

Спутниковый прогноз влияния пополнения Капшагайского водохранилища (КНР) на водность трансграничной р. Иле в 2019 г.

А. Г. Терехов^{1,2}, А. А. Пак¹

¹ *Институт информационных и вычислительных технологий МОН
Алматы, 050010, Казахстан
E-mail: aterekhov1@yandex.ru*

² *Республиканское государственное предприятие «Казгидромет»
Алматы, 050022, Казахстан
E-mail: terekhov_a@meteo.kz*

Сообщение касается прогноза явлений неожиданного острого маловодья на трансграничной (КНР – Казахстан) р. Иле длительностью 1–2 мес, вызванных хозяйственной деятельностью в верхней, китайской, части бассейна. Река Иле имеет длину 1439 км, преимущественно снеговое/ледовое питание и собирает воду в хребтах Тянь-Шаня. В зависимости от погодных условий объём годового стока на границе КНР – Казахстан варьируется от 10 до 20 км³. В 2006 г. в китайской части бассейна было построено Капшагайское водохранилище с рабочим объёмом 1,4 км³. В случае маловодности реки сроки сезонного пополнения водохранилища вынуждено сдвигаются на конец лета, что вызывает острое техногенное маловодье. Период 2009–2018 гг. по календарным датам пополнения водохранилища делится на две группы: раннелетний (2009–2011, 2015–2017) и позднелетний (2012–2014, 2018). Водность р. Иле зависит от количества снега, аккумулированного в её бассейне. Прогноз календарных дат пополнения водохранилища с заблаговременностью в три месяца строился на трёх характеристиках снежного покрова китайской части бассейна р. Иле: 1) сезонном максимуме высоты снега; 2) средней высоте снежного покрова в период с 1 января по 30 апреля; 3) водном эквиваленте снега на 1 мая (относительная оценка). Для относительной оценки применялся комбинированный индекс условий со шкалой 0–50–100, где 0 – многолетний минимум, 50 – среднее, 100 – многолетний максимум. Снежный покров китайской части бассейна р. Иле характеризовался суточными спутниковыми продуктами FEWS NET USGS/EROS Snow Depth и Snow Water Equivalent Anomaly (Noah 3.6 SWE Model). Сезонный максимум высоты снега варьировался от 28,5 до 33,0 см для позднелетних режимов и от 32,8 до 44,9 см – для раннелетних. Средняя высота снега составляла (20,0...21,9)/(23,0...32,7) см соответственно; аномалии водного эквивалента снега – (0...35,6)/(32,2...100) условных единиц. Эти различия использовались для прогноза сроков пополнения Капшагайского водохранилища. Характеристики 2019 г.: сезонный максимум высоты – 38,4 см; среднее – 24,6 см; водный эквивалент – 51,5 условных единиц. Таким образом, ожидается раннелетний срок пополнения водохранилища без техногенного маловодья на р. Иле в августе – сентябре.

Ключевые слова: трансграничная р. Иле, китайская часть бассейна р. Иле, дистанционное зондирование, спутниковые продукты FEWS NET USGS/EROS, снежный покров, высота снега, аномалии водного эквивалента снега, сезонное пополнение водохранилища, антропогенное маловодье р. Иле, прогноз антропогенного маловодья р. Иле

Одобрена к печати: 24.08.2019

DOI: 10.21046/2070-7401-2019-16-4-298-302

Трансграничная р. Иле (длина – 1439 км, площадь бассейна – 140 тыс. км²), верхняя часть которой относится к КНР, а нижняя – к Казахстану, собирает воду в хребтах Тянь-Шаня и имеет преимущественно снеговое и ледниковое питание (Галаева, 2017). Годовой сток реки на границе КНР – Казахстан в условиях резко континентального климата существенно варьируется (10–20 км³) (Галаева, 2017). В 2006 г. в КНР на р. Текес (крупнейший приток р. Иле) было построено Капшагайское водохранилище с рабочим объёмом 1,4 км³ (Терехов и др., 2016). В маловодные годы сроки сезонного пополнения водохранилища вынуждено

смещаются на конец лета (рис. 1), что приводит к антропогенному маловодью р. Иле ниже по течению. Прогноз антропогенного маловодья с заблаговременностью в три месяца очень важен для эффективного администрирования водными ресурсами р. Иле в нижней части бассейна на территории Казахстана.

