

О связи между водностью трансграничной реки Или и режимами работы водохранилищ в верхней части бассейна

Н. Н. Абаев

РГП «Казгидромет», Нур-Султан, 010000, Казахстан

E-mail: abayev.nurlan@gmail.com

Институт информационных и вычислительных технологий

Алматы, 050010, Казахстан

В работе рассмотрены результаты спутникового мониторинга бассейна крупной Центрально-Азиатской трансграничной (КНР–Казахстан) р. Или. Анализировалась сопредельная часть бассейна, относящаяся к территории Синьцзяна (КНР), для которой оперативная гидрологическая информация малодоступна. Динамика работы китайских региональных гидроэлектростанций, расположенных в бассейне р. Или (Капчагайское вдхр. на р. Текес и Жарынтайское вдхр. на р. Каш), за период 2011–2021 гг. была реконструирована на основе данных Landsat-7, -8 и Sentinel-2A. Гидроэлектростанции работают в энергетическом режиме. Сезонное пополнение водой водохранилищ происходит в весенне-летний период, а сработка — в холодный. Динамика изменения площади водных зеркал резервуаров легко регистрируется по спутниковым данным. Показано, что временной режим пополнения резервуаров может выступать в роли гидрологического параметра, отражающего водность сезона. Соотношения между водностью реки и темпами сезонного пополнения водохранилищ на временных масштабах 1–3 мес в период май–август имеют весьма высокую коррелированность. Значение коэффициента корреляции Пирсона достигает 0,88. При этом имеется возможность диагностировать водность реки как для всего сезона в целом, так и для отдельных месяцев. Это подтверждает предположение о ключевой роли водности реки при изъятии воды из речного стока для сезонного пополнения водохранилищ в Синьцзяне. В сезоны, когда уровень объёма годового стока р. Или близок к среднему или выше него, происходит практически полное заполнение водохранилищ. Для этого, согласно проведённому исследованию, из стока реки изымается около $2,5 \text{ км}^3$. В маловодные сезоны объём изъятия воды может уменьшаться до $1,3 \text{ км}^3$ (2014). Спутниковый мониторинг работы водохранилищ в китайском секторе бассейна р. Или может стать важным источником гидрологической информации, необходимой для составления прогнозов водности реки в рамках деятельности национальной гидрометеорологической службы Казахстана (РГП «Казгидромет»).

Ключевые слова: Синьцзян, бассейн р. Или, дистанционное зондирование, спутниковые данные, водное зеркало водохранилища, режим сезонного пополнения водохранилищ, водность р. Или

Одобрена к печати: 31.01.2022

DOI: 10.21046/2070-7401-2022-19-1-217-225

Введение

В аридном климате Центральной Азии при климатическом недостатке увлажнения водные ресурсы территорий представляют собой ключевой природный ресурс. Поверхностные воды, формируемые в основном речным стоком, в таком климате имеют значительную межсезонную вариативность. Речной сток в многоводный год может в разы превышать сток маловодных лет. В Казахстане наиболее крупные реки, приходящие на его территорию, являются трансграничными. При этом формирование значительной доли речного стока происходит на сопредельных территориях соседних стран. В таких условиях практическая значимость гидрологического мониторинга сопредельных территорий в трансграничных речных бассейнах особенно важна (Алимкулов и др., 2021).

В настоящее время остро стоит вопрос региональной водной безопасности стран Центральной Азии. Отчасти это связано с трансграничным характером наиболее крупных рек

региона и большой естественной межгодовой вариативностью объёмов речного стока. В условиях недостаточного объёма речного стока происходит трансформация речных русел (Шинкаренко, Солодовников, 2018) и «экспорт маловодья» в нижние части бассейнов (Исупова, 2021; Al-Faraj, Scholz, 2014; Roodari et al., 2021). На этот процесс также оказывают влияние национальные особенности экономического развития и существующий технологический уровень сельскохозяйственного водопользования.

Соседние к Казахстану страны придерживаются различных принципов в вопросе обмена гидрологической информацией по трансграничным бассейнам. Страны бывшего СССР более открыты, а страны дальнего зарубежья менее заинтересованы в развитии систем международного гидрологического мониторинга. Следует отметить, что ценность оперативной гидрологической информации по трансграничному бассейну неэквивалентна. Для нижних частей бассейна информация о верхних частях исключительно важна. Но обратное неверно. Для стран верхних частей трансграничных бассейнов гидрологическая информация из стран нижних частей речного бассейна, в общем, представляется малозначительной (Митина и др., 2021). Поэтому в двухсторонних переговорных процессах по использованию трансграничных водных ресурсов, например между Казахстаном и КНР, страна нижней части бассейна, в данном случае Казахстан, находится в зависимом положении.

