УДК 504.064.37; 556.16

Канд. техн. наук А.Г. Терехов [1]

ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВОДНОГО КАНАЛА КАРА-ЕРТИС – КАРАМАЙ: СПУТНИКОВЫЕ ОЦЕНКИ

Ключевые слова: спутниковые снимки, спутниковый мониторинг, бассейн трансграничной реки, водный канал, технические характеристики водного канала

На основе 32 спутниковых снимков LANDSAT-5, 7, 8 (разрешение 30 м) периода 1989…2017 годов и съёмки спутника QuickBird-2 (разрешение 0,6 м) (21 залёт в течение 2003…2013 гг.) проведена инвентаризация водного канала р. Кара-Ертис – г. Карамай, расположенного на территории Синьцзян-Уйгурского автономного района (СУАР) КНР. Канал используется для переброски воды из трансграничной реки Кара-Ертис в Джунгарскую равнину (внутренняя засушливая территория СУАР). Технические характеристики: самотечный канал, с 8 тоннельными переходами; период строительства около 2 лет, с сентября 1997 по октябрь 1999 гг.; перепад высот 270 м (632…362 м над уровнем моря [БС]); длина – 460,67 км; ширина от 9 до 33 м (в зависимости от уклона). Канал функционирует с апреля по октябрь, период максимальной нагрузки: июнь – июль. Основной задачей канала является обеспечение водой сельскохозяйственных угодий в вегетационный период.

Введение. Одними из самых крупных трансграничных рек в Казахстане, являются реки Или (11,8 км^3 средний годовой сток на границе Казахстана) и Кара-Ертис (Черный Иртыш) (9,8 км^3) [1], которые приходят с территории Синьцзян-Уйгурского автономного района (СУАР) КНР. В настоящий момент разрабатывается межгосударственное соглашение по регламентации использования трансграничных (Казахстан – КНР) водных ресурсов. В связи с этим, объективная гидрологическая информация о параметрах водопользования в бассейнах трансграничных рек на территории КНР, особенно в аспекте воднотранспортной инфраструктуры, направленной на безвозвратное изъятие воды трансграничного речного стока для обводнение внутренних районов КНР, представляет значительный интерес.

[1] Казгидромет, г. Алматы, Казахстан

Полная оперативная гидрологическая информация по территории СУАР недоступна для казахстанских экспертов. Поэтому спутниковые данные являются важнейшим источником информации о состоянии воднотранспортной инфраструктуре в СУАР КНР. Водные каналы и водохранилища масштабные объекты. Они могут регистрироваться на спутниковой съёмке с 30 м пространственным разрешением, которые доступны с 1983 года, когда была запущена в эксплуатацию американская спутниковая миссия LANDSAT-[TM]; [ETM+]; [OLI/TIRS] (три природоресурсных аппарта – LANDSAT-5, 7, 8) [3]. На сайте US Geological Survey [https://glovis/usgs/gov] архив этих данных доступен на свободной основе. Детальная техническая информация о водном канале р. Кара-Ертис – г. Карамай может быть получена с помощью снимков сверхвысокого пространственного разрешения. Наиболее доступны данные со спутника QuickBird-2 (разрешение от 0,6 м) [5].

Территория мониторинга. В работе рассматривались фрагменты территории СУАР КНР, включающие части трансграничного бассейна реки Кара-Ертис, а также внутренние территории: бассейны озёр Улюнгур, Бага-Нур, Дям, Манас: бассейны рек Урунгу, Кубук, Баянхэ, Дарбуты, Манас; расположенные на Джунгарской равнине по пути маршрута водного канала р. Кара-Ертис – г. Карамай.

Территория СУАР КНР отличается засушливостью. Годовое количество осадков невелико и составляет около 150 мм [4]. Сельскохозяйственное освоение земель Джунгарской равнины возможно только при их ирригации. Таким образом, экономическое развитие этих территорий требует водных ресурсов, основная часть которых сосредоточена в речном стоке двух крупнейших рек СУАР, реках Или и Кара-Ертис, которые являются трансграничными и уходят на территорию Казахстана.