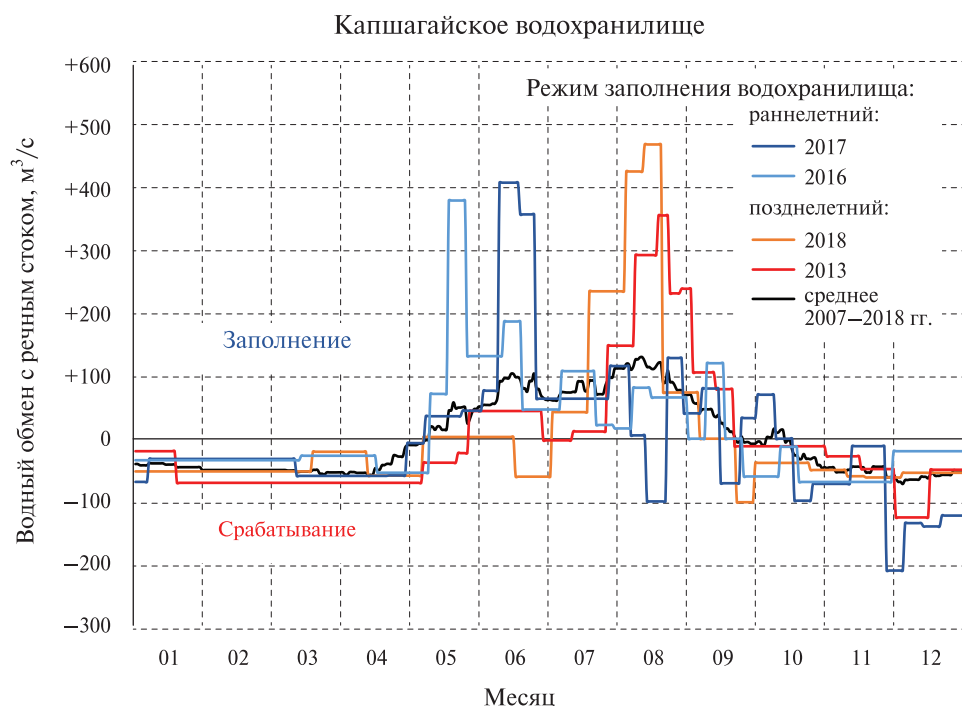


Рис. 1. Параметры водного обмена между Капшагайским вдхр. и стоком р. Текес (КНР) для лет с наиболее характерными (ранне-летний и поздне-летний) режимами сезонного пополнения водохранилища. Построено на основе спутниковых оценок

Оперативная гидрологическая информация по китайской части бассейна р. Иле для Казахской стороны ограничена данными по расходу воды на пограничном гидропосту Сандаохэцзы (Sandaohenzi) (Сборник..., 2008), чего недостаточно для долгосрочного прогноза водности сезона. Данные дистанционного зондирования способны отчасти восполнить этот пробел. Спутниковый мониторинг площади водного зеркала Капшагайского водохранилища позволяет рассчитывать параметры водного обмена между ним и стоком р. Текес (Терехов и др., 2015б).

Спутниковые продукты USGS\EROS Snow Depth (SD, высота снега) и Snow Water Equivalent Anomaly (SWEA, аномалии водного эквивалента снега), доступные на интернет-ресурсе Famine Early Warning Systems (FEWS NET) (<https://earlywarning.usgs.gov/fews/product/410>), могут использоваться для оценки запаса снега в зонах формирования стока р. Иле на территории КНР. Продукты SD и SWEA (Noah 3.6 SWE Model) имеют суточное обновление и пространственное разрешение 2,6 мин (примерно 4×5 км). Доступен суточный архив данных: для SD — с 2000 г., для SWEA — с 2002 г. (<https://earlywarning.usgs.gov/fews/search/Asia/Central%20Asia>).

Одиннадцатилетний (2009–2019) период работы Капшагайского водохранилища (р. Текес) обеспечен детальными спутниковыми оценками параметров снежного покрова (SD, SWEA) для китайской части бассейна р. Иле (рис. 2, см. с. 300). Основными количественными характеристиками снежного покрова бассейна были выбраны: 1) сезонный максимум высоты снега; 2) средняя высота снега в период с 1 января по 30 апреля; 3) аномалия водного эквивалента снежного покрова на 1 мая. Продукт SWEA представляет собой разницу (мм) между текущей величиной водного эквивалента снега и средним значением на этот день за период 2002–2016 гг. (<https://earlywarning.usgs.gov/fews/search/Asia/Central%20Asia>).

