
УДК 504.064.37; 556.16

Канд. техн. наук А.Г. Терехов ¹
Канд. геогр. наук С.А. Долгих ¹
Л.Н. Никифорова ¹

**КИТАЙСКИЙ СЕКТОР БАССЕЙНА РЕКИ ИЛИ: СПУТНИКОВАЯ
ДИАГНОСТИКА ИЗМЕНЕНИЙ ГИДРОГРАФА РЕКИ ТЕКЕС В
РЕЗУЛЬТАТЕ СТРОИТЕЛЬСТВА В 2006 ГОДУ КАПЧАГАЙСКОГО
ВОДОХРАНИЛИЩА (КНР)**

Ключевые слова: гидрограф, водохранилище, гидрологический режим, спутниковые снимки, площадь водного зеркала, запас воды в водохранилище, регулирование стока реки

Проведена спутниковая диагностика изменений гидрографа р. Текес (Китайский сектор бассейна р. Или) в районе слияния с р. Кунгес (исток р. Или) в результате строительства в 2006 г. в нижнем течении р. Текес крупного гидротехнического объекта (Капчагайское водохранилище). По спутниковым данным LANDSAT 7, 8 регистрируется уменьшение стока теплого периода (май – октябрь) примерно на 10...15 % и увеличение стока холодного периода (ноябрь – апрель) до 40...60 %.

Введение. Формирование стока р. Или (Иле) в верхней, китайской части бассейна, остается непрозрачным для Казахстанских экспертов. Отсутствует достаточный объем гидрологической информации, особенно оперативной, как по стоку р. Или и ее притоков в различных створах, так и по фактическим осадкам в высокогорной зоне формирования стока. Неопределённости параметров водного баланса в Китайском секторе бассейна р. Или имеют две составляющие. Первая, составляющая связана с сезонными погодными вариациями водности года, имеющими, в общем, квази-случайный характер, на фоне слабо выраженной тенденции, формируемой изменением климата. Вторая составляющая, относится к регулярным и закономерным изменениям режимов рек в результате регулирования стока, например, вызванном строительством и эксплуатацией крупных гидротехнических объектов (водохранилищ). Всё это затрудняет прогноз водности р. Или на границе КНР – Казахстан.

¹ Казгидромет, г. Алматы

Одним из крупных гидротехнических объектов, построенных в последнее десятилетие в Китайском секторе бассейна р. Или, является Капчагайское (Капшагайское) водохранилище в низовьях р. Текес. Водохранилище объемом около 2 км³ было заполнено в 2006 г. Начиная с 2007 г. объект используется для регулирования стока р. Текес в ключевые периоды сельскохозяйственного сезона и выработки электроэнергии.

Река Текес имеет снежно-ледовое питание и собирает воду с хребтов Внутреннего Тянь-Шаня. Естественный гидрограф рек снежно-ледового питания имеет большие различия по объемам стока между зимним и летним периодом. Согласно режиму работы самого гидротехнического объекта это приводит к значительным вариациям объемов хранения воды в водохранилище в течение года. Спутниковые данные способны с высокой точностью регистрировать изменения площади водного зеркала водохранилища, что совместно с 3D-моделью рельефа дна (батиметрией) даёт возможность рассчитывать общий водный баланс между стоком реки и водохранилищем. Многолетний мониторинг запаса воды в резервуаре, включая режим сезонного заполнения и срабатывания, может служить информационной основой для оценки статистически значимых изменений гидрографа реки, возникших в результате строительства и эксплуатации гидротехнического объекта. Изменение гидрографа основных притоков р. Или в китайском секторе её бассейна представляет большой интерес для моделирования и прогноза объема стока р. Или ниже по течению, в пределах территории Казахстана.