Долина р. Или на территории КНР с трёх сторон окружена высокими горными хребтами Восточного Тянь-Шаня, с вершинами 4…5 тыс. м над уровнем (хребты Боро-Хоро, высшая точка 4359 м, Ирен-Хабырга (5248 м), Халык-Тау (4553 м), Борго-Ула (5445 м)) и не имеет прямого выхода к соседним территориям Джунгарской равнины и Тарима, пригодным для сельскохозяйственного использования. С другой стороны, Джунгарская равнина с юга примыкает к бассейну р. Кара-Ертис. Отделённый незначительными возвышенностями бассейн р. Кара-Ертис через систему небольших тоннельных переходов, относительно легко, может быть связан самотечными водными каналами с Джунгарской равниной.

В последние 20 лет такая водная инфраструктура в СУАР была создана. Обычно, эту систему представляют, как два канала: р. Кара-Ертис – г. Карамай и р. Кара-Ертис – г. Урумчи. Однако, эти водные каналы не являются полностью самостоятельными и независимыми. Они имеют одно общее плечо, длиной 135 км, которое идёт от реки Кара-Ертис, огибает с юго-востока озеро Улюнгур и переходит (акведук) через реку Урунгу, затем происходит раздвоение канала. Поэтому, корректней говорить о воднотранспортном инфраструктурном объекте р. Кара-Ертис – Джунгарская равнина, состоящем из трёх частей. После первой, 135 км части от реки Кара-Ертис в глубь Джунгарской равнины за р. Урунгу до развилки, расположена вторая часть, длиной 325 км, которая идет от развилки до центра региональной нефтедобычи – г. Карамай (население свыше 200 тыс. человек). В сумме, это условно, формирует 460-километровый водный канал р. Кара-Ертис – г. Карамай. Третья часть, длиной 457 км, идёт от развилки в район регионального административного центра – г. Урумчи (население свыше 2 млн. человек), с формальным образованием 592 километрового водного канала: р. Кара-Ертис – г. Урумчи. Оба канала заканчиваются в бассейне озера Манас.

Цель работы. Целью данной работы являлась спутниковая инвентаризация водного канала р. Кара-Ертис – г. Карамай.

Исходная информация. Снимок LANDSAT представляет собой мультизональную съёмку подстилающей поверхности Земли в оптических и инфракрасных спектральных каналах с пространственным разрешением 30 м (панхроматический канал с разрешением 15 м) [3]. Для решения поставленных задач использовались спутниковые снимки LANDSAT-5, 7, 8 периода 1989…2017 годов по сценовым позициям WRS-2: 143×27; 143×28; 144×28. Всего было привлечено 32 снимка. Использовались снимки следующих календарных дат залёта спутника [год, месяц, число], по сценовой позиции WRS-2 144×28: 1989 (8.09); 1997 (4.01); 1998 (8.26); 1999 (7.04, 10.08, 11.25); 2000 (3.16, 6.20, 7.06, 8.07, 9.24, 11.11); 2001 (3.19, 5.22, 9.27); 2002 (9.14); 2003 (7.31); 2010 (7.02); 2011 (7.05); 2012 (8.24); 2013 (7.02); 2014 (7.21); 2015 (7.24); 2016 (6.24); 2017 (7.29); по сценовой позиции WRS-2 143×27: 1996 (9.14); 1997 (9.01, 10.03); 1998 (5.31); 1999 (10.25); 2017 (7.22); по сценовой позиции WRS-2 143×28: 2017 (7.22).

Детальная информация по техническим характеристикам канала р. Кара-Ертис – г. Карамай и режимам его работы основывалась на анализе спутниковой съёмки сверхвысокого пространственного разрешения –

QuickBird-2 (разрешение 0,6 м) [5]. Спутник QuickBird-2, работал на орбите с 2001 по 2015 год и снимал земную поверхность с пространственным разрешением 61 см в надир в панхроматическом режиме и от 1,63 до 2,44 м, (в зависимости от угла сканирования) в мультиспектральном режиме. В работе использовалась информация по 21 залёту этого спутника в период 2003…2013 гг. [год, месяц, число]: 2003 (8.31); 2005 (5.06; 5.11; 6.11; 8.04; 9.27); 2010 (6.26; 7.21; 10.17); 2011 (6.04); 2013 (3.27; 4.07; 4.21; 5.28; 6.13; 6.23; 7.26; 8.20; 9.08; 11.02).

Гипсометрическое описание профиля канала базировалось на спутниковой 3-D модели рельефа местности GOOGLE-Earth Elevation [4].