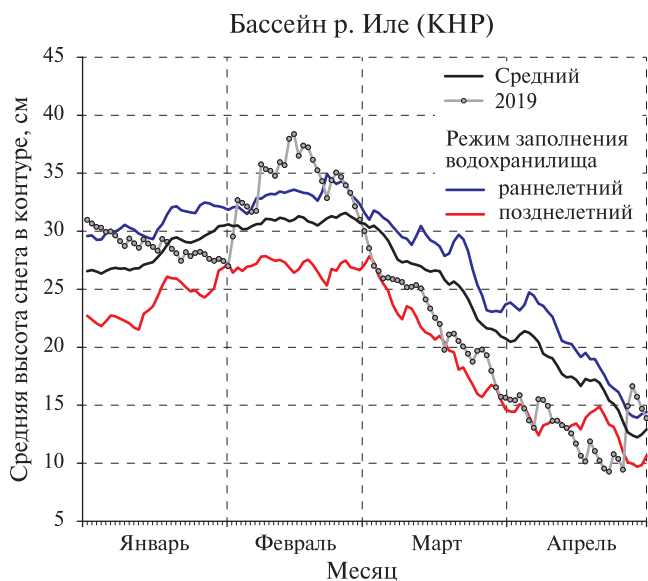


Рис. 2. Динамика средней высоты снежного покрова в китайской части бассейна р. Иле (1 января – 30 апреля) в различных временных выборках: сезон 2019 г.; средний многолетний режим (2001–2018); усреднение для сезонов с раннелетним (2009–2011, 2015–2017) и позднелетним (2012–2014, 2018) режимом сезонного пополнения Капшагайского вдхр. (р. Текес, КНР). Построено на основе суточных данных FEWS NET, USGS/EROS Snow Depth

Эти показатели пересчитывались в шкалу комбинированного индекса условий (Терехов и др., 2015а), который даёт оценку в относительной шкале значений, где 0 — многолетний минимум, 50 — среднее многолетнее, 100 — многолетний максимум. Использование «комбинированного индекса условий» оправдано для временных рядов с асимметричным распределением значений («тяжёлые хвосты»), когда появляется заметное расхождение между средним значением ряда и средним значением диапазона вариаций (мин. – макс.). К таким классам данных относятся, например, метеорологические ряды осадков.

Китайский сектор бассейна р. Иле

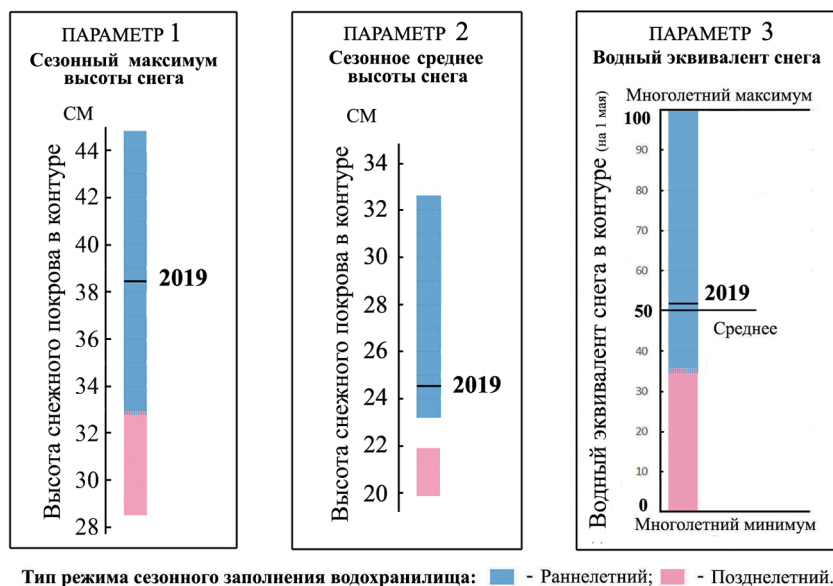


Рис. 3. Три ключевых параметра снежного покрова китайского сектора бассейна р. Иле, используемых для прогноза типа режима (раннелетний/позднелетний) заполнения Капшагайского вдхр. (р. Текес), с диапазонами значений по историческим данным (2009–2019). Построено на основе суточных данных FEWS NET, USGS/EROS Snow Depth и Snow Water Equivalent Anomaly