Спутниковые снимки выступают объективным источником информации о состоянии территории. Однако связь между гидрологическими параметрами и спутниковыми данными сильно зависит от объекта мониторинга. Например, площадь водного зеркала при его достаточно больших размерах может быть определена по данным дистанционного зондирования с высокой точностью, а спутниковые оценки расхода воды в небольших реках крайне затруднительны.



Рис. 1. Бассейн оз. Балхаш и основной его приток — трансграничная (КНР – Казахстан) р. Или

Объектом исследования в данной работе стал трансграничный (КНР – Казахстан) бассейн крупной для Центральной Азии р. Или (рис. 1). Для Казахстана существует объективная потребность в возможно более детальном спутниковом оперативном гидрологическом мониторинге верхней, китайской, части бассейна реки (Терехов, 2020; Терехов и др., 2020). Представляет интерес как водопользование, так и состояние водных объектов (Терехов и др., 2016; Vjerklie et al., 2003; Brakenridge et al., 2012). Особенно востребован прогноз водности р. Или (Терехов, Пак, 2019). Согласно существующим межправительственным договорёностям, оперативные гидрологические данные по этой реке ограничены наблюдениями за расходом воды на границе КНР – Казахстан (https://adilet.zan.kz/rus/docs/P020000989_). Ограниченность оперативных данных с китайской части речного бассейна вынуждает искать

дополнительные источники объективной гидрологической информации о водности сезона. В бассейне р. Или на территории КНР с 2006–2007 гг. функционируют два гидроэнергетических объекта, имеющих относительно крупные водохранилища с площадью зеркала в пределах 40–60 км². Сезонные вариации площади водных зеркал этих объектов могут с высокой точностью регистрироваться по регулярным, свободно распространяемым спутниковым данным Landsat и Sentinel-2 с пространственным разрешением 10–30 м. Предполагалось, что китайская командно-административная система управления водными ресурсами р. Или будет приводить к формированию тесной зависимости между водностью сезона и графиком сезонного заполнения водохранилищ. Вследствие этого динамика изменений площади водного зеркала водохранилища (Абаев и др., 2021) может выступать в роли объективного, легко регистрируемого спутниками гидрологического параметра, отражающего текущую водность сезона. Проверка этой гипотезы стала целью данной работы.

Территория исследования

Трансграничная р. Или с объёмом годового стока в устье около 12 км³ и длиной более 1400 км протекает по территории Синьцзян-Уйгурского автономного района КНР (крупнейшая река этого региона) и юго-востока Казахстана. Верхняя часть реки (620 км) относится к КНР. До 80 % притока р. Или собирается на территории КНР в хребтах Восточного и Центрального Тянь-Шаня. Конечным водным объектом реки выступает оз. Балхаш, расположенное в Казахстане, с площадью зеркала в 18 тыс. км² (14-е место в мире по размеру зеркала), для которого р. Или стала основным притоком (см. *рис. 1*).

Главные притоки р. Или — расположенные в КНР реки Текес (9,0 км³) и Каш (4,3 км³). К 2006–2007 гг. на этих притоках были построены крупные региональные гидроэлектростанции с соответствующими водохранилищами: Капшагайским (р. Текес) (Терехов и др., 2016) и Жарынтайским (р. Каш) (Терехов, Пак, 2019), с площадью зеркал до 60 км² и запасами воды около 2 км³ каждое. В настоящее время водохранилища работают в энергетическом режиме. То есть их срабатывание для выработки электроэнергии происходит в холодный период, а сезонное пополнение — в тёплый. Водность сезона в бассейне р. Или имеет значительную естественную вариативность. Например, годовой объём стока р. Текес при впадении в р. Или за последние 50 лет варьировался от 6,4 км³ (1992) до 11,5 км³ (2002), а реки Каш — от 2,8 км³ (1974) до 5,7 км³ (2010).