Методика обработки данных. Тематические задачи работы включали: распознавание признаков строительства канала (начало – окончание); календарные даты и степень заполнения технических водоёмов, связанных с работой канала; оценку ширины канала и степень его наполнения водой. Решение этих задач базировалось на экспертном дешифрировании спутниковых изображений, с последующей оцифровкой и численной оценкой технических параметров выделенных целевых объектов.

Полученные результаты. Картирование водного канала р. Кара-Ертис – г. Карамай, позволило определить маршрут канала, его длину, гипсометрический профиль, схему взаимодействия с другим водным каналом р. Кара-Ертис – г. Урумчи, рис. 1.

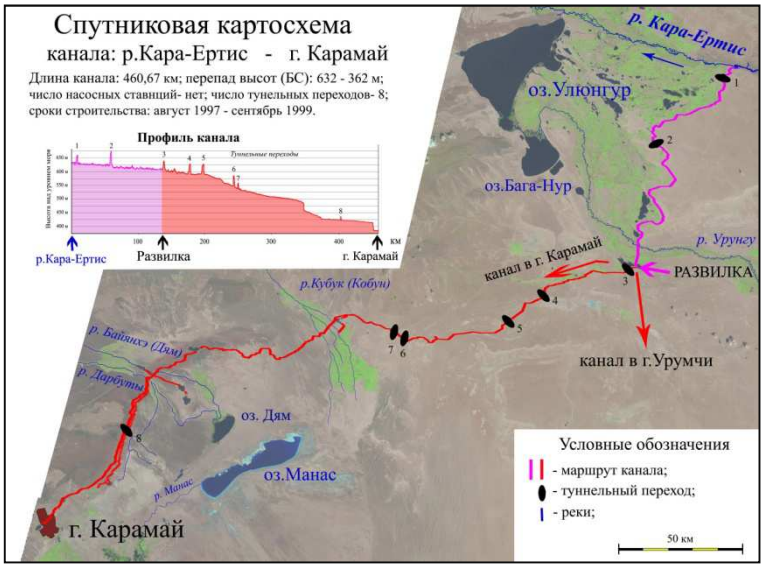

Рис. 1. Картосхема фрагмента воднотранспортной инфраструктуры р. Кара-Ертис – Джунгарская равнина; плечо – «канал р. Кара-Ертис – г. Карамай». Спутниковая основа – снимки LANDSAT-8 за июль 2017 г.

По данным спутниковой съёмки в СУАР КНР функционирует единая воднотранспортная инфраструктура р. Кара-Ертис – Джунгарская равнина, условно включающая два водных канала р. Кара-Ертис – г. Карамай и р. Кара-Ертис – г. Урумчи. Оба канала имеют общую часть длиной 135 км, которая идёт от р. Кара-Ертис, на юго-запад, через р. Урунгу (акведук). Затем происходит раздвоение канала, одна часть уходит в г. Карамай, другая в г. Урумчи, рис. 1.

Анализ исторической спутниковой съёмки LANDSAT позволил определить даты строительства воднотранспортной инфраструктуры. Начало работ (земляные работы) на р. Кара-Ертис относится к сентябрю 1997 г. (рис. 2). Окончание работ, примерно, к сентябрю-октябрю 1999 г. (рис. 3). Дата прихода воды в г. Карамай, оценивалась по времени начала заполнения технических водоёмов в районе г. Карамай, связанных с работой водного канала (рис. 3в).

