

УДК 504.064.37; 556.16

Канд. техн. наук А.Г. Терехов¹**ВОЗМОЖНОСТИ СПУТНИКОВОГО МОНИТОРИНГА
ВОДОХРАНИЛИЩ В ЗАДАЧЕ ДИАГНОСТИКИ ВОДНОСТИ
РЕКИ ИЛЕ НА ТЕРРИТОРИИ КНР В СЕЗОНЕ 2017 ГОДА**

Ключевые слова: спутниковый мониторинг, бассейн трансграничной реки, площадь водного зеркала, запас воды в водохранилище, регулирование стока реки, водность сезона

На основе 20 спутниковых снимков LANDSAT-7, 8 (разрешение 30 м) сезона 2017 года, покрывающих китайский сектор бассейна р. Иле проведена оценка параметров водного обмена между стоком рек Текес, Каш и доминирующими водохранилищами (Капшагайское на р. Текес и Жарынтайское на р. Каш). Определены особенности сезонной динамики изменений запасов воды в рабочих частях основных водохранилищ и на этой основе проведена диагностика режима водности р. Иле в китайском секторе бассейна в 2017 г.

Введение. К основным водохранилищам в Китайском секторе бассейна р. Иле (Или) относятся построенные в 2005...2006 гг. Капшагайское (р. Текес), с общим объёмом в 2,0 км³ (рабочий объём 1,4 км³), и Жарынтайское (р. Каш), с общим объёмом в 2,5 км³ (рабочий объём 1,65 км³). В сумме, оба эти водохранилища составляют около 90 % от всего объёма искусственных резервуаров в китайском секторе бассейна р. Иле. Спутниковый мониторинг позволяет контролировать изменения площади водных зеркал водохранилищ. Совместно с 3D моделью рельефа местности [12] эта информация служит основой для расчётов текущей наполненности резервуаров и некоторых других характеристик в течение анализируемого периода [2-9].

Территория мониторинга. В работе рассматривалась китайская часть бассейна трансграничной р. Иле, расположенная в пределах Синьцзян-Уйгурского автономного района (СУАР) КНР. Бассейн реки расположен между хребтами Восточного Тянь-Шаня: Боро-Хоро (с северо-востока), Ирен-Хабырга и Халык-тау, Бордо-Ула (с юга). Годовое количество осадков относительно невелико и составляет 300...400 мм [10]. Резко континентальный климат продуцирует значительные вариации сезонной водности рек. Го-

¹ Казгидромет, г. Алматы, Казахстан

довой сток р. Иле на границе Казахстана и КНР может варьировать до 2 раз, от 8 км³ в сухой сезон, до 16 км³ во влажный [1].

Водность сезона является ключевым фактором, влияющим на водообеспеченность сельскохозяйственного производства (поливная пашня), коммунального хозяйства и состояние конечного водного объекта – оз. Балкаш (Балхаш). Характеристики водности сезона в китайском секторе бассейна Иле очень важны для оптимизации работы гидротехнических объектов на территории Казахстана и эффективном администрировании ирригации пахотных земель в нижнем течении р. Иле.

Оперативная гидрологическая информация с территории СУАР КНР малодоступна. Поэтому, различные схемы диагностики и дистанционной оценки водности сезона в бассейне р. Иле на территории КНР представляют значительный практический интерес. Одно из возможных направлений, это анализ параметров водного баланса между стоком реки и доминирующими водохранилищами. Водность сезона, характеризующаяся расходом воды в основных притоках р. Иле (р. Текес и р. Каш), существенным образом влияет на режим наполнения и срабатывания водохранилищ, что может диагностироваться по данным дистанционного зондирования. В данной работе этот подход рассматривался на примере сезона 2017 года.

Цель работы. Целью данной работы являлась реконструкция по спутниковым данным режима водного обмена между стоком р. Иле (КНР) и доминирующими водохранилищами (Капшагайское, Жарынтайское) в сезоне 2017 года и на этой основе качественная диагностика водности сезона в китайском секторе бассейна р. Иле.