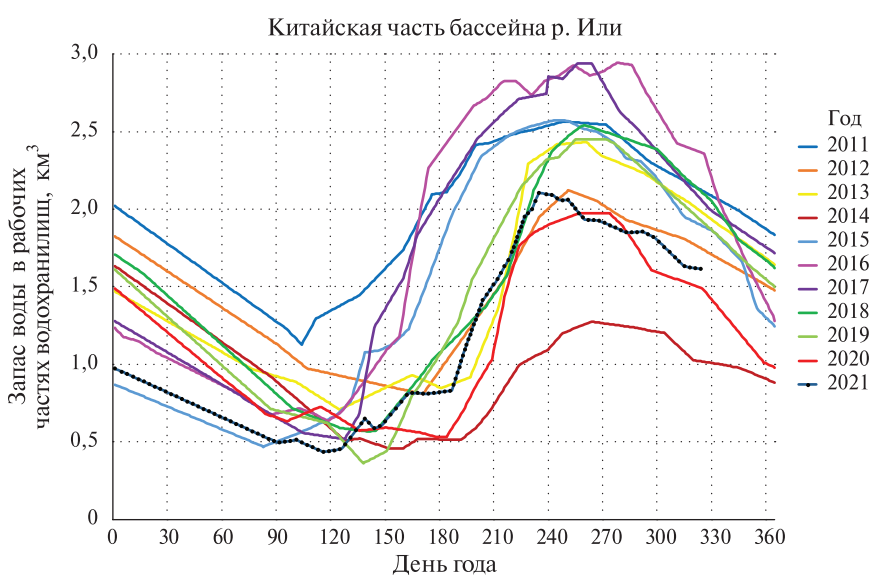


Рис. 2. Мониторинг запасов воды в рабочих частях основных водохранилищ китайской части бассейна р. Или: Капшагайского и Жарынтайского. Построено на основе данных спутникового мониторинга размеров водных зеркал резервуаров

В тёплый период (апрель—сентябрь) на фоне различной водности сезона в бассейне реки происходит конкуренция за её ресурсы между ирригацией поливной пашни и необходимостью сезонного пополнения водохранилищ. Сельскохозяйственные потребители весьма консервативны в своём календарном графике потребления воды, а режим пополнения водохранилищ может гибко меняться. Поэтому в многоводные годы водохранилища пополняются в основном в июне—июле, а в маловодные позже: в июле—августе (рис. 2, см. с. 219).

Методы исследования

В работе анализировались данные по среднемесячному расходу воды в р. Или в период с 2008 г., зарегистрированные на гидропосту «Пристань Добынь», расположенному в Казахстане в районе границы с КНР. Также осуществлялся спутниковый мониторинг водных зеркал двух доминирующих водохранилищ китайского сектора бассейна р. Или: Капшагайского вдхр. на р. Текес и Жарынтайского вдхр. на р. Каш (Абаев и др., 2021). С помощью методики, основанной на спутниковом мониторинге береговых линий и 3D-модели рельефа местности (Terekhov et al., 2020), восстанавливалась динамика запаса воды в рабочих частях водохранилищ.

Каждый безоблачный пролёт спутника позволял давать оценку текущих запасов воды в водохранилищах. За сезон территорию бассейна р. Или покрывают до 30 безоблачных спутниковых сцен Landsat-7, -8 и Sentinel-2A. Значения по запасам воды в дни с пролётом спутника служили основой для формирования соответственной суточной базы данных, а также суточной базы данных по расчётным потокам (m^3/c) водного баланса между рекой и резервуарами. Для расчёта значений гидрологических параметров в дни без спутниковых оценок использовалась линейная экстраполяция между ближайшими по времени спутниковыми оценками. Среднемесячные величины водного обмена в системе «река—водохранилище» совместно с расходом воды в р. Или на границе КНР—Казахстан (гидропост РГП «Казгидромет» «Пристань Добынь») давали оценку расхода воды в реке с учётом взаимодействия с резервуарами (Капшагайское вдхр. (р. Текес) и Жарынтайское вдхр. (р. Каш)). Этот расчётный расход воды принимался в качестве оценки текущей водности реки (рис. 3).