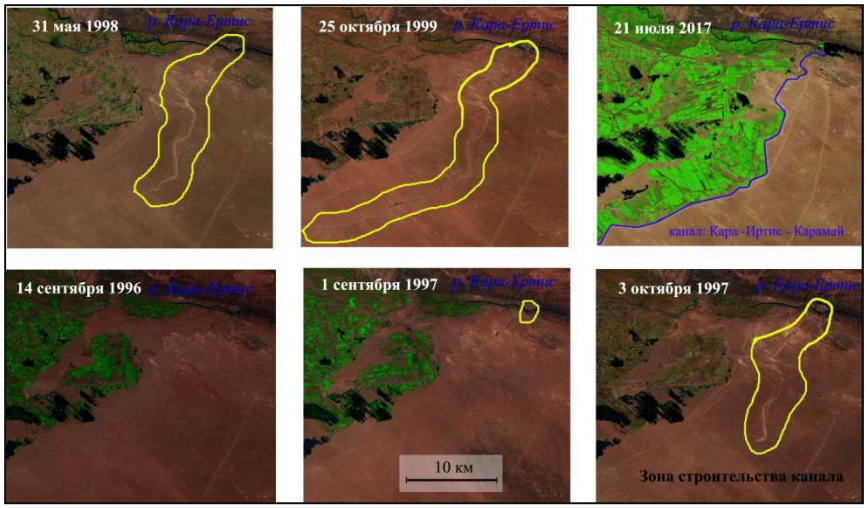

Рис. 2. Фрагменты снимков LANDSAT периода 1997…2017 гг. за различные календарные даты, иллюстрирующие начало строительства воднотранспортной инфраструктуры р. Кара-Ертис – Джунгарская равнина (район р. Кара-Ертис). Зона строительства обведена желтой линией.

Таким образом, первая очередь воднотранспортной инфраструктуры р. Кара-Ертис – Джунгарская равнина, до г. Карамай, строилась, около 2-х лет, с 1997 по 1999 год (рис. 2, 3).

Технические характеристики водного канала (акведуки, туннельные переходы), ширина и степень заполнения водой, сезонный режим загрузки определялись по данным спутниковой съёмки сверхвысокого пространственного разрешения. По маршруту р. Кара-Ертис – г. Карамай, за-

регистрировано 8 туннельных переходов, с соответствующей длиной: №1 – 1838 м; №2 – 2361 м; №3 – 2027 м; №4 – 2404 м; №5 – 3423 м; №6 – 1510 м; №7 – 700 м; №8 – 132 м; и общей суммарной длиной 14395 м (рис. 1). Сам канал представляет собой гидроизолированное бетонное сооружение различного профиля и ширины. С ростом уклона ширина водного канала уменьшалась, варьируя по маршруту от 9 до 33 м (рис. 4).

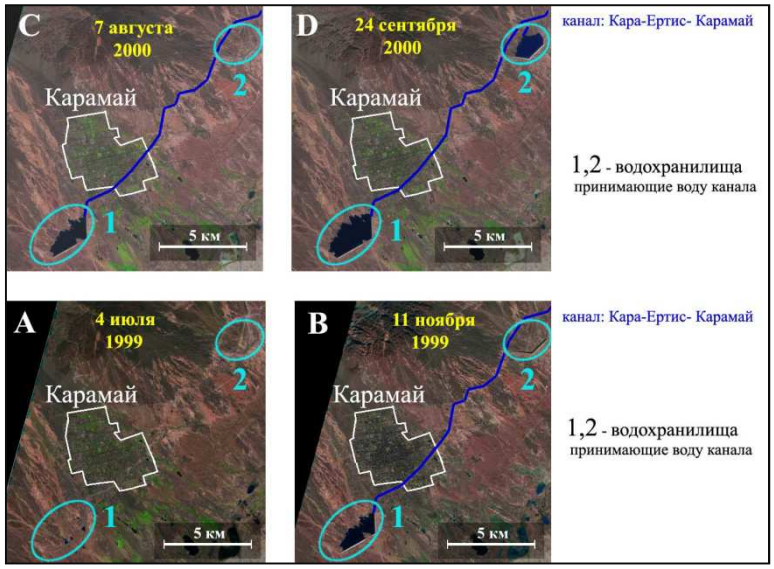

Рис. 3. Фрагменты снимков LANDSAT периода 1999…2000 гг. даты (A, B, C, D), иллюстрирующие календарные даты прихода воды р. Кара-Ертис в г. Карамай, по заполнению технических водоёмов (1, 2).