Территория мониторинга. Площадка Капчагайского гидроузла расположена в Китайском секторе бассейна р. Или в нижнем течении р. Текес, координаты плотины: 43°19'N, 82°29'E. Строительство плотины было закончено в 2005 г. С 2005 по 2006 проводилось заполнение водохранилища. По спутниковым оценкам длина водохранилища составляет около 20 км, площадь водного зеркала до 60 км², (рис. 1). Сезонные вариации площади водного зеркала в период 2007...2015 гг. находятся в пределах 27...58 км², вариации абсолютной высоты среза воды: 973...993 м над уровнем моря, полезный объем водохранилища около 1,4 км³.

Спутниковые данные. Значительные вариации размера водной массы в резервуаре дают возможность использовать спутниковые снимки LANDSAT-5, 7, 8 с пространственным разрешением 30 м для мониторинга изменений площади водного зеркала водохранилища. Спутниковые данные LANDSAT периода с 1983 г. по текущий момент доступны в свобод-

ном режиме на интернет ресурсе агентства геологии США [<http://glovis.usgs.gov>]. Частота спутниковой съемки и климат региона Внутреннего Тянь-Шаня позволяет иметь от 9 (2009 г.) до 21 (2014 г.) безоблачных снимков района водохранилища, пригодных для регистрации площади водного зеркала. Определенный пробел в спутниковых данных возникает в зимний период, когда происходит образование снежно-ледового покрова, маскирующего точные границы водного зеркала.

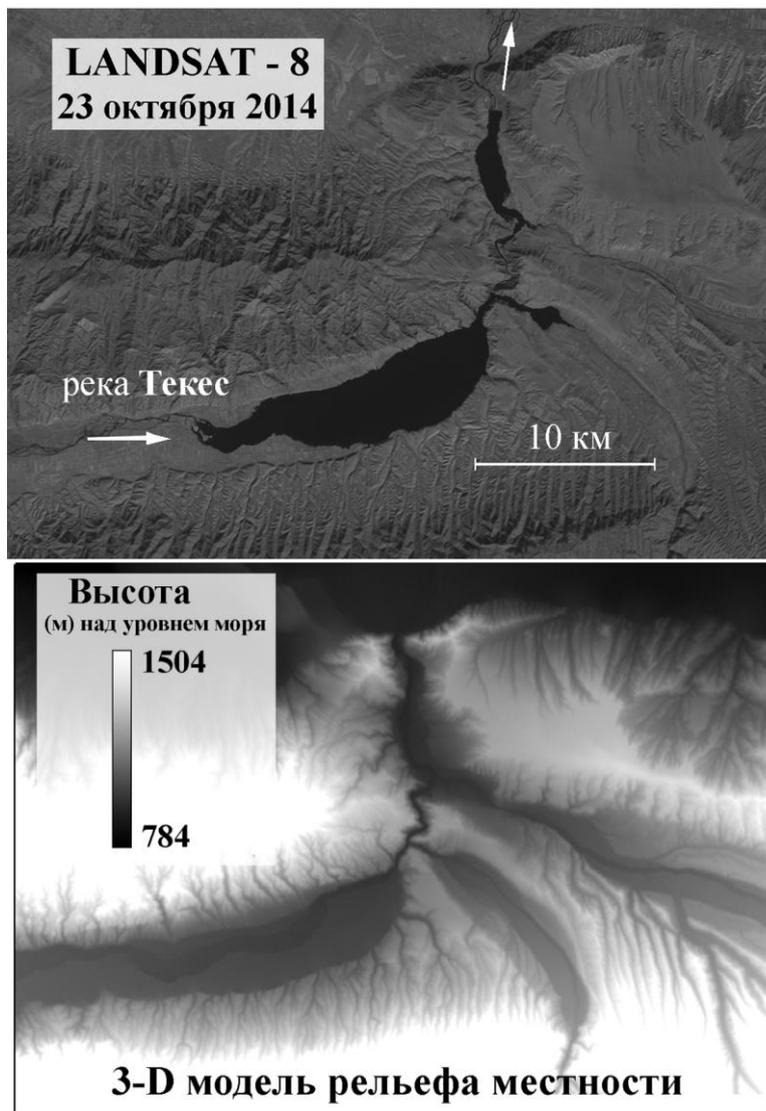


Рис. 1. Фрагмент снимка LANDSAT-8 (дата залёта: 24.10. 2014 г.) с Капчагайским водохранилищем на р. Текес и соответствующая ЦМР местности по данным SRTM-2000 Elevation, гранула 43п-82е.