Десять последних лет (2009–2018) по датам сезонного пополнения Капшагайского водохранилища делятся на два режима: раннелетний (2009–2011, 2015–2017) и позднелетний (2012–2014, 2018). Сопоставление значений ключевых параметров снежного покрова между этими двумя группами лет представлено на рис. 3 (см. с. 300). Диапазоны значений ключевых параметров, характеризующих группы лет раннелетних и позднелетних сроков заполнения водохранилища, почти не пересекаются (см. рис. 3). Это указывает на наличие

тесной связи между дистанционными оценками запасов снега в зонах формирования стока р. Иле и типом режима (раннелетний или позднелетний) сезонного пополнения водохранилища. Позиция 2019 г. в фазовом пространстве вышеперечисленных трёх ключевых признаков близка к средним многолетним условиям (см. *рис. 3*). То есть вероятность формирования позднелетнего техногенного маловодья на р. Иле в сезоне 2019 г. относительно мала и может быть вызвана аномальной погодой мая – июля.

В заключение отметим, что настоящая работа была представлена на рассмотрение в редакцию журнала в мае. За время прохождения рецензирования и доработки статьи полученные данные наблюдения в целом подтвердили представленный авторами прогноз. Заполнение Капшагайского водохранилища в сезоне 2019 г. проходило примерно на месяц раньше, чем в маловодный 2018 г. Запас воды в 400 млн м³ в 2019 г. был достигнут 10 июля против 6 августа в 2018 г. Но сухой и жаркий период июля 2019 г. внёс свои коррективы, сдвинув сроки заполнения водохранилища на несколько более поздние относительно предварительно ожидавшихся.

Работа выполнена при поддержке грантового финансирования Министерства образования и науки Республики Казахстан (проект № AP 05134241).

Литература

1. *Галаева А. В.* Ресурсы речного стока и экологическое состояние бассейна озера Балкаш в условиях современного изменения климата: дис. ... канд. геогр. наук. Бишкек, 2017. 138 с.
2. Сборник протоколов заседаний Казахстанско-Китайской совместной комиссии по использованию и охране трансграничных рек (2001–2008 гг.). 2008. 47 с. URL: http://www.cawater-info.net/library/rus/protokols_kaz-china.pdf (дата обращения: 16.05.2019).
3. *Терехов А. Г., Макаренко Н. Г., Пак И. Т.* (2015а) Комбинированный индекс температурных условий и его применимость к описанию состояния сельскохозяйственной вегетации Казахстана // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2015. Т. 12. № 1. С. 31–40.
4. *Терехов А. Г., Пак И. Т., Долгих С. А.* (2015б) Данные Landsat 5, 7, 8 и ЦМР в задаче мониторинга гидрологического режима Капшагайского водохранилища на реке Текес (китайская часть бассейна р. Иле) // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2015. Т. 12. № 6. С. 174–182.
5. *Терехов А. Г., Долгих С. А., Никифорова Л. Н.* Китайский сектор бассейна р. Иле: спутниковая диагностика изменений гидрографа реки Текес в результате строительства в 2006 году Капшагайского водохранилища (КНР) // Гидрометеорология и экология. 2016. Вып. 83. № 4. С. 24–31.

Influence of the Kapshagay Reservoir (China) refill on transboundary River Ile runoff and satellite-based forecasting

A. G. Terekhov^{1,2}, A. A. Pak¹

¹ *Institute of Information and Computing Technology MES, Almaty 050010, Kazakhstan
E-mail: aterekhov1@yandex.ru*