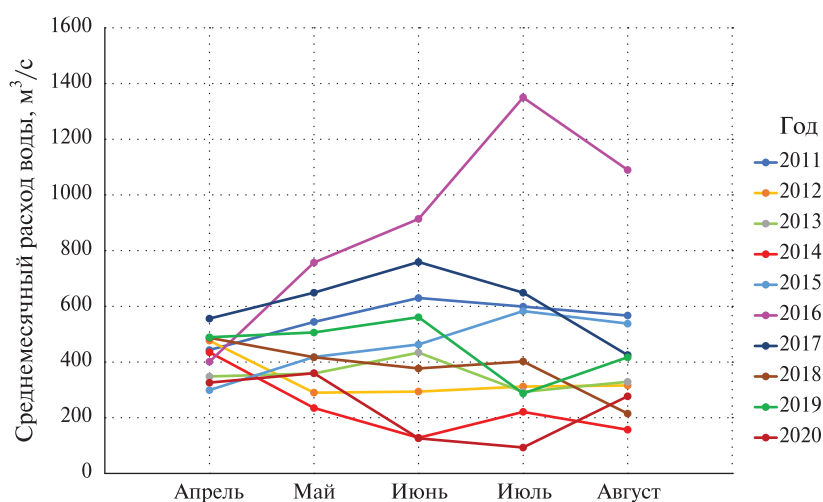


Рис. 3. Среднемесячные расходы воды в р. Иле на границе Казахстан—КНР. Построено по данным гидропоста «Пристань Добынь» (Казахстан) с коррекцией на спутниковые оценки объёмов водного обмена с водохранилищами

Наиболее тесные связи между водностью сезона и площадью водных зеркал (запасом воды в водохранилищах) можно ожидать в начале лета, когда существует наибольшая потребность в водных ресурсах из-за необходимости ирригации поливной пашни. Маловодность

реки в это время не позволяет начинать масштабное заполнение водохранилищ, что приводит к смещению календарных дат отбора воды. Гидроэлектростанции на реках Текес и Каш эксплуатируются с 2007 г., т.е. 14 лет. В начале этого срока режимы работы водохранилищ могли проходить стадию пилотной эксплуатации для уточнения регламента сработки/пополнения и обеспечения наибольшей экономической эффективности в условиях различной водности сезона. В связи с этим в настоящей работе анализировался только период последних 10 лет, т.е. с 2011 г. по текущий сезон. Ещё одним моментом при выборе данных для анализа было исключение из рассмотрения аномально многоводного сезона 2016 г. (см. рис. 3). При избыточном объёме речного стока может применяться иной регламент пополнения водохранилища. В данном случае нет смысла торопиться с заполнением резервуаров, поскольку это можно достаточно легко сделать практически в любое время. Поэтому разумно оставлять запас ёмкости в резервуарах до конца тёплого сезона для перехвата возможных ливневых осадков, несущих угрозу экономических потерь от подтопления прирусловых территорий.

Таким образом, для оценки тесноты связи между запасами воды в водохранилищах и водностью сезона было построено два временных ряда, синхронизированных по календарным датам. Первый — это среднемесячный расход воды в р. Или на границе КНР–Казахстан за период май–август в течение девяти сезонов с 2011 по 2021 г. (за исключением 2016 г.) с учётом взаимодействия стока реки с водохранилищами (см. рис. 3). Второй — это временные ряды запасов воды в доминирующих резервуарах китайского сектора бассейна р. Или (см. рис. 2). Между этими рядами рассчитывался коэффициент корреляции Пирсона, величина которого отражала степень согласованности между водностью сезона (расход воды в р. Или) и текущим запасом воды в рабочих частях резервуаров.

Предполагалось, что в случае, если командно-административная система управления водными ресурсами р. Или в КНР является эффективной и опирается на научно обоснованный регламент работы водохранилищ, то будут регистрироваться высокие значения коэффициентов корреляции между водностью сезона и запасами воды в водохранилищах в определённые периоды времени.

Полученные результаты

На основе 175 снимков Landsat-7, –8 и Sentinel-2A периода 2011–2021 гг. была реконструирована динамика работы Капшагайского вдхр. (р. Текес, КНР) и Жарынтайского вдхр. (р. Каш) (см. рис. 2).