Исходная информация. Снимок LANDSAT представляет собой мультиспектральную съёмку подстилающей поверхности Земли в оптических и инфракрасных спектральных каналах с пространственным разрешением 30 м (панхроматический канал с разрешением 15 м) [11]. Для решения поставленных задач использовались спутниковые снимки LANDSAT-7, 8 2017 г. по сеновой позиции WRS-2: 146×30. Всего было привлечено 20 снимков следующих календарных дат залёта спутника [число, месяц]: 13.03; 15.04; 08.05; 16.05; 24.05; 09.06; 17.06; 03.07; 19.07; 27.07; 04.08; 12.08; 28.08; 05.09; 13.09; 21.09; 07.10; 15.10; 25.11; 03.01.2018.

Методика обработки данных. Методика обработки спутниковых данных описана в [2-4] и заключается в использовании эмпирических зависимостей, связывающих площадь водного зеркала с запасами воды в рабочих частях водохранилищ.

Полученные результаты. Спутниковый мониторинг позволяет контролировать площадь водных зеркал водохранилищ. На основе этих данных осуществлять расчёт текущей наполненности резервуаров и оценку относительно многолетних норм (минимум – среднее – максимум) периода 2006...2016 гг. В табл. 1 показаны величины сезонных максимумов запаса воды периода 2006...2016 гг. и сезона 2017 г.

Таблица 1

Сезонные максимумы запасов воды в рабочих частях основных водохранилищ Китайского сектора бассейна р. Иле периода 2006...2016 гг. и в сезоне 2017 г. по спутниковым данным, млн. м³

Водохранилище	Дата	Сезон 2017 г.	Сезонные значения периода 2006...2016 гг.		
			min	среднее	max
Капшагайское	17.09.17	1399,6	1107,3	1262,6	1418,6
Жарынтайское	28.08.17	1556,3	348,4	1062,2	1670,1
Сумма	21.09.17	2939,7	1274,7	2326,2	2875,1

Динамика изменения запасов воды в водохранилищах и параметры водного обмена между водохранилищами и речным стоком в период с 1 января по 31 декабря 2017 г. представлены на рис. 1, 2.

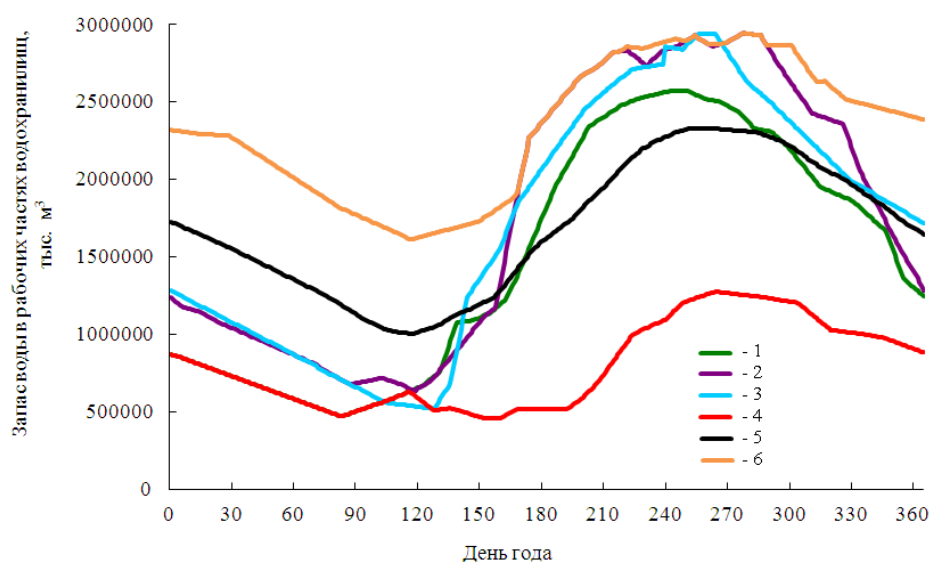


Рис. 1. Динамика суммарных объёмов воды, хранящихся в рабочих частях доминирующих водохранилищ китайского сектора бассейна р. Иле в период с 1 января по 31 декабря 2017 года (3), в сравнении с сезонами 2015 (1) и 2016 (2) годов и многолетними режимами (минимум (4), среднее (5), максимум (6)).