² *RSE Kazhydromet, Almaty 050022, Kazakkstan
E-mail: terekhov_a@meteo.kz*

This report is about the forecast of the phenomena of unexpected sharp water scarcity in the transboundary (China-Kazakhstan) River Ile during 1–2 months caused by water management in the upper, China's part of the river basin. The snow/glacial-fed River Ile has a stream length of about 1439 km and collects water in Tien-Shan ranges. At the China-Kazakhstan boundary the annual river

runoff varies between 10–20 km³ under weather conditions. The Kapshagay Reservoir, with working volume equal 1.4 km³, was built in China's sector of River Ile basin in 2006. In case of river water deficit, the calendar dates of the seasonal reservoir refill are forced to shift to the end of summer, which causes sharp anthropogenic water scarcity. By the dates of reservoir refill, the 2009–2018 period is divided into two groups: early summer (2009–2011, 2015–2017) and late summer (2012–2014, 2018). The River Ile runoff depends on snow accumulation in its basin. The 3-month forecast of the dates of seasonal reservoir refill was based on three parameters of the snow cover of the China's sector of River Ile basin. They are: 1) season maximum of snow depth; 2) average snow depth during the period from January 1 to April 30; 3) snow water equivalent anomaly on May 1 (relative estimates). The composite condition index, with the scale 0–50–100, where 0 is the multi-year minimum; 50 is median; 100 is multi-year maximum, was used for relative estimation. The snow cover of the China's sector of River Ile basin was characterized by satellite products Snow Depth and Snow Water Equivalent Anomaly from FEWS NET USGS/EROS (Noah 3.6 SWE Model). The season maximum of the snow depth ranged as follows: minimum 0,285 m, maximum 0,330 m for late summer regimes of reservoir refill; and minimum 0,328 m, maximum 0,449 m for early summer ones. The average snow depth, respectively: 0,200–0,219/0,230–0,327 m; snow water equivalent anomaly: 0–35.6/32.2–100 units. These differences were used to forecast the calendar dates of the Kapshagay Reservoir refill. The 2019 characteristics were: seasonal maximum of snow depth 0.384 m; average is 0.246 m; snow water equivalent anomaly 51,5 units. Thus, in August – September 2019 an early summer reservoir refill without anthropogenic river water scarcity is expected.

Keywords: transboundary River Ile, China's sector of River Ile basin, remote sensing, satellite products FEWS NET USGS/EROS, snow cover, snow depth, snow water equivalent anomaly, seasonal reservoir refill, calendar dates of reservoir refill, forecast of the calendar dates of reservoir refill

Accepted: 24.08.2019

DOI: 10.21046/2070-7401-2019-16-4-298-302

References

1. Galaeva A. V., *Resursy rechnogo stoka i ekologicheskoe sostoyanie basseina ozera Balkash v usloviyakh sovremennogo izmeneniya klimata: Dis. kand. geogr. nauk* (Resources of river runoff and ecology state of lake Balkash basin in condition of modern climate change. Cand. geog. sci. thesis), Bishkek, 2017, 138 p.
2. *Sbornik protokolov zasedanii Kazakhstansko-Kitaiskoi sovmestnoi komissii po ispol'zovaniyu i okhrane transgranichnykh rek (2001–2008 gg.)* (Collection of minutes of meetings of the Kazakh-Chinese joint Commission on the Use and Protection of Transboundary Rivers), 2008, 47 p., available at: http://www.cawater-info.net/library/rus/protokols_kaz-china.pdf (accessed 16.05.2019).
3. Terekhov A. G., Makarenko N. G., Pak I. T. (2015a), Kombinirovannyi indeks temperaturnykh uslovii i ego primenimost' k opisaniyu sostoyaniya sel'skokhozyaistvennoi vegetatsii Kazakhstana (Composite index of temperature conditions and its applicability to the description of the state of agricultural vegetation in Kazakhstan), *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2015, Vol. 12, No. 1, pp. 31–40.
4. Terekhov A. G., Pak I. T., Dolgikh S. A. (2015b), Dannye Landsat 5, 7, 8 i TsMR v zadache monitoringa gidrologicheskogo rezhima Kapshagaiskogo vodokhranilishcha na reke Tekes (kitaiskaya chast' basseina reki Ile) (Hydrology monitoring of Kapchagay reservoir on river Tekes (China's part of river Ile basin) based on Landsat 5, 7, 8 data and DEM batymetry), *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2015, Vol. 12, No 6, pp. 174–182.
5. Terekhov A. G., Dolgikh S. A., Nikiforova L. N., Kitaiskii sektor basseina r. Ile: sputnikovaya diagnostika izmenenii gidrografa reki Tekes v rezul'tate stroitel'stva v 2006 godu Kapchagaiskogo vodokhranilishcha (KNR) (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.