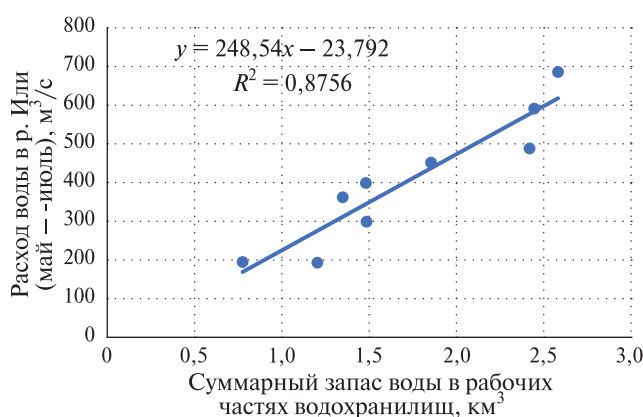


Рис. 4. Взаимосвязь между запасами воды в рабочих частях водохранилищ на 31 июля и водностью р. Или (расход воды на границе с КНР с учётом водного обмена с водохранилищами) в сезонах 2011–2020 гг.

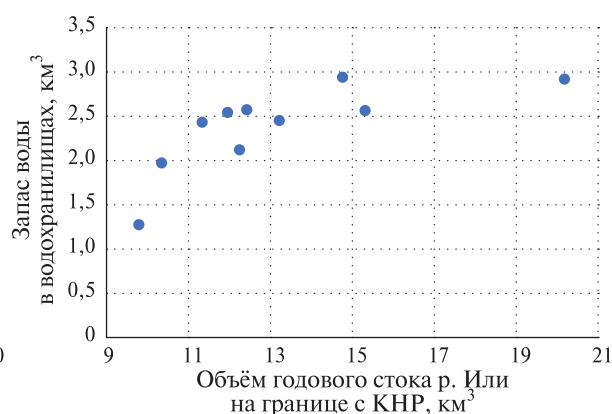


Рис. 5. Взаимосвязь между сезонными максимумами запасов воды в рабочих частях водохранилищ китайского сектора бассейна р. Или (Капшагайского и Жарынтайского) и объёмами годового стока р. Или на границе с КНР в сезонах 2011–2020 гг.

Восстановленный среднемесячный расход воды в р. Или на границе КНР—Казахстан с учётом взаимодействия с водохранилищами в период апрель—август для сезонов 2011—2020 гг. представлен на *рис. 3*. Зависимость между суммарными запасами воды в двух основных водохранилищах китайского сектора бассейна р. Или на 31 июля и средним (май—июль) расходом воды в реке на границе с КНР представлена на *рис. 4* (см. с. 221). На *рис. 5* (см. с. 221) приведено соотношение между объёмами годового стока р. Или на границе с КНР и сезонными максимумами суммарных запасов воды в двух доминирующих водохранилищах китайского сектора бассейна реки.

Обсуждение

Работа системы основных водохранилищ Китайского сектора бассейна р. Или—Капшагайского на р. Текес и Жарынтайского на р. Каш — по параметру суммарного запаса воды в рабочих частях не имеет строго фиксированного сезонного режима. Каждый год характеризуется своими особенностями (см. *рис. 2*). Наиболее стабилен режим января—марта. В этот период ежегодно регистрировались довольно близкие скорости срабатывания водохранилищ для выработки гидроэлектроэнергии, составляющие $93,4 \pm 17,6 \text{ м}^3/\text{с}$ (см. *рис. 2*). Однако сама величина запаса воды в резервуарах при этом довольно сильно варьировалась. Например, запас воды на 1 февраля изменялся от 718,74 млн м^3 (2015) до 1761,59 млн м^3 (2011) (см. *рис. 2*).

Взаимосвязь между водностью года и сезонным максимумом суммарного запаса воды в рабочих частях основных водохранилищ показывает (см. *рис. 5*), что в сезоны с уровнем годового стока р. Или, близким к среднему ($13,7 \text{ км}^3$) или выше него, происходит практически полное заполнение резервуаров гидроэлектростанций (максимальный суммарный объём запаса воды — $3,0 \text{ км}^3$). Для этого из стока реки обычно изымается около $2,5 \text{ км}^3$ (см. *рис. 2*). В маловодные годы осуществить это не представляется возможным и объём накопленной в рабочих частях водохранилищ воды может уменьшаться с $2,5\text{--}3,0 \text{ км}^3$ до $1,3 \text{ км}^3$ (2014) (см. *рис. 2*).

Соотношения между водностью реки и темпами сезонного пополнения водохранилищ на временных масштабах 1—3 мес в период май—август имели весьма высокую коррелированность. Коэффициент корреляции Пирсона составлял 0,875 (см. *рис. 4*). Это подтверждает предположение о ключевой роли водности реки при изъятии воды из речного стока для сезонного пополнения водохранилищ. Соответственно, появляются практически важные возможности более детального анализа динамики заполнения водохранилищ в рамках задачи оценки водности реки.