Оптические каналы мультиспектральной съемки LANDSAT-TM, ETM+: канал 2: 520-600 нм; канал 3: 630-690 нм; канал 4: 760-900 нм; дают возможность распознавать на безоблачных снимках водные поверхности, имеющие характерный спектральный подчёрк. Помехи облачного покрова, в зависимости от их количества и плотности, могут быть нивелированы при экспертном дешифрировании или использовании безоблачной съёмки других дат залёта с близким наполнением резервуара.

Вторым необходимым источником спутниковых данных является 3D-модель рельефа местности, которая покрывает район водохранилища. В задаче мониторинга наполненности Капчагайского водохранилища использовалась модель Satellite Radar Terrestrial Mission (SRTM)-2000 Elevation [1]. Модель рельефа местности была создана на основе спутниковой радарной съёмки проведенной еще до начала строительства водохранилища и поэтому для дна резервуара эта информация может выступать в качестве батиметрии. Относительная точность определения высоты местности в рамках SRTM-2000 Elevation составляет около 1 м [3]. Этого вполне достаточно для количественной оценки режима водного баланса между речным стоком и Капчагайским водохранилищем, поскольку сезонные вариации глубины водохранилища довольно значительны и составляют порядка 20 м.

Методика обработки спутниковой информации. Гранула 43п-82е цифровой модели рельефа SRTM-2000 Elevation использовалась в качестве гипсометрической основы. 157 снимков LANDSAT 5, 7, 8 периода 2005...2015 гг. по сеновой позиции WRS-2: 146/30; привлекались для создания временной серии отсчетов величин площади водного зеркала Капчагайского водохранилища на р. Текес (КНР).

Стратегия обработки спутниковых данных строилась на определении и использовании эмпирической калибровочной зависимости между размером площади водного зеркала и объемом воды в резервуаре, которая строилась на основе 3D-модели рельефа местности. Использование данной калибровочной зависимости переводило регистрируемый спутником размер площади водного зеркала в объём запаса воды в водохранилище [1, 2]. После отнесения полученных данных к календарным датам залёта спутника, формировались оценки общего водного баланса в системе «речной сток – водохранилище» в формате потока, с размерностью ($\pm \text{м}^3/\text{с}$), что в свою очередь, являлось основой для диагностики многолетних изменений гидрографа реки (рис. 2).