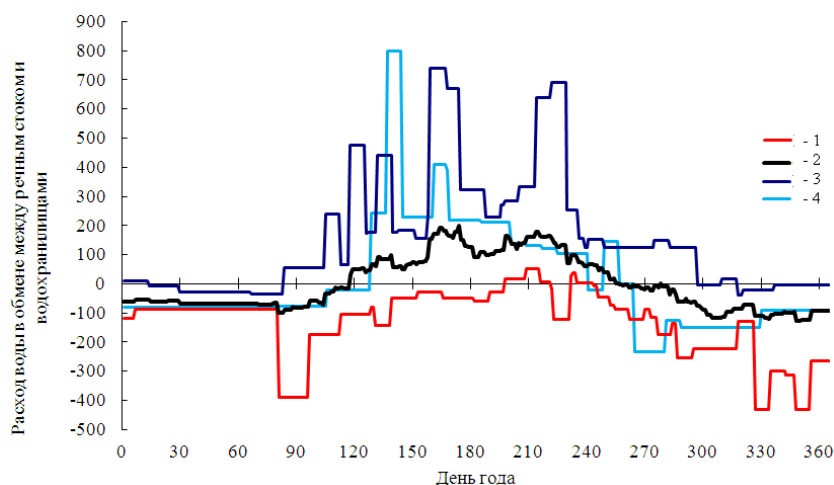


Рис. 2. Суммарный расход воды ($m^3/сек$) в процессе водного обмена между стоком рек Текес и Каши и доминирующими водохранилищами (Капшагайское [р. Текес], Жарынтайское [р. Каши]); многолетние (2006...2016 гг.) характеристики (минимальный (1), средний (2) и максимальный (3) потоки) и параметры сезона 2017 года (4).

В табл. 2 показаны, запасы воды в рабочих частях основных водохранилищ китайского сектора бассейна р. Иле по состоянию на 1 января и на 15 октября 2017 года.

Таблица 2

Запасы воды в основных водохранилищах Китайского сектора бассейна р. Иле в сезоне 2017 года по спутниковым данным, $10^6 m^3$

Водохранилище	Дата	Запас воды, рабочая часть	Многолетний (2006...2016 гг.)		
			min	среднее	max
Капшагайское	01.01.17	560,0	707,5	891,9	1175,0
	15.10.17	1288,2	1107,3	1253,9	1379,0
Жарынтайское	01.01.17	718,3	135,9	805,3	1296,2
	15.10.17	1244,9	129,7	1003,5	1670,1
Сумма	01.01.17	1278,3	870,5	1726,2	2317,8
	15.10.17	2533,1	1237,1	2287,0	2885,4

Режим работы (срабатывание) водохранилищ в течение холодного периода (январь – март) 2017 года с высокой точностью повторил режим 2016 года. В течение первого квартала (январь – март) основной значащий фактор это срабатывание водохранилищ. Режимы срабатывания водохранилищ в первом квартале мало зависят от фактической погоды, что определяет регистрируемую идентичность в объемах поддержки речного стока за счет запаса воды в их рабочих частях.

В апреле весеннее снеготаяние, обычно, увеличивает естественный объём речного стока, примерно в 1,5...2,0 раза. Режим срабатывания водохранилищ подстраивается под величины естественного расхода воды, чтобы выровнять его до необходимой величины. В отдельные годы температурный фон апреля остаётся относительно низким и естественного увеличения расхода воды в реках не происходит. Такой погодный сценарий приводит к повышенным расходам воды из водохранилищ для поддержания нормативного уровня расхода воды. Начало апреля 2017 г. в китайской части бассейна р. Иле, по всей видимости, характеризовался низким температурным фоном, что вызвало сверхнормативное истощение запасов воды в водохранилищах. Вторая половина апреля характеризовалась обновлением многолетних минимумов запаса воды в рабочих частях водохранилищ для этих дат (около 500 млн. м³).

Начало мая 2017 г. продолжило тенденцию маловодности апреля, но вторая половина оказалась исключительно многоводной. Бурный процесс снеготаяния в горах совпал с интенсивными осадками в виде дождя, что привело к паводкам. Во второй половине мая для перехвата паводковых вод водохранилища (Капшагайское и Жарынтайское) суммарно забирали до 800 м³/с из стока р. Иле. Эти величины почти в два раза превышали исторические (2006...2016 гг.) максимумы уровня водозабора мая.