Заключение

Таким образом, климатическая вариативность объёмов речного стока трансграничной (КНР—Казахстан) р. Или и эффективная командно-административная система управления водопользованием в Синьцзяне (китайский сектор бассейна) приводят к формированию тесных взаимосвязей между водностью реки и режимом заполнения водохранилищ. Это обстоятельство позволяет использовать сезонную динамику площади водных зеркал водохранилищ, которая легко регистрируется по спутниковым снимкам с разрешением 10—30 м, в качестве гидрологического параметра, характеризующего водность р. Или в верхней, китайской, части её бассейна. При этом имеется возможность диагностировать водность реки как для всего сезона в целом, так и для отдельных периодов в течение сезона. Информация о водности р. Или в китайском секторе важна для формирования консультативных прогнозов РГП «Казгидромет» по водности реки на границе с КНР.

Работа выполнена при поддержке программно-целевого финансирования Министерства образования и науки Республики Казахстан, проект № BR10965172.

Литература

1. Абаев Н. Н., Терехов А. Г., Тиллакарим Т. А., Елтай А. Г. Спутниковый мониторинг условий маловодья в китайской части бассейна реки Или в сезоне 2020 года // Всероссийская научно-практ. конф. с международ. участием «Трансграничные водные объекты: использование, управление, охрана»: сб. тр. Сочи, 20–25 сент. 2021. Новочеркасск: Лик, 2021. С. 13–17.
2. Алимкулов С. К., Турсунова А. А., Сапарова А. А. Ресурсы речного стока Казахстана в условиях будущих климатических и антропогенных изменений // Гидрометеорология и экология. 2021. Вып. 100. № 1. С. 57–69. DOI: 10.54668/2789-6323-2021-100-1-57-69.
3. Исупова М. В. Влияние зарегулирования стока в верхнем бассейне реки Или (Казахстан, Китай) на водный режим ее дельты в условиях изменяющегося климата // Всероссийская научно-практ. конф. с международ. участием «Трансграничные водные объекты: использование, управление, охрана»: сб. тр. Сочи, 20–25 сент. 2021. Новочеркасск: Лик, 2021. С. 169–174.
4. Митина Н. Н., Дроздова Е. А., Чжоу Ч., Цэнь С. Особенности государственного управления трансграничными реками в Китайской Народной Республике // Всероссийская научно-практ. конф. с международ. участием «Трансграничные водные объекты: использование, управление, охрана»: сб. тр. Сочи, 20–25 сент. 2021. Новочеркасск: Лик, 2021. С. 279–284.
5. Терехов А. Г. Спутниковая диагностика изменений сельскохозяйственного водообеспечения Синьцзян Уйгурского автономного района КНР на основе эффекта охлаждения поверхности пашни при ирригации по данным 2002–2019 гг. // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2020. Т. 17. № 7. С. 131–141. DOI: 10.21046/2070-7401-2020-17-7-131-141.
6. Терехов А. Г., Пак А. Г. Спутниковый прогноз влияния пополнения Капчагайского водохранилища (КНР) на водность трансграничной р. Иле в 2019 г. // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2019. Т. 16. № 4. С. 298–302. DOI: 10.21046/2070-7401-2019-16-4-298-302.
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 Капчагайского водохранилища (КНР) // Гидрометеорология и экология. 2016. Вып. 83. № 4. С. 24–31.
8. Терехов А. Г., Абаев Н. Н., Лагутин Е. И. Диагностика водообеспеченности сельскохозяйственных культур СУАР КНР в течение 2003–2019 гг. по данным eMODIS NDVI C6 // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2020. Т. 17. № 1. С. 128–138. DOI: 10.21046/2070-7401-2020-17-1-128-138.
9. Шинкаренко С. С., Солодовников Д. А. Формирование новой дельты Сырдарьи // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2018. Т. 15. № 2. С. 267–271. DOI: 10.21046/2070-7401-2018-15-2-267-71.
10. Al-Faraj F. A. M., Scholz M. Assessment of temporal hydrologic anomalies coupled with drought impact for a transboundary river flow regime: The Diyala watershed case study // Hydrology. 2014. V. 517. P. 64–73. DOI: 10.1016/j.jhydrol.2014.05.021.
11. Bjerklie D. M., Dingman S. L., Vorosmarty Ch. J., Bolster C. H., Congalton R. G. Evaluating the potential for measuring river discharge from space // Hydrology. 2003. V. 278. Iss. 1–4. P. 17–38. DOI: 10.1016/S0022-1694(03)00129-X.
12. Brakenridge G. R., Cohen S., Kettner A. J., De Groeve T., Nghiem S. V., Syvitski J. P. M., Fekete B. M. Calibration of satellite measurements of river discharge using a global hydrology model // Hydrology. 2012. V. 475. P. 123–136. DOI: 10.1016/j.jhydrol.2012.09.035.
13. Roodari A., Hrachowitz M., Hassanpour F., Yaghoobzadeh M. Signatures of human intervention-or not? Downstream intensification of hydrological drought along a large Central Asian river: The individual roles of climate variability and land use change // Hydrology and Earth System Sciences. 2021. V. 25. Iss. 4. P. 1943–1967. DOI: 10.5194/hess-25-1943-2021.
14. Terekhov A. G., Makarenko N. G., Pak A. A., Abayev N. N. Using the digital elevation model (DEM) and coastlines for satellite monitoring of small reservoir filling // Cogent Engineering. 2020. V. 7. Iss. 1. 1853305. DOI: 10.1080/23311916.2020.1853305.