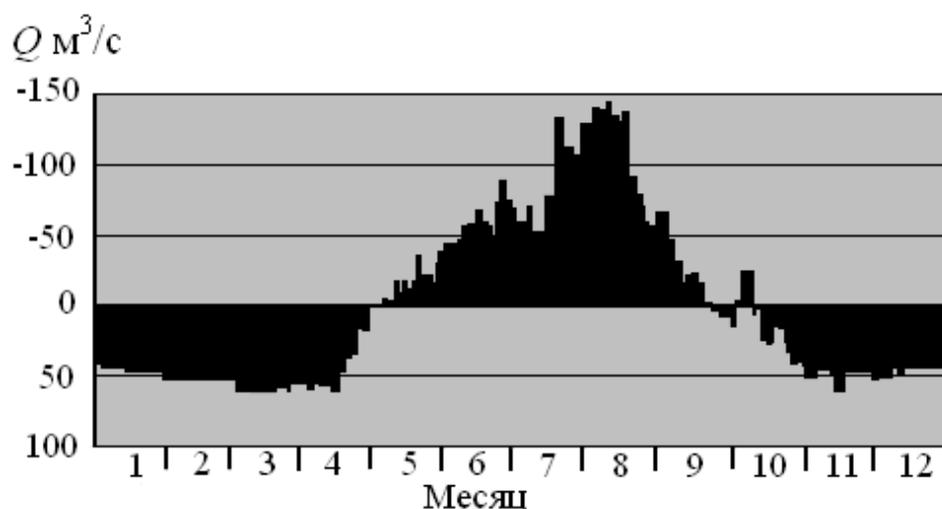


Рис. 2. Средний многолетний водный баланс между стоком р. Текес и Капчагайским водохранилищем (усреднено по 9 сезонам 2007...2015 гг.). Отрицательные значения – изъятия воды из речного стока для хранения в водохранилище. Положительные значения – возврат в речной сток воды из водохранилища. Построено по спутниковым данным LANDSAT.

Обсуждение полученных данных. Доступная наземная историческая информация по объемам стока р. Текес в створе после Капчагайского водохранилища представляет собой временной ряд среднемесячных значений периода 1956...2010 гг. Водность р. Текес имеет естественные и существенные годовые вариации. В наиболее многоводный 2002 г. среднегодовой расход воды составлял 364 м³/с, против 200 м³/с, в исключительно маловодный 1989 г. Также можно отметить многоводный 2010 г., когда средний расход воды составил 346 м³/с.

Наличие длинного ряда наземных наблюдений над объемами стока р. Текес до начала строительства Капчагайского водохранилища (КНР) (1957...2004 гг.) и определенный объем многолетних данных по водному обмену между рекой и водохранилищем, после ввода его в эксплуатацию (2007...2015 гг.), дают возможность сопоставить между собой средние многолетние режимы и оценить изменения гидрографа р. Текес (рис. 3).

Выводы: Доступная наземная информация по среднемесячному стоку р. Текес в нижнем течении ограничена периодом 1956...2010 гг., что позволяет оперировать средними многолетними характеристиками стока периода 1957...2004 гг. (полные годовые сезоны, до начала заполнения водохранилища). Нет оснований считать, что климатические условия в Китайской части бассейна р. Или периода 2007...2015 гг. значимо отлича-

лись от периода 1957...2004 гг. Таким образом, оценка изменений средних многолетних характеристик гидрографа р. Текес ниже Капчагайского водохранилища может базироваться на наземных данных по объемам речного стока периода 1957...2010 гг., взятых в качестве основы и параметров водного баланса (речной сток – водохранилище) за период 2007...2015 гг., зафиксированных спутниками (рис. 4).

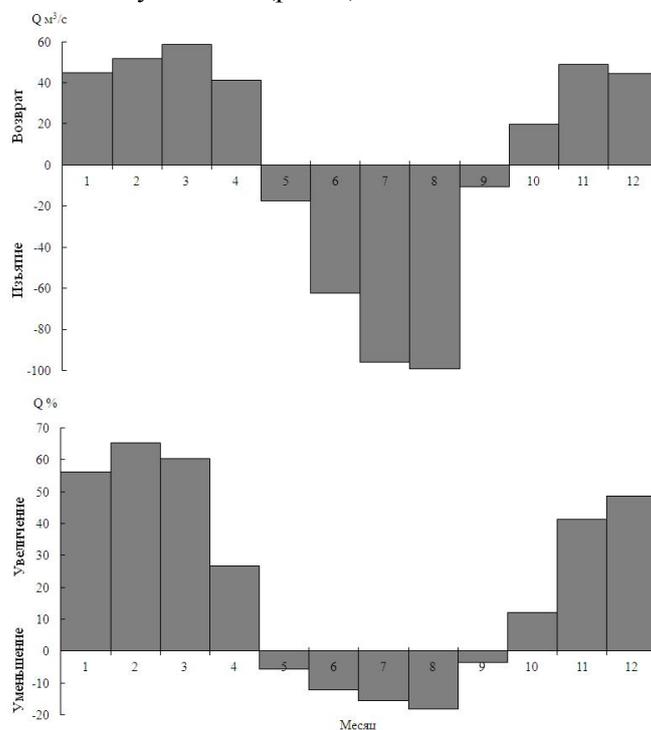


Рис. 3. Сезонный водный баланс между стоком р. Текес и Капчагайским водохранилищем (КНР) в абсолютных (m^3/c) и относительных единицах (%). Месячный шаг накопления данных, усреднено по 9 сезонам 2007...2015 гг. Построено по спутниковым данным LANDSAT.