Перехват дождевых паводков мая способствовал процессу быстрого наполнения водохранилищ. Объёмы хранения воды к середине июня 2017 г. приблизились к многолетним максимальным величинам. Однако многоводность не получила продолжения во второй половине июня и в июле. Запасы воды в водохранилищах в этот период росли умеренными темпами, а величины водозабора для пополнения рабочих частей резервуаров находились в пределах 200...400 м³/с. Это хотя и превышает средний уровень, но значительно проигрывает многолетним максимальным значениям (около 700 м³/с).

Август – сентябрь характеризовался очень высокими уровнями запасов воды в рабочих частях водохранилищ. В период с 12 по 22 сентября уровень воды обновлял многолетний максимум для этих дней. В конце сентября – начале октября начал регистрироваться чрезвычайно высокий уровень поддержки речного стока р. Иле за счёт запаса воды, накопленного в водохранилищах (230 м³/с). Это почти в два раза превышало прежний многолетний максимум (130 м³/сек). Ближе к середине октября естествен-

ный речной сток вырос и интенсивность срабатывания водохранилищ упала, хотя и не достигла средних многолетних значений.

Последние месяцы года (ноябрь, декабрь) были близки к средним многолетним режимам срабатывания водохранилищ. Это заметно отличалось от режимов 2015 и 2016 годов, уменьшенным уровнем водозабора из водохранилищ. По состоянию на 31 декабря 2017 года суммарный запас воды в рабочих частях доминирующих водохранилищ почти на 0,5 км³ превышал уровни 2015 и 2016 годов, что скорее всего было вызвано повышенным уровнем водности рек Текес и Каш в последние месяцы 2017 г.

Выводы. Таким образом, спутниковый мониторинг размеров зеркал основных водохранилищ китайского сектора бассейна р. Иле позволяет восстанавливать параметры водного обмена между водохранилищами и речным стоком. На этой основе есть возможность диагностировать водность сезона в долине р. Иле (СУАР КНР).

Фактические выводы по 2017 г. указывают, что стратегия администрирования объёмами запасов воды в водохранилищах китайского сектора в течение года имела несколько характерных моментов:

- в начале сезона, холодный и маловодный апрель истощил запасы воды в водохранилищах (обновление многолетних минимумов);

- в мае, первой половине июня, наблюдалось активное пополнение водохранилищ, что указывало на выраженную многоводность (весенний паводок) в режиме речного стока;

- во второй половине июня и июле, темпы заполнения водохранилищ значительно упали, в целом, приблизившись к средним многолетним значениям. Однако запасы воды в рабочих частях водохранилищ находились на очень высоком уровне (обновление многолетних максимумов);

- конец сентября – начало октября, начало активного срабатывания водохранилищ (обновление многолетних максимумов по уровню поддержки речного стока за счёт водохранилищ);

- конец года (ноябрь, декабрь) характеризовался средним многолетним уровнем водозабора, что позволило обеспечить переходящие на 2018 год запасы воды, в объёме на 500 млн. м³ превышающие уровень 2015, 2016 гг.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Генеральная схема комплексного использования и охраны водных ресурсов Казахстана // Астана. 2015 г. 143 с. [Электр. ресурс]. URL:

<https://mgov.kz/wp-content/uploads/2016/01/rus.doc> (дата обращения: 16.10. 2017).