The relationship between the Ili River streamflow and operation modes of the reservoirs in the upper river basin

N. N. Abayev

RSE Kazhydromet, Nur-Sultan 010000, Kazakhstan

E-mail: abayev.nurlan@gmail.com

Institute of Information and Computing Technology

Almaty 050010, Kazakhstan

The work considers the results of a hydrological monitoring of the large Central Asian transboundary Ili River basin (China–Kazakhstan), and its territories adjacent to Kazakhstan. The dynamics of Chinese regional hydroelectric power plants located in the Ili River basin (Kapchagayskoye on the Tekes River and Zharyntayskoye on the Kash River), for the period 2011–2021 was reconstructed based on Landsat-7, -8 and Sentinel-2A images. These hydroelectric power plants operate in an energy mode. Seasonal water accumulation takes place in the spring-summer period, whereas water discharge occurs in the cold season. It can be seen that calendar dates of reservoirs water accumulation can act as a hydrological parameter easily recorded by satellites, reflecting the outflow of the season. The river streamflow and the rate of seasonal water storage of the reservoirs on a time scale of 1–3 months in the period May–August have a very high correlation. The value of the Pearson correlation coefficient reaches 0.88. At the same time, it is possible to diagnose the river streamflow, both for the whole season and for individual months. This confirms the assumption about the key role of the river streamflow in the withdrawal of water from the river runoff for seasonal accumulation of reservoirs in China. In seasons when the level of the annual streamflow of the Ili River is close to the average or above it, the reservoirs of the hydroelectric power station are almost filled. According to the study, about 2.5 km³ is withdrawn from the river flow for this purpose. In low-water seasons, the volume of water withdrawal can decrease to 1.3 km³ (2014). Satellite monitoring of the reservoirs operation in the Chinese sector of the Ili River basin can become an important source of information for making the streamflow forecasts of the river within the framework of the national hydrometeorological service of Kazakhstan (RSE Kazhydromet), since operational hydrological information from the territory of Xinjiang, China, is extremely limited.

Keywords: Xinjiang, China, Ili River basin, remote sensing, satellite data, reservoir's water mirror, reservoir seasonal accumulation mode, Ili River discharge