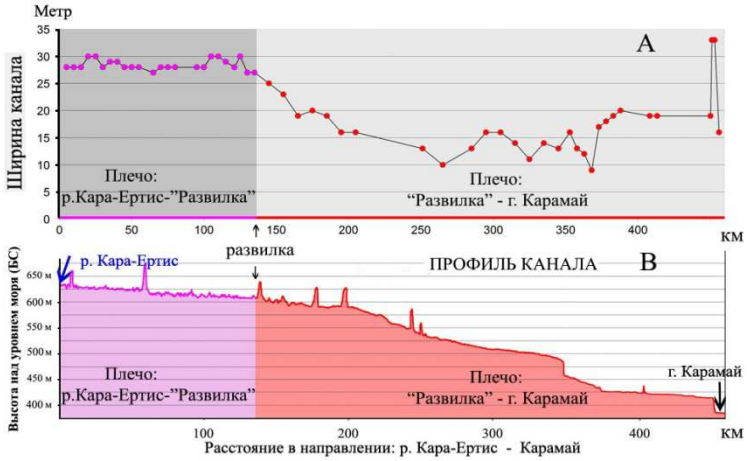

Рис. 4. Водный канал р. Кара-Ертис – г. Карамай: А – спутниковые оценки ширины канала (по ходу маршрута [1…467 км]); В – гипсометрический профиль маршрута канала.

После развилки, ширина канала заметно снижается, в среднем с 28 до 18 м, что является следствием уменьшения расхода воды, часть которого уходит по отдельному каналу в направлении г. Урумчи.

На большей части маршрута водный канал представлял собой конусовидное бетонное ложе (за исключением частей, траверсирующих крутые горные склоны, где он имеет П-образный профиль), что давало возможность диагностировать степень его заполнения водой, через долю проективного покрытия водой створа канала. Отнесение степени наполненности водой канала к календарной дате залёта спутника позволило восстановить сезонный режим его загрузки (рис. 5).

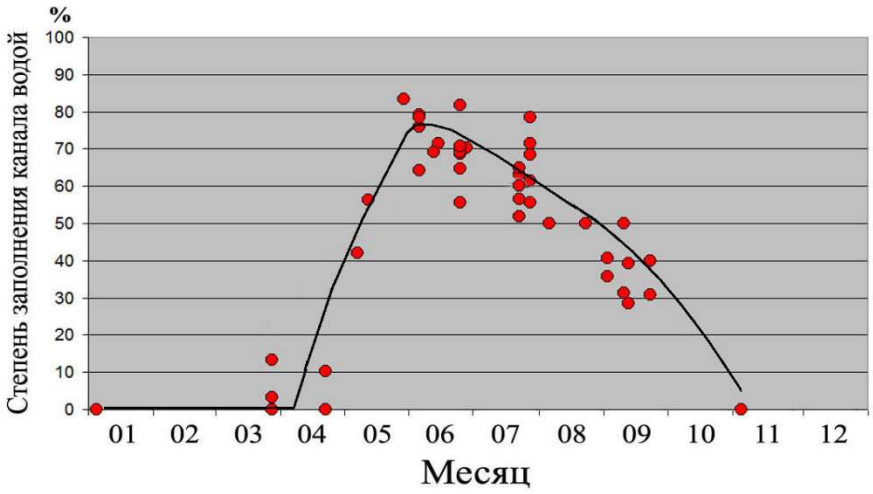

Рис. 5. Диагностика режима сезонной загрузки водного канала р. Кара-Ертис – г. Карамай. Построено на основе спутниковых данных QuickBird-2 (разрешение 0,6 м) в сезонах 2003, 2005, 2010, 2011, 2013 гг.

Канал не заполнен водой в течение ноября – марта. Понятно, что температура воздуха в период декабрь – февраль довольно низка, что может приводить к образованию льда и затруднять транспортировку воды. Но загрузка резко уменьшается, начиная уже со второй половины августа. Причина наблюдаемой сезонности, очевидно, связана с потребителями воды, которых в холодный период гораздо меньше. Основная нагрузка на канал приходится на июнь – июль, что точно синхронизировано с сельскохозяйственными потребностями (поливная пашня). Таким образом, можно заключить, что основной потребитель воды канала р. Кара-Ертис – г. Карамай это сельскохозяйственные земли. А промышленные (нефтедобыча) или коммунальные (городское хозяйство) потребители играют второстепенную роль.