2. Терехов А., Калимолдаев М., Пак И., Долгих С. Экспансия агроландшафта и состояние основных водных объектов на территории Синьцзян-Уйгурского Автономного Района КНР (бассейны реки Иле и озера Эби-Нур) по данным спутниковой съёмки 1990-2017 гг. // В кн. «Новые методы и результаты исследований ландшафтов в Европе, Центральной Азии и Сибири» / Под ред. Л. Мюллер. Leibniz Centre for Agricultural Landscape Research (ZALF), Germany, в печати.
3. Терехов А.Г. Потенциал влияния водохранилищ китайского сектора бассейна реки Иле на режим её водности на границе КНР – Казахстан // Гидрометеорология и экология. – 2016. – №4 (83). – С. 63-70.
4. Терехов А.Г. Спутниковые оценки параметров межгодового регулирования стока реки Иле с помощью водохранилищ в китайском секторе бассейна в период 2007-2016 годов // Гидрометеорология и экология. – 2017. – №3 (86). – С. 92-99.
5. Терехов А.Г., Долгих С.А. Геоинформационная система оперативной оценки объёма запаса воды в водохранилищах китайского сектора бассейна реки Иле // Вода для жизни: Матер. Межд. научно-практ. конф., Алматы, 22-24 сентября 2016 г., книга 1. С. 170-175.
6. Терехов А.Г., Долгих С.А. Спутниковый мониторинг гидрологического режима водохранилища на реке Текес (китайская часть бассейна реки Иле) // Вестник КНУ (серия географическая) – 2015. – № 1(40). – С. 143-147.
7. Терехов А.Г., Долгих С.А., Никифорова Л.Н. Китайский сектор бассейна реки Иле: спутниковая диагностика изменений гидрографа реки Текес в результате строительства в 2006 году Капшагайского водохранилища (КНР) // Гидрометеорология и экология.– 2016. – №4(83). – С. 24-31.
8. Терехов А.Г., Калимолдаев М.Н., Пак И.Т. Компьютерное моделирование и спутниковые данные в задачах мониторинга некоторых гидрологических параметров в бассейнах трансграничных рек на примере китайской части бассейна реки Иле// ВЕСТНИК КазНУ (Серия: математика, механика, информатика). – 2016. – №3/1(90). – С. 75-86.
9. 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.

10. Climatological Atlas of the People's Republic of China // China Meteorological Press. Zhonghua Renmin. Gongheguo Qihou Tuji. – 2002. – 250 p.
11. Landsat Mission [Электр. ресурс]. URL: <https://landsat.usgs.gov/landsat-project-description> (дата обращения: 16.10.2017).
12. 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 17.01.2018

Техн. ғылымд. канд. А.Г. Терехов

**2017 ЖЫЛДЫҢ МЕЗГІЛДЕРІ БОЙЫНША (ҚХР) ІЛЕ ӨЗЕН
СУЛЫЛЫҒЫНЫҢ ДИАГНОСТИКАСЫН ЖАСАУ МАҚСАТЫ
АРҚЫЛЫ СУ ҚОЙМАЛАРДЫҢ ЖЕРСЕРІКТІК
МОНИТОРИНГІСІНІҢ МҮМКІНШІЛІКТЕРІ КӨРСЕТІЛГЕН**

Түйінді сөздер: жерсеріктік мониторинг, трансшекаралық өзендердің бассейні, су бетінің айнасы, су қоймадағы қоры, өзеннің ағынын басқару, мезгілдің сулылығы

2017 жылдың мезгілдері) бойынша LANDSAT-7, 8 жерсеріктік 20 суреттердің арқасында (30 м көрсетілімі), Қытай секторындағы Іле өзенінің Текес, Қаш өзендерімен және доминантты су қоймаларымен бірге (Текес өзеніндегі Қапшағай су қоймасы және Қаш өзеніндегі Жарынтай су қоймасы) су ағымы аусуының қарқынына бағасы берілген. Негізгі су қоймаларындағы жұмыс жасалып жатқан бөлімдеріндегі су қорларының өзгеруінің мезгілдік динамикасының параметрлері табылған және осыған байланысты 2017 жылдың бір мезгілде Қытай секторындағы бассейнінде Іле өзенінің сулы режимінің диагностикасы жасалған.

A.G. Terekhov

**THE SATELLITE MONITORING OF THE WATER RESERVOIRS IN
CHINA TERRITORY IN THE TASK OF DIAGNOSTICS OF THE ILE
RIVER WATER IN THE SEASON OF 2017 YEAR**

Keywords: satellite monitoring, transboundary river basin, water mirror area, water reservoir deposits, river runoff regulation, season water potential

The 20 satellite LANDSAT-7, 8 (30 m resolution) images of the 2017 season that cover the Chinese sector of the Ile River Basin were

used to the estimation of the water exchange intensity between the Ile River runoff and the dominant regional reservoirs (Kapshagay and Zharyntayskoye). The parameters of the seasonal dynamics of changes in water deposits in the working parts of the main reservoirs were determined and on this basis the water regime of the 2017 season of the Ile River in the Chinese sector of the basin was diagnosed.