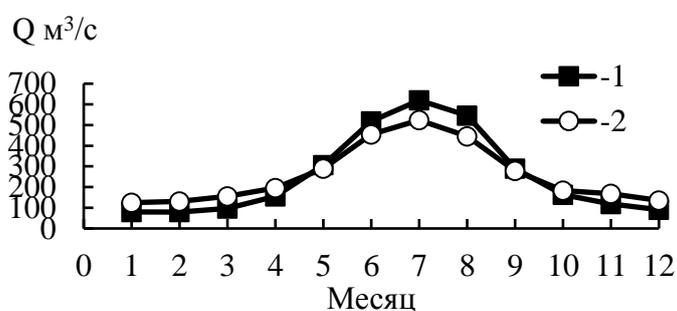


Рис. 4. Средний многолетний гидрограф р. Текес (КНР) в нижнем течении до (1) и после (2) строительства Капчагайского гидроузла.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Терехов А.Г., Долгих С.А. Спутниковый мониторинг гидрологического режима водохранилища на реке Текес (китайская часть бассейна реки Или) // Вестник КазНУ (серия географическая) – 2015. – № 1 (40). – С. 143-147.
2. 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 Или) // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2015. Т. 12, № 6. – С. 174-182.
3. 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.

Поступила 30.12.2016

Техн. ғылымд. канд. А.Г. Терехов
Геогр. ғылымд. канд. С.А. Долгих
Л.Н. Никифорова

ІЛЕ ӨЗЕНІНІҢ ҚЫТАЙ СЕКТОРЫНДАҒЫ БАССЕЙІНІ: (ҚХР) 2006 ЖЫЛЫ ТЕКЕС ӨЗЕНІНДЕГІ ҚҰРАСТЫРЫЛҒАН ҚАПШАҒАЙ СУ ҚОЙМАСЫНЫҢ ГИДРОГРАФЫНЫҢ ӨЗГЕРУІНЕ БАЙЛАНЫСТЫ СПУТНИКАЛЫҚ ДИАГНОСТИКАСЫ

Түйін сөздер: гидрографиясы өзендері, су қоймасы, гидрологиялық режимі, спутниктік суреттер, су бетінің ауданы, су қоймасындағы су жеткізу, реттеу өзен ағыны

2006 жылы Текес өзенінің төменгі ағымында Қапшағай су қоймасы атты - ірі гидротехникалық нысанының құрастырылуына байланысты Текес өзенінің (Іле өзенінің Қытай секторындағы бассейні) Күнгес өзенімен қосылатын аймақтағы (Іле өзенінің басталуы) гидрографының өзгеруінің спутникалық диагностикасы жасалған. LANDSAT 7, 8 спутникалық мәліметтері бойынша жылы мезгілде (мамыр – қазан) су ағымының 10...15 % азайуы тіркеледі және де суық мезгілде (қараша – сәуір) 40...60 % көбейуі тіркеледі.

Terekhov A., Dolgikh S., Nikiforova L.

CHINESE SECTOR OF ILI RIVER BASIN: THE SATELLITE DIAGNOSTIC OF THE CHANGE OF RIVER TEKES HYDROGRAPH AS RESULTS OF KAPSHAGAY RESERVOIR CONSTRUCTION

Keywords: hydrograph of rivers, reservoirs, hydrological regime, satellite images, water surface area, water stock in the reservoir, flow regulation river

The satellite diagnostic of the change of river Tekes hydrograph (China 's sector of Ili river basin) was carried out. The change related with construction of the Kapchagay reservoir in 2006 year. The satellite LANDSAT-7, 8 images recorded the decrease of river Tekes runoff during May – September about 10...15 % and the increase ones about 40...60 % during November – April.