Выводы. Спутниковые данные среднего пространственного разрешения LANDSAT-5, 7, 8 (30 м), с архивом (с 1989 г.); и сверхвысокого пространственного разрешения QuickBird-2 (0,6 м), с архивом (2003…2013 гг.) дают возможность проводить инвентаризацию и диагностику некоторых характеристик водных каналов, расположенных на сопредельных территориях, для которых отсутствует доступ к наземной информации. Применительно к каналу р. Кара-Ертис – г. Карамай, спутниковая информация позволила не только восстановить маршрут канала и основные технические характеристики (длина, ширина, перепад высот), но и диагностировать параметры сезонной загрузки и соответственно определять круг основных потребителей воды.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Генеральная схема комплексного использования и охраны водных ресурсов Казахстана // Астана. 2015. – 143 с. [Электрон. ресурс]. – URL: http://mgov.kz>wp-content/uploads/2016/01/rus.doc (дата обращения: 16.10. 2017).
2. Climatological Atlas of the People's Republic of China // China Meteorological Press. Zhonghua Renmin. Gongheguo Qihou Tuji – 2002. – 250 p.
3. Landsat Mission [Электрон. ресурс]. – URL: http://landsat.usgs.gov/landsat-project-description (дата обращения: 16.10. 2017)
4. Measure distance & elevation [Электрон. ресурс]. – URL: http://support.google.com/earth/answer/148134?hl=en (дата обращения: 16.10. 2017).
5. QuickBird Mission [Электрон. ресурс]. – URL: http://www.spaceimagingme.com/downloads/sensors/datasheets / QuickBird-DS-QB-Web.pdf (дата обращения: 16.10. 2017)

Поступила 23.10.2017

Техн. ғылымд. канд. А.Г. Терехов

ҚАРА-ЕРТІС – ҚАРАМАЙ СУ КАНАЛЫНЫҢ ТЕХНИКАЛЫҚ СИПАТТАМАСЫ: ЖЕРСЕРІКТІК БАҒАЛАУ

Түйінді сөздер: жерсеріктік суреттер, жерсеріктік мониторинг, трансшекаралық өзендердің бассейіні, су каналы, су каналының техникалық сипаттамасы

ҚХР Синьцзян-Уйғур автономиялық ауданыында (СУАА) орналасқан Қара-Ертіс – Қарамай қаласының су каналының инвентаризациясы 1989…2017 жылдар аралығындағы LANDSAT-5,

7, 8 32 жерсеріктік суреттердін (30 м көрсетілімі) және 2003…2016 жылдар аралығындағы 21 QuickBird-2 жерсеріктік суреттердің (0,6 м көрсетілімі) арқасында жасалған. Су каналы трансшекаралық Қара-Ертіс өзенінен Жоңғар жазықтығына (СУАА-ның ішкі аудандары) суды аудару үшін қолданылады. Техникалық сипаттама: 8 тоннельдік өткелі бар су ағатын канал; салынған жылдары 2 жыл (1997 жылдың қыркүйегі – 1999 қазан айы); биіктіктің айырмасы 270 м (теңіз деңгейінен 632…362 м [БС]); ұзындығы – 460,67 км; кеңдігі – 9 метірден 33 метірге дейін (ылдиға байланысты). Канал сәуірден бастап қазанға дейін жұмыс істейді, максималды жұмыс салмағы маусым-шілде айларына келеді. Каналдың бастапқы мақсаты вегетациялық мезгілде ауыл шаруашылық жерлерді сумен қамтамасыз ету.

Terekhov A.G.

TECHNICAL CHARACTERISTICS OF THE KARA-ERTIS – KARAMAY WATER CANAL: SATELLITE ESTIMATIONS

Keywords: satellite images, satellite monitoring, transboundary river basin, water canal, technical characteristics of the water canal

Based on 32 images of LANDSAT-5, 7, 8 (resolution 30 m) during 1989…2017 years and 21 passing of QuickBird-2 (resolution 0,6 m) during 2003…2015 years, an inventory of the water canal: River Kara-Ertis – city Karamay, located in the Xinjiang Uygur autonomous rayon (XUAR) of the China, was made. The canal is used to transfer water from the trans-boundary Kara-Ertis River to the Dzungar Plain (the internal dry territory of the XUAR). The technical canal's characteristics: the gravity water canal, with 8 tunnel passages; the construction period is about 2 years (September 1997 – October 1999); the altitude difference is 270 m (from 632 to 362 meters above sea level [Baltic System]); length is 460,67 km; width are from 9 to 33 meters (depending on the slope steepness). The canal operates from April to October, the period of maximum load is June-July. The main task of the canal is to provide water to the arable lands of XUAR during the vegetation season.