных границ гидрологического сезона, и особенно часто используемый в статистических выкладках календарный год, можно наблюдать заметные объёмы межсезонного контррегулирующего речного стока: для календарного года - до 0,8 км<sup>3</sup> (рис. 4Б); для сезона с 1 сентября по 31 августа - до 1,4 км<sup>3</sup> воды (рис. 4В). Правда, эти объёмы не являются результатом целенаправленной политики, а лишь следствием штатной работы водохранилищ в сезонах с различной водностью.

Таким образом, в последние 3 года в рамках гидрологического сезона, формируемого минимумами запаса воды в водохранилищах (с 1 мая по 30 апреля), задача межсезонного контррегулирующего стока р. Или в китайском секторе бассейна с помощью водохранилищ не ставилась. Если в анализе использовать другие календарные даты гидрологического сезона, тогда определённые объёмы воды (до 1,4 км<sup>3</sup>) могут формально относиться к межгодовому (межсезонному) контррегулирующему, являясь, по сути, результатом сезонных различий в режимах заполнения водохранилищ, вызванных различной водностью сезона.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Галаева А.В. Водные ресурсы реки Или в условиях изменения климата и водопотребления // Вестник Кыргыз. ГУ им. И. Арабаева (серия естественные науки). – 2013. – №1. – С. 54-58.
2. Терехов А.Г., Долгих С.А. Спутниковый мониторинг гидрологического режима водохранилища на реке Текес (китайская часть бассейна реки Иле) // Вестник КазНУ (серия географическая) – 2015. – № 1 (40). – С. 143-147.
3. Терехов А.Г., Пак И.Т., Долгих С.А. Данные LANDSAT 5, 7, 8 и ЦМР в задаче мониторинга гидрологического режима Капчагайского водохранилища на реке Текес (китайская часть бассейна реки Иле) // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2015. – Т. 12. – № 6. – С. 174-182.
4. Шиварёва С.П., Галаева А.В. Анализ изменения стока в бассейне р. Или в пределах Казахстана и Китая // Гидрометеорология и экология. – 2014. – №1. – С. 55-67.
5. Rodriguez E., Morris C.S., Belz J.E., Chapin E.C., Martin J.M., Daffer W. An assessment of the SRTM topographic products // Technical Report JPL D-31639. Pasadena, California: Jet Propulsion Laboratory. – 2005. – 143 p.

Техн. ғылымд. канд. А.Г. Терехов

**2007...2016 ЖЫЛДАРДАҒЫ ІЛЕ ӨЗ. АҒЫНЫНЫҢ ЖЫЛ АРАЛЫҚ  
КОНТР-РЕТТЕУІНІҢ ПАРАМЕТЛАРЫНЫҢ ҚЫТАЙ  
СЕКТОРЫНДАҒЫ БАССЕЙІНІНДЕ ОРНАЛАСҚАН СУ ҚОЙМА  
АРҚЫЛЫ САНАЛҒАН СПУТНИКАЛЫҚ БАҒАЛАУ**

*Түйінді сөздер:* су қойма, спутникалық диагностика, өзеннің су шығымы, өзен ағымы, су қоймасындағы су қоры, өзен ағымының реттеуі

*2007...2016 жылдардағы LANDSAT-5, 7, 8 спутниктарының 181 суреттерінің арқасында Іле өзенінің жыл аралық (мерзім аралық) контр-реттеуі аспекті бойынша Қытай секторындағы Іле өзенінің екі доминантты су қоймаларының жұмыс режимінің анализы жасалған. 1 мамыр мен 30 сәуір аралығындағы гидрологиялық мезгілді қарастыра келгенде бұл су қоймадағы су қорының мезгілдік минимумына сәйкес келеді, Іле өз. ағымының жыл аралық контр-реттеудің көлемінің азайу тренді және де соңғы үш жылда оның мүлдем жоғалуына дейін тіркеледі.*

Terekhov A.G.

**THE SATELLITE ESTIMATES OF PARAMETERS OF THE INTER-SEASONS REGULATION OF THE ILE RIVER RUNOFF WITH THE HELP OF THE ARTIFICIAL RESERVOIRS IN THE CHINESE SECTOR OF BASIN DURING 2007...2016 YEARS**

*Keywords:* artificial reservoirs, hydrological regime, satellite diagnosis, the river charge, river runoff, water deposit in the reservoir, regulation of the river stream

*Based on the 181 satellites images (LANDSAT-5, 7, 8) period of 2007...2016 years, an analysis of the operation modes of the two dominant artificial reservoirs of the Chinese sector of the Ile River basin was carried out in the aspect of the inter-years (inter-seasonal) control of the Ile River runoff. When considering the hydrological season in the time frame from May 1 to April 30, which corresponds to the period between the seasonal minimum of the water deposit in the artificial reservoirs, a trend is recorded to reduce the volume of the River Ile runoff. Moreover during last three years the off-season regulation of the River Ile runoff was absent.*