Accepted: 31.01.2022

DOI: 10.21046/2070-7401-2022-19-1-217-225

References

1. Abayev N. N., Terekhov A. G., Tillakarim T. A., Eltai A. G., Satellite monitoring of the low water level in China's part of the Ili River basin in 2020, *Transgranichnye vodnye ob'ekty: ispol'zovanie, upravlenie, okhrana* (Transboundary water bodies: use, management, conservation), Proc. All-Russia Theoretical and Practical Conf. with Intern. Participation, Sochi, 20–25 Sept. 2021, Novocherkassk: Lik, 2021, pp. 13–17 (in Russian).
2. Alimkulov S. K., Tursunova A. A., Saparova A. A., Kazakhstan river flow resources under uncertainty, *Gidrometeorologiya i ekologiya*, 2021, Vol. 100, No. 1, pp. 57–69 (in Russian), DOI: 10.54668/2789-6323-2021-100-1-57-69.
3. Isupova M. V., Influence of the water runoff regulation in the upper Ili River basin (Kazakhstan, China) on the water regime of its delta under changing climate conditions, *Transgranichnye vodnye ob'ekty: ispol'zovanie, upravlenie, okhrana* (Transboundary water bodies: use, management, conservation), Proc. All-Russia Theoretical and Practical Conf. with Intern. Participation, Sochi, 20–25 Sept., 2021, Novocherkassk: Lik, 2021, pp. 169–174 (in Russian).
4. Mitina N. N., Drozdova E. A., Zhou Ch., Tsen X., Features of state management of transboundary rivers in the People's Republic of China, *Transgranichnye vodnye ob'ekty: ispol'zovanie, upravlenie, okhrana* (Transboundary water bodies: use, management, conservation), Proc. All-Russia Theoretical and Practical Conf. with Intern. Participation, Sochi, 20–25 Sept., 2021, Novocherkassk: Lik, 2021, pp. 279–284 (in Russian).

5. Terekhov A. G., Satellite estimation of agriculture water availability using the 2002–2019 irrigation cooling effect over Xinjiang, Northwest China, *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2020, Vol. 17, No. 7, pp. 131–141 (in Russian), DOI: 10.21046/2070-7401-2020-17-7-131-141.
6. Terekhov A. G., Pak A. A., Influence of the Kapshagay reservoir (China) refill on transboundary River Ile runoff and satellite-based forecasting, *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2019, Vol. 16, No. 4, pp. 298–302 (in Russian), DOI: 10.21046/2070-7401-2019-16-4-298-302.
7. Terekhov A. G., Dolgikh S. A., Nikiforova L. N., China's sector of River Ile basin: satellite diagnostic of hydrograph River Ile change as result of Kapshagay reservoir (China) build in 2006 year, *Gidrometeorologiya i ekologiya*, 2016, Issue 83, No. 4, pp. 24–31 (in Russian).
8. Terekhov A. G., Abayev N. N., Lagutin E. I., Diagnostic of water availability of agricultural crops in Xinjiang (China) in 2003–2019 based on eMODIS NDVI C6 data, *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2020, Vol. 17, No. 1, pp. 128–138 (in Russian), DOI: 10.21046/2070-7401-2020-17-1-128-138.
9. Shinkarenko S. S., Solodovnikov D. A., Dynamics of water bodies areas in the Western Ilmen Lake Region of the Volga Delta, *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2018, Vol. 15, No. 2, pp. 267–271 (in Russian), DOI: 10.21046/2070-7401-2018-15-2-267-271.
10. Al-Faraj F. A. M., Scholz M., Assessment of temporal hydrologic anomalies coupled with drought impact for a transboundary river flow regime: The Diyala watershed case study, *Hydrology*, 2014, Vol. 517, pp. 64–73, DOI: 10.1016/j.jhydrol.2014.05.021.
11. Bjerklie D. M., Dingman S. L., Vorosmarty Ch. J., Bolster C. H., Congalton R. G., Evaluating the potential for measuring river discharge from space, *Hydrology*, 2003, Vol. 278, Issue 1–4, pp. 17–38, DOI: 10.1016/S0022-1694(03)00129-X.
12. Brakenridge G. R., Cohen S., Kettner A. J., De Groeve T., Nghiem S. V., Syvitski J. P. M., Fekete B. M., Calibration of satellite measurements of river discharge using a global hydrology model, *Hydrology*, 2012, Vol. 475, pp. 123–136, DOI: 10.1016/j.jhydrol.2012.09.035.
13. Roodari A., Hrachowitz M., Hassanpour F., Yaghoobzadeh M., Signatures of human intervention-or not? Downstream intensification of hydrological drought along a large Central Asian river: The individual roles of climate variability and land use change, *Hydrology and Earth System Sciences*, 2021, Vol. 25, Issue 4, pp. 1943–1967, DOI: 10.5194/hess-25-1943-2021.
14. Terekhov A. G., Makarenko N. G., Pak A. A., Abayev N. N., Using the digital elevation model (DEM) and coastlines for satellite monitoring of small reservoir filling, *Cogent Engineering*, 2020, Vol. 7, Issue 1, 1853305, DOI: 10.1080/23311916.2020.